



- МИНИСТЕРСТВО НАУКИ
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное
автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

СТУДЕНЧЕСКАЯ НАУКА ДЛЯ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЩЕСТВА

**Сборник материалов
IX Всероссийской научно-практической конференции
(г. Ставрополь, 19-21 декабря 2018 года)**

Часть 1

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Северо-Кавказский федеральный университет (г. Ставрополь)
Институт компьютерных технологий и информационной
безопасности Инженерно-технологической академии
Южного федерального университета (г. Таганрог)
Ростовский государственный экономический университет (РИНХ)
(г. Ростов-на-Дону)
Новосибирский государственный технический университет
Оренбургский государственный университет

СТУДЕНЧЕСКАЯ НАУКА ДЛЯ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЩЕСТВА

**Сборник материалов IX Всероссийской
научно-технической конференции
(г. Ставрополь, 19-21 декабря 2018 года)**

Часть 1

Ставрополь
2019

УДК 004.2/.9 (082)

ББК 32.97 я43

С 88

ОРГКОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель

Лиховид А. А. – проректор по научной работе и стратегическому развитию СКФУ, доктор географических наук, кандидат биологических наук, профессор.

Члены оргкомитета:

Мезенцева О.С. – директора Института информационных технологий и телекоммуникаций Северо-Кавказского федерального университета (ИИТТ СКФУ), кандидат физико-математических наук, доцент.

Петренко В.И. – заместитель директора по научной работе ИИТТ СКФУ, заведующий кафедрой организации и технологии защиты информации, кандидат технических наук, доцент.

Веселов Г.Е. – директор института компьютерных технологий и информационной безопасности Инженерно-технологической академии Южного федерального университета (г. Таганрог), доктор технических наук, доцент.

Самойлов А.Н. – заместитель директора института компьютерных технологий и информационной безопасности по научной и международной деятельности Инженерно-технологической академии Южного федерального университета (г. Таганрог), кандидат технических наук, доцент.

Тищенко Е.Н. – заведующий кафедрой информационных технологий и защиты информации Ростовского государственного экономического университета (РИНХ) (г. Ростов), доктор экономических наук, профессор.

Лапина М.А. – заместитель директора по международной деятельности ИИТТ СКФУ, доцент кафедры информационной безопасности автоматизированных систем, кандидат физико-математических наук, доцент.

Бакаев М.А. – доцент кафедры автоматизированных систем управления Новосибирского государственного технического университета, кандидат технических наук, доцент.

Парфенов Д.И. – доцент кафедры прикладной математики Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук, доцент.

Соломонов Д.В. – старший преподаватель кафедры информационной безопасности автоматизированных систем ИИТТ СКФУ.

Костюк Д.В. – инженер-лаборант кафедры инфокоммуникаций ИИТТ СКФУ.

Ответственный секретарь

Плетухина А.А. – доцент кафедры информатики ИИТТ СКФУ, кандидат технических наук, доцент.

С 88 Студенческая наука для развития информационного общества: сборник мат-лов IX Всероссийской науч.-техн. конференции. Ч.1. – Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2019. – 373 с.

ISBN 978-5-9296-0992-3

Материалы конференции посвящены вопросам развития инновационных образовательных и инфокоммуникационных технологий, проблемам информационной безопасности объектов информатизации, изучению информационных систем и технологий. Изложены результаты научных исследований в области разработки информационных технологий решения экономических задач.

УДК 004.2/.9 (082)

ББК 32.97 я43

ISBN 978-5-9296-0992-3

© ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

- Антонов В. О., Петренко В. И.* Математические методы и алгоритмы для планирования энергоэффективного пути перемещения манипулятора антропоморфного робота при наличии типичного препятствия..... 7
- Линец Г. И.* Проблемы использования роботизированного беспилотного аппарата мультироторного типа с использованием бесплатформенной инерциальной навигационной системы 25

Секция 1. «ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ»

- Секция 1.* Информационные системы и технологии 34
- Anna Aletdinova, Irina Zueva.* Possibilities of application of spatial-temporal distribution of users for effective placement of advertising content 35
- Kurcheeva G. I., Titova V. V.* Analysis of mobile applications..... 38
- Бакаев М. А., Лебедева М. И.* Сравнение ARIMA и нейронных сетей как методов прогнозирования загрузки отеля..... 45
- Бесполудин В. В.* Оптимизация толщины слоя аморфного кремния в структуре солнечного элемента на основе гетероперехода A-Si: H/ C-Si 54
- Давидюк Н. В., Байдулова Д. Р., Байтуменов А. З., Гостюнина В. А.* Анализ содержательных индикаторов для решения задачи по возрастной классификации текстовой информации 60
- Кононова Н. В., Лайпанова Х. Х.* Контейнеры и контейнеризации 70
- Лапина М. А., Смирнов А. И., Шахновский Р. Ю.* Сравнение современных видеокодеков..... 78
- Мочалов В. П., Михайленко Т. В., Самойленко Д. В., Моисеенко В. А.* Разработка модели интеграции программных компонент распределенного по сети приложения..... 86
- Николаев Е. И., Балаев В. А., Гридчин В. С., Шестан В. Б.* Технологии интеграции информационных систем..... 95
- Николаев Е. И., Гридчин В. С., Орехов Я. В., Балаев В. А.* Внедрение искусственного интеллекта в игровые приложения 102
- Новикова Е. Н., Гавришова С. А., Авакова К. А.* Обзор применения генетических алгоритмов при решении транспортных задач 110
- Старченко Д. Н., Телятицкий А. Г., Стативко Р. У.* Разработка архитектуры нейронной сети для ранней диагностики сахарного диабета 119
- Тамбиева Д. А., Эркенова Ф. А.* Автоматизация процесса инвентаризации персональных компьютеров..... 130
- Целых А. Н., Ложечка В. И.* Применение технологий кластерного анализа для исследования графовых сетей..... 138
- Широканев А. С., Ильясова Н. Ю., Золотарев А. В., Казанский Н. Л.* Компьютерная система автоматического формирования плана коагулятов на

изображении глазного дна для повышения эффективности лечения диабетической ретинопатии.....	148
---	-----

Секция 2. «ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Секция 2. Инфокоммуникационные технологии	158
<i>Linets G. I., Bikbaev D. H., Grankin V. V.</i> In the question of delays reduction in computers networks with application of the Residue Number System ..	159
<i>Shagrova G. V., Dzhusupov R. A.</i> Development of software and hardware complex of the management system and remote monitoring of technical condition of the company	167
<i>Yakovlev S. V., Sorokin A. A.</i> A brief overview of methods for analysis of factors affecting road transport accidents	176
<i>Бачурина В. С., Бердник К. П., Пуля С. А., Шишаков А. П.</i> Системы связи на основе FSO-технологий	182
<i>Борисов А. П., Каликулина З. В.</i> Разработка локальной системы позиционирования с использованием стандарта Bluetooth	193
<i>Борисов А. П., Окань С. В.</i> Разработка локальной системы позиционирования с использованием стандарта IEEE 802.15.4 (Zigbee).....	202
<i>Гиргель Г. В., Гостева Д. В., Скоробогатова А. В., Сурова Е. А.</i> Применение методов машинного обучения в системах поддержки операционной деятельности телекоммуникационных компаний	212
<i>Гостева Д. В., Шарафутдинов Р. Р., Гиргель Г. В., Самойленко Д. В.</i> Применение алгоритма поиска в ширину для устранения взаимных блокировок параллельных бизнес-процессов оператора связи.....	225
<i>Жук А. П., Студеникин А. В.</i> Исследование вопросов обеспечения связью малонаселенных районов Российской Федерации	240
<i>Калмыков И. А., Калмыков М. И., Дунин А. В., Топоркова Е. В.</i> Математическая модель чисто-систолической матрицы, реализующей теоретико-числовые преобразования сигналов в коде системы остаточных классов	251
<i>Ковчунов П. А., Новохрестов А. К.</i> Сравнительный анализ специализированного сканера беспроводных сетей WIFI с ПО для мобильных устройств	261
<i>Лапина О. С., Сурова Е. А., Чакалов А. Б., Чернышова Т. А.</i> Использование программно-определяемых радиосистем для исследования беспроводных сетей связи следующего поколения.....	269
<i>Новикова Е. Н., Павлюченко И. С., Косов И. А.</i> Сравнительная характеристика технологий беспроводных сетей связи.....	282
<i>Орёл Д. В., Жук А. П.</i> Разработка алгоритма синхронизации передающей и приёмной аппаратуры защищённого навигационного сигнала со стохастическим формированием расширяющих кодовых последовательностей.....	291

Пашинцев В. П., Костюк Д. В., Песков М. В. Оценка энергетической скрытности спутниковых систем связи использующих пониженные несущие частоты и метод пространственно-разнесённого приёма	300
Пашинцев В. П., Песков М. В. Методика построения структурно-физической модели распространения радиоволн, учитывающей поглощение и пространственные сцинтилляции волны на мелкомасштабных неоднородностях ионосферы	307
Преображенская Т. В., Сучилкина А. Д., Кудрявцева А. А. Выявление предпочтений студентов на основе структурирования функции качества	314
Пуля С. А., Бердник К. П., Шишаков А. П., Бачурина В. С. Особенности применения беспроводных оптических технологий в современных системах связи	325
Самус М. В., Ширяев Е.М., Голимблевская Е. И. Синхронные и асинхронные системы связи.....	337
Скоробогатова А. В., Михайленко Т. В., Сурова Е. А., Гиргель Г. В. Использование показателей при цифровизации предприятий связи.....	347
Сурова Е. А., Скоробогатова А. В., Михайленко Т. В., Чернышова Т. А. Особенности обеспечения энергоэффективности процессов управления сетями связи	360

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ПУТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРА АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА ПРИ НАЛИЧИИ ТИПИЧНОГО ПРЕПЯТСТВИЯ

Антонов В.О.¹
Ant.vl.02@gmail.com

Петренко В.И.¹
Кандидат технических наук, доцент
vip.petrenko@gmail.com

¹ ФГАОУ ВО СКФУ, Ставрополь, 35509, ул. Пушкина 1, РФ

Аннотация

В статье предлагаются математические методы и алгоритмы для планирования энергоэффективного пути перемещения манипулятора антропоморфного робота (АР) при наличии типичного препятствия. Цель статьи состоит в демонстрации разработанного математического аппарата для планирования энергоэффективного пути перемещения манипулятора с 7-ю степенями подвижности, функционирующего в рабочей зоне со стационарным препятствием, которое можно аппроксимировать в виде сферы либо параллелепипеда. Выполнена постановка задачи планирования пути перемещения манипулятора с критерием минимизации энергопотребления. Разработаны алгоритмы способов планирования пути перемещения манипулятора АР в рабочей зоне с типичным препятствием. Представлен численный метод итеративной кусочно-линейной генерации пути перемещения для материальной точки и сочленений

манипулятора. Метод обладает достаточно низкой вычислительной сложностью, что позволяет ему работать в режиме реального времени, и обладает гибкостью, позволяющую адаптировать его под различные задачи. Разработана система компьютерного и имитационного моделирования энергоэффективного пути перемещения манипулятора антропоморфного робота в рабочей зоне с типичным препятствием, выполняющая расчет в режиме реального времени. Также приводится анализ вычислительной сложности алгоритма, позволяющий рассчитать необходимые вычислительные ресурсы для планирования пути перемещения антропоморфного манипулятора с заданными характеристиками.

Abstract

The article proposes mathematical methods and algorithms for planning an energy-efficient path for moving an anthropomorphic robot (AR) manipulator in the presence of a typical obstacle. The purpose of the article is to demonstrate the developed mathematical apparatus for planning an energy-efficient path for moving a manipulator with 7 degrees of mobility, operating in a working area with a stationary obstacle that can be approximated as a sphere or a parallelepiped. The task of planning the path of movement of the manipulator with the criterion of minimizing energy consumption is set. Algorithms have been developed for planning the path of movement of the manipulator AR in the working area with a typical obstacle. A numerical method is presented for iterative piecewise linear generation of the path of motion for a material point and the joints of the manipulator. The method has a fairly low computational complexity, which allows it to work in real time, and has the flexibility to adapt it for various tasks. A computer and simulation system has been developed for an energy-efficient path for moving an anthropomorphic robot manipulator in a working area with a typical obstacle that performs real-time calculations. An analysis of the computational complexity of the algorithm is also given, which makes it possible to calculate the necessary computational resources for planning the path of movement of an anthropomorphic manipulator with specified characteristics.

Ключевые слова: антропоморфный манипулятор, энергоэффективность, планирование пути, обратная задача кинематики, обход препятствия.

Keywords: anthropomorphic manipulator, energy efficiency, path planning, inverse kinematics problem, obstacle avoidance.

1 Введение

В настоящее время огромный интерес разработчиков робототехнических комплексов привлекают интенсивно развивающиеся безлюдные технологии, концепция использования которых состоит в применении роботов для выполнения рутинных, вредных и опасных видов работ без непосредственного участия человека, что является залогом обеспечения безопасности и высокой эффективности решения поставленных задач. Активные исследования проводятся в области искусственного интеллекта и разработки антропоморфных роботов (АР). Современные АР пока не способны полностью заменить человека при выполнении сложных задач в динамической среде. Неспособность таких роботов заменить полностью человека возникает из-за невысокой продолжительности работы в автономном режиме. Причины невысокой продолжительности работы АР заключаются в малой емкости современных аккумуляторных батарей и высоком энергопотреблении программных и аппаратных составляющих робота. Решение данной проблемы возможно за счет разработки и модификации математических методов и алгоритмов выполнения целевых операций с целью минимизации энергопотребления.

Значительная часть энергопотребления АР приходится на его исполнительный модуль, представленный манипуляторами. Манипуляторы АР занимают основную долю времени выполнения целевых операций и, соответственно, потребляют наибольшее количество энергии робота. Снизить их энергопотребление можно, исследуя и используя методы и алгоритмы планирования пути перемещения (ПП) в рабочей зоне с типичным – стационарным препятствием, что является актуальной задачей в современной прикладной математике и робототехнике.

2 Постановка задачи

В качестве абстрактной модели реального манипулятора рассматривается кинематическая схема манипулятора АР с 7-ю степенями подвижности, представленная на рис. 1а, где использованы следующие обозначения: B_1, B_2, B_3, B_4 – плечевой, локтевой, лучезапястный узлы и рабочее окончание, соответственно; $A_1 – A_7$ – 7 вращательных степеней подвижности манипулятора, A_8 – центр рабочего окончания манипулятора (эффектор, хват).

Известными величинами для манипулятора являются длины звеньев $l_{B_1-B_2}, l_{B_2-B_3}, l_{B_3-B_4}$, соответствующие плечевому, локтевому и кистевому отделам манипулятора, расположенные между узлами B_1 и B_2, B_2 и B_3, B_3 и B_4 , соответственно. Управляемыми параметрами манипулятора являются углы поворота в семи вращательных кинематических парах $\theta =$

$\{\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6, \theta_7\}$, являющиеся обобщенными координатами. Закон движения манипулятора в обобщенных координатах описывается зависимостью:

$$\theta(t) = \{\theta_i(t)\}, \quad i = 1, \dots, 7. \quad (1)$$

В соответствии с методикой представления Денавита-Хартенберга, введены системы координат, связанные со звеньями манипулятора и параметры, характеризующие угловое и поступательное смещение систем координат, представленных на рис. 1б, где j -я система координат связана с i -м звеном. Нулевая система координат связана с основанием манипулятора.

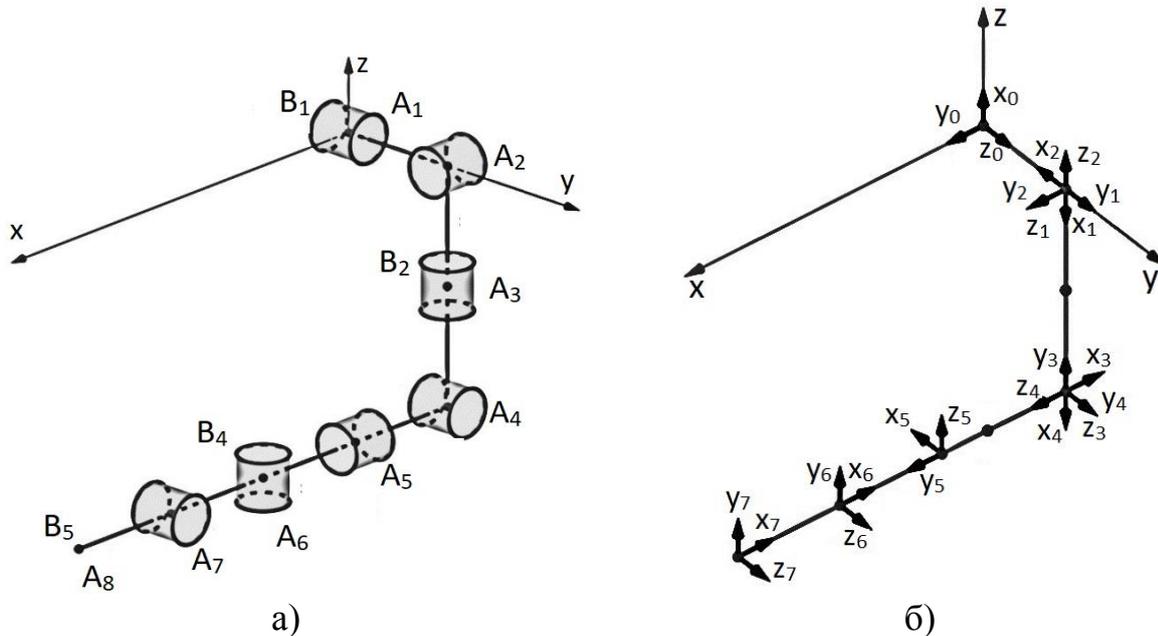


Рисунок 1 – Схема манипулятора AP с 7-ю степенями подвижности: а) кинематическая схема; б) схема связанных систем координат

Обозначим точку, в которой должен оказаться манипулятор в конечном положении как C , а время выполнения движения как τ . Условие нахождения эффектора в заданной конечной точке имеет вид:

$$B_4(\tau) = C. \quad (2)$$

Множество точек, принадлежащих звеньям манипулятора, найдено по формулам:

$$\begin{aligned} L_1(t) &= \frac{B_1(\tau) + \lambda_1 B_2(\tau)}{1 + \lambda_1}, & \lambda_1 &\in [0; 1]; \\ L_2(t) &= \frac{B_2(\tau) + \lambda_2 B_3(\tau)}{1 + \lambda_2}, & \lambda_2 &\in [0; 1]; \\ L_3(t) &= \frac{B_3(\tau) + \lambda_3 B_4(\tau)}{1 + \lambda_3}, & \lambda_3 &\in [0; 1], \end{aligned} \quad (3)$$

где L_1 – множество точек первого звена; L_2 – множество точек второго звена; L_3 – множество точек третьего звена.

Множество точек препятствия обозначено как O . Условие обхода препятствия имеет вид:

$$\begin{cases} O \cap L_1(t) = \emptyset, t \in [0; \tau], \\ O \cap L_2(t) = \emptyset, t \in [0; \tau], \\ O \cap L_3(t) = \emptyset, t \in [0; \tau]. \end{cases} \quad (4)$$

Задачей планирования ПП является поиск упорядоченного множества положений манипулятора, через которые он должен пройти и попасть из начального положения в конечное, т.е. поиск маршрута обхода препятствия. Каждое положение описывается вектором обобщенных координат манипулятора $\theta_i = \{\theta_1^i, \theta_2^i, \theta_3^i, \theta_4^i, \theta_5^i, \theta_6^i, \theta_7^i\}$, где θ_j^i – угол поворота в j -м сочленении i -го положения. Планируемый путь представлен в виде упорядоченного множества $P = \{\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_{n-1}, \theta_n\}$, где θ_0 – вектор значений обобщенных координат манипулятора в начальном положении, θ_n – вектор значений обобщенных координат манипулятора в конечном положении $\theta_1, \dots, \theta_{n-1}$ – векторы значений обобщенных координат в промежуточных положениях, вводимых для обхода препятствия.

Задача планирования движения сформулирована следующим образом: необходимо найти такой набор положений манипулятора, чтобы при прохождении через них выполнялись условия (2) и (4), и в то же время энергозатраты были минимальны:

$$\begin{cases} B_4(\theta_n) = C, \\ O \cap L_1(\theta_i) = \emptyset, i = 0, \dots, n, \\ O \cap L_2(\theta_i) = \emptyset, i \in 0, \dots, n, \\ O \cap L_3(\theta_i) = \emptyset, i \in 0, \dots, n, \\ E = \sum_{j=1}^7 \sum_{i=1}^n k_j |\theta_j^i - \theta_j^{i-1}| \rightarrow \min, \\ \theta_{\min} \leq \theta_i \leq \theta_{\max}, i = 0, \dots, n, \end{cases} \quad (5)$$

где E – целевая функция, используемая как приближенная метрика энергопотребления; k_j – весовой коэффициент, характеризующий энергопотребление j -го привода; θ_{\min} и θ_{\max} – конструктивные ограничения манипулятора, накладываемые на углы поворота.

3 Исследование

Для решения задачи поиска энергоэффективного пути перемещения (ЭПП) разработан способ планирования ЭПП манипулятора AP в рабочей зоне с типичным препятствием. Произведена модификация обобщенного способа планирования ПП манипулятора в рабочей зоне с препятствием (алгоритм способа представлен на рис. 2а) в способ планирования ЭПП манипулятора AP в рабочей зоне с препятствием, аппроксимированным в виде сферы или параллелепипеда (алгоритм способа представлен на рис. 2б).

Оптимизация по энергоэффективности конечного положения манипулятора произведена оптимизационным решением обратной задачи кинематики для расчета конечного положения манипулятора AP. Исходными данными для расчета являются значения обобщенных

координат в начальном положении манипулятора $\theta_0 = \{\theta_1^0, \theta_2^0, \theta_3^0, \theta_4^0, \theta_5^0, \theta_6^0, \theta_7^0\}$ и координаты точки C , в которой должен оказаться эффектор в конечном положении.

Целью расчета является поиск значений обобщенных координат в конечном положении θ_n , при которых эффектор окажется в заданном положении, манипулятор в конечном положении не будет пересекать препятствие, энергопотребление будет минимальным. Постановка оптимизационной задачи с учетом конструктивных ограничений имеет вид:

$$\begin{cases} \mathbf{B}_4(\tau) = C, \\ \prod_{i=1}^3 \prod_{k=1}^m f_k(\mathbf{B}_i, \mathbf{B}_{i+1}) = 1, \\ E = \sum_{j=1}^7 k_j |\theta_j^n - \theta_j^0| \rightarrow \min \\ \theta_{\min} \leq \theta_i \leq \theta_{\max}, i = 0, \dots, n. \end{cases} \quad (6)$$

где \mathbf{B}_i – радиус-вектор начала звена; \mathbf{B}_{i+1} – радиус-вектор конца звена, $f(\mathbf{B}_i, \mathbf{B}_{i+1})$ – логическая функция проверки положения звена манипулятора на предмет пересечения с препятствием.

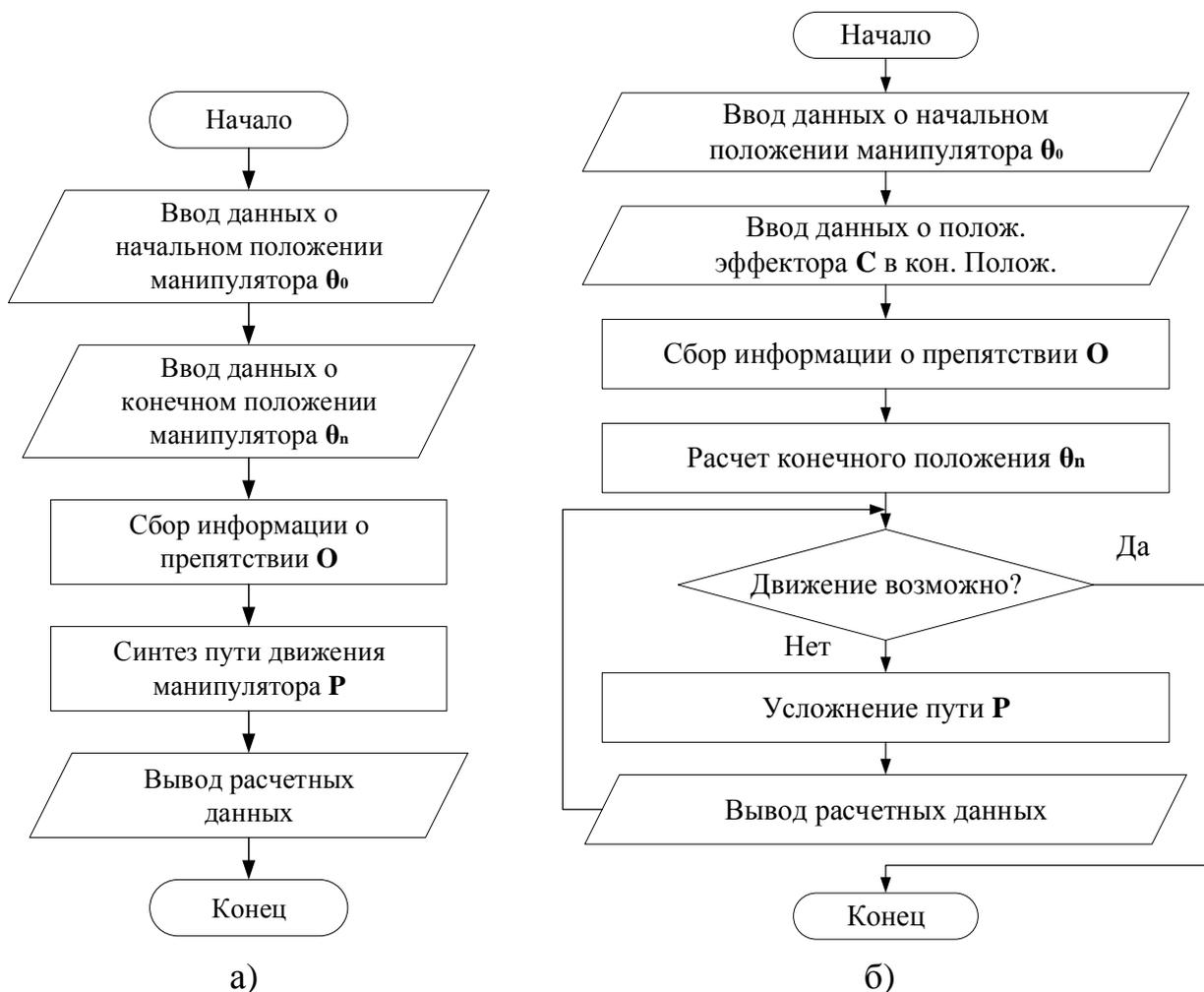


Рисунок 2 – Алгоритмы способов планирования ПП манипулятора AP в рабочей зоне с типичным препятствием: а) обобщенного способа; б) разработанного способа

Для поиска пути перемещения манипулятора в обход препятствия разработан численный метод и алгоритм итеративной кусочно-линейной генерации ЭПП центра схвата манипулятора АР в рабочей зоне с типичным препятствием. Исходными данными для задачи являются векторы значений координат точки в начальном $\mathbf{X}_H = \{x_1^H, \dots, x_n^H\}$, и конечном $\mathbf{X}_K = \{x_1^K, \dots, x_n^K\}$, положении, а также информация о препятствии, аппроксимированном гиперсферой, в виде ее центра и радиуса $\mathbf{O} = \{o_1, \dots, o_n\}, R$. Для определенности рассмотрен случай планирования пути в двумерном пространстве вследствие удобства визуализации. Общность приведенных формул позволяет использовать их для пространства любой размерности.

В численном методе проверяется возможность движения между начальным \mathbf{X}_H и конечным \mathbf{X}_K положениями по прямой (рис. 3а). В случае, если движение по прямой невозможно (рис. 3б), наихудшая точка траектории $\mathbf{X}_П$ – наиболее близко расположенная к центру препятствия, «вытаскивается» наружу сферы препятствия в точку $\mathbf{X}_Д$ и добавляется в список промежуточных положений планируемого пути. Затем аналогичные действия рекурсивно проводятся для двух новых образовавшихся отрезков пути.



Рисунок 3 – Перемещение точки из начального состояния в конечное в рабочей зоне с препятствием: а) прямое движение возможно; б) прямое движение невозможно

Алгоритм, реализующий данный численный метод, приведен на рис. 4а, а на рис. 4б – алгоритм процедуры рекурсивного усложнения пути.

Для сохранения общности рассмотрена произвольная итерация процедуры рекурсивного усложнения пути, рассматривающая движение из произвольной точки $\mathbf{X}_{НЛ}$ в произвольную точку $\mathbf{X}_{КЛ}$.

Минимальное расстояние d между траекторией точки и центром препятствия \mathbf{O} найдено по формуле:

$$d = \begin{cases} X_{НЛ}O, & \text{если } \mathbf{X}_{НЛ}X_{КЛ} \cdot \mathbf{X}_{НЛ}O \leq 0, \\ \frac{\mathbf{X}_{НЛ}X_{КЛ} \times \mathbf{X}_{НЛ}O}{X_{НЛ}X_{КЛ}}, & \text{если } \mathbf{X}_{НЛ}X_{КЛ} \cdot \mathbf{X}_{НЛ}O \geq 0 \text{ и } \mathbf{X}_{НЛ}X_{КЛ} \cdot \mathbf{X}_{КЛ}O \leq 0, \\ X_{КЛ}O, & \text{если } \mathbf{X}_{НЛ}X_{КЛ} \cdot \mathbf{X}_{КЛ}O \geq 0. \end{cases} \quad (7)$$

В случае, если найденное расстояние меньше радиуса препятствия R , необходимо найти точку наихудшего положения $\mathbf{X}_Б$ путем откладывания от точки $\mathbf{X}_{НЛ}$ вектора:

$$\mathbf{X}_{НЛ}\mathbf{X}_Б = \mathbf{X}_{НЛ}\mathbf{X}_{КЛ} \cdot \frac{\mathbf{X}_{НЛ}\mathbf{O} \cdot \mathbf{X}_{НЛ}\mathbf{X}_{КЛ}}{\mathbf{X}_{НЛ}\mathbf{X}_{КЛ}}. \quad (8)$$

Далее, как видно из рис. 3б, найти точку $\mathbf{X}_Д$ путем откладывания от точки \mathbf{O} вектора $k \cdot \mathbf{OX}_П$ такого, чтобы выполнялось условие:

$$k \cdot \mathbf{OX}_П = R + h, \quad (9)$$

где h – некоторый запас выталкивания.

Влияние параметра h на плавность траектории приведено на рис. 5.

На основе предложенного численного метода разработан математический метод планирования ПП сочленений манипулятора AP в рабочей зоне с типичным препятствием.

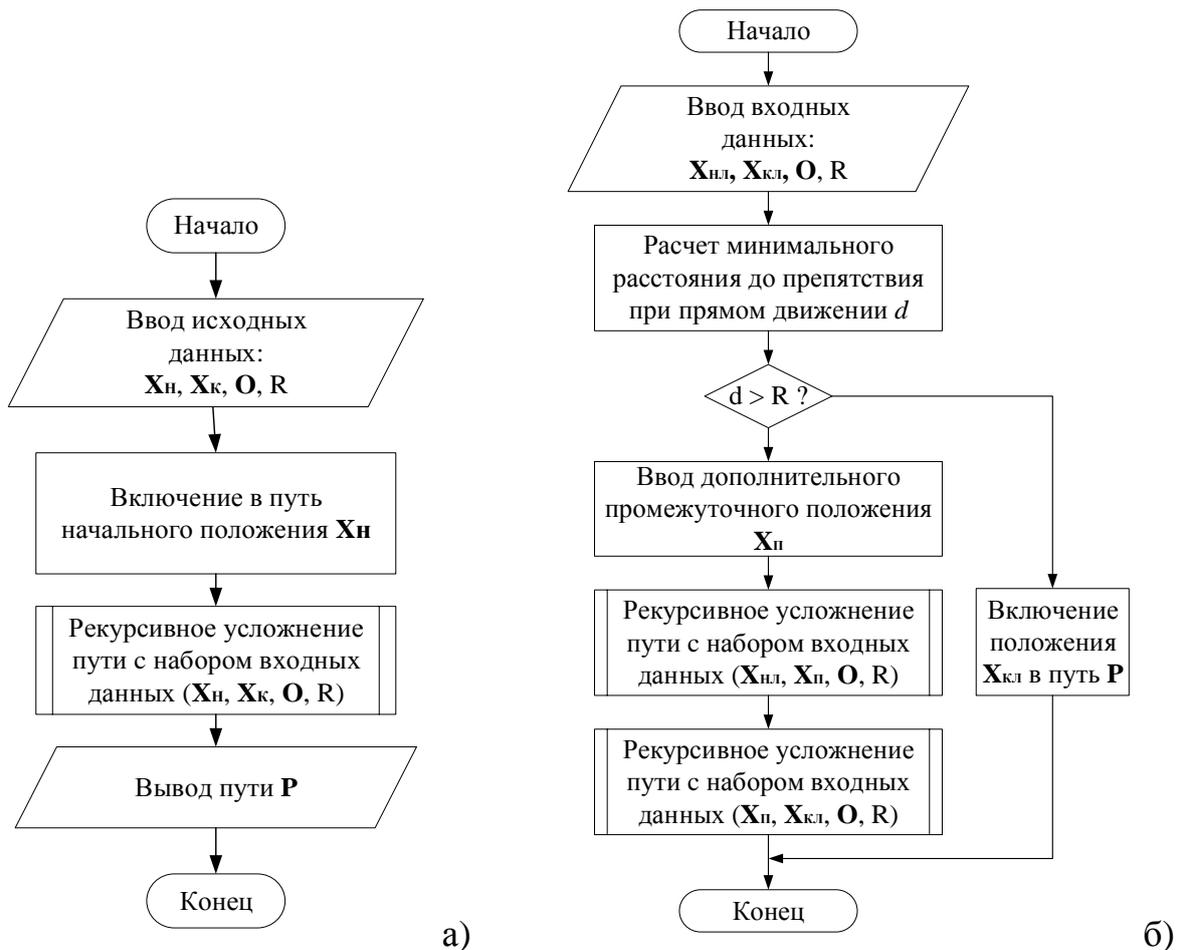


Рисунок 4 – Алгоритмы численного метода планирования ПП точки: а) алгоритм планирования пути для точки; б) алгоритм рекурсивного усложнения пути

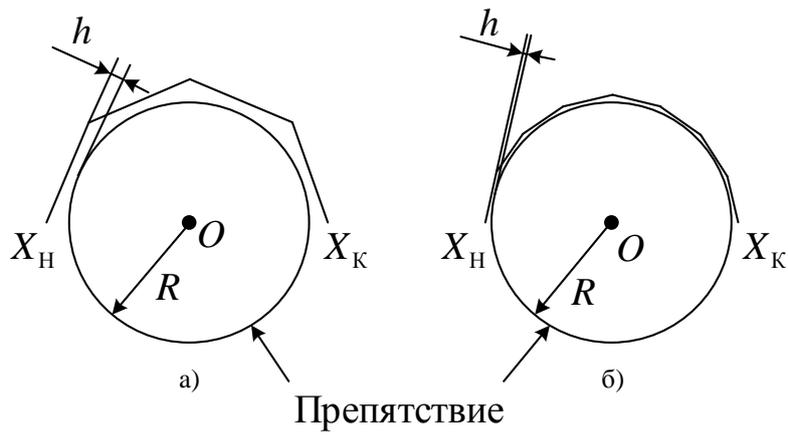


Рисунок 5 – Влияние параметра h на плавность траектории:
 а) большее значение; б) меньшее значение

Алгоритм математического метода планирования ПП сочленений манипулятора АР представлен на рис. 6. Представленный математический метод основан на разработанном способе планирования ПП манипулятора АР в рабочей зоне с типичным препятствием и разработанном численном методе итеративной кусочно-линейной генерации ЭПП центра схвата манипулятора.

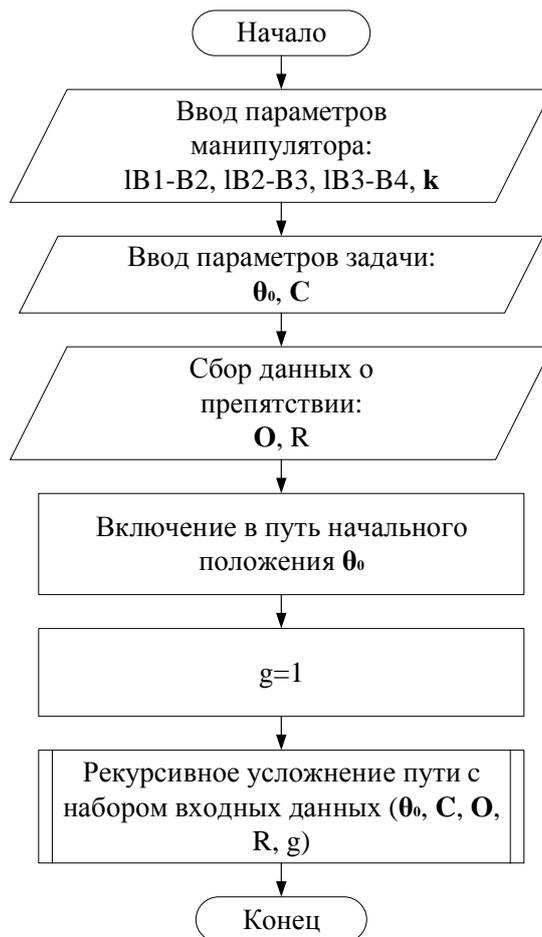


Рисунок 6 – Алгоритм математического метода планирования ПП сочленений манипулятора AP в рабочей зоне с типичным препятствием

На рис. 7 изображен алгоритм процедуры рекурсивного усложнения пути для манипулятора.

Для решения обратной задачи кинематики разработан метод математического моделирования задачи преобразования декартовых координат сочленений манипулятора AP в обобщенные координаты с пониженной вычислительной сложностью. Входными данными для метода моделирования являются параметры Денавита-Хартенберга рассматриваемого манипулятора. Результатом работы метода моделирования является получение модели, позволяющей преобразовать декартовы координаты сочленений манипулятора в его обобщённые координаты.

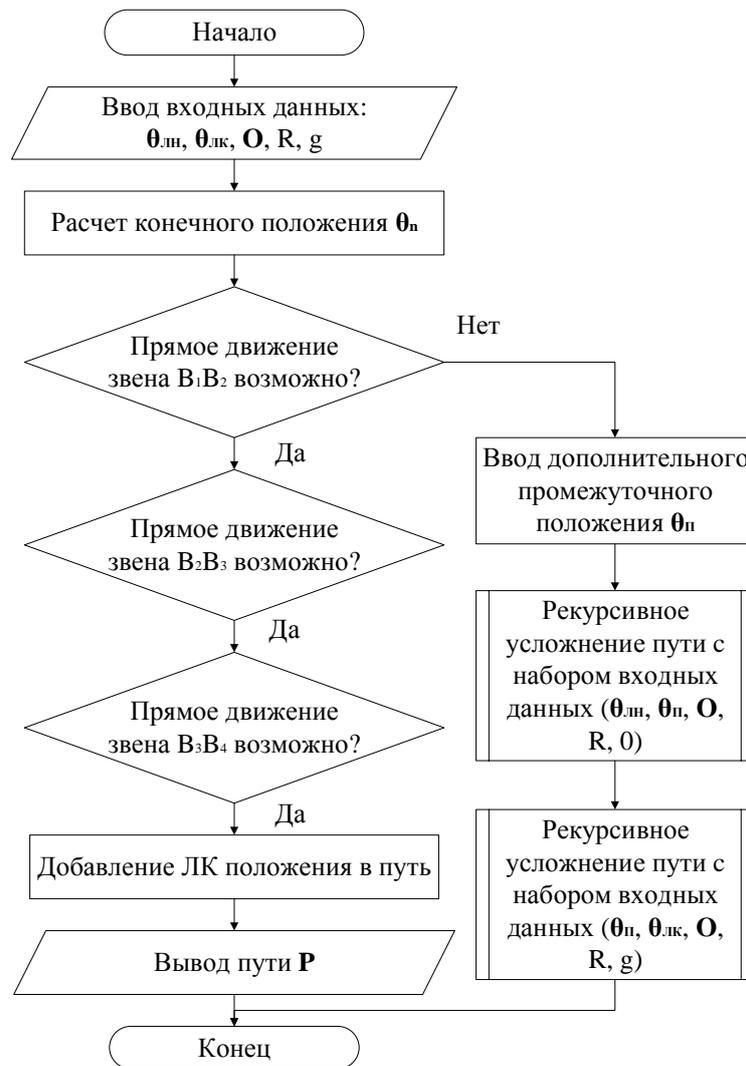


Рисунок 7 – Алгоритм рекурсивного усложнения ПП сочленений манипулятора

Подробная последовательность действий для кинематической цепи с n степенями подвижности состоит в следующем:

1. Вводятся связанные со звеньями системы координат и определяются параметры согласно представлению Денавита-Хартенберга. Обозначается множество радиус-векторов начал введенных систем координат как \mathbf{O} .
2. Вводится множество узлов \mathbf{N} , добавляется в него узел \mathbf{N}_0 , совпадающий с \mathbf{O}_0 , и принимается $i = 1$.
3. Для $k = 1, \dots, n$ рассматриваются начала связанных со звеньями систем координат \mathbf{O}_k .
4. Если \mathbf{O}_k не совпадает ни с одним элементом множества узлов \mathbf{N} , добавляется в \mathbf{N} новый узел \mathbf{N}_i , совпадающий с \mathbf{O}_k , и увеличивается i на 1.
5. Для $k = 1, \dots, i$ рассматриваются модули, соединяющие узлы \mathbf{N}_{k-1} и \mathbf{N}_k .
 - 5.1. Обозначается упорядоченное множество номеров сочленений, входящих в модуль k , как \mathbf{J}_k . Тогда его элементы находятся из условия: $\mathbf{J}_k = \{j | \mathbf{O}_j \equiv \mathbf{N}_{k-1}\}$.

5.2. В модуль входят все звенья, номера которых лежат между $\max(x|\mathbf{O}_x \equiv \mathbf{N}_{k-1})$ и $\min(x|\mathbf{O}_x \equiv \mathbf{N}_k)$.

5.3. Для рассматриваемого модуля обобщенные координаты входящих в него сочленений с номерами \mathbf{J}_k находятся по приведенным в диссертации формулам.

Для реализации разработанных методов и алгоритмов разработана система компьютерного и имитационного моделирования ЭПП манипулятора AP в рабочей зоне с типичным препятствием, выполняющая расчет в режиме реального времени. Диаграмма программных компонентов системы, отражающая её архитектуру, приведена на рисунке 8.

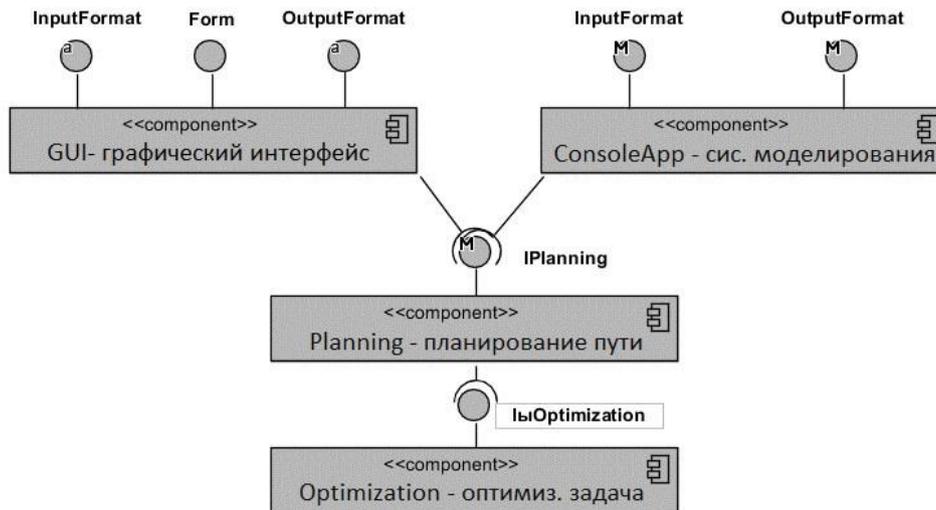


Рисунок 8 – Диаграмма программных компонентов разрабатываемой системы

Для возможности проведения вычислительных экспериментов с помощью разработанного комплекса проблемно-ориентированных программ разработаны интерфейсные компоненты «ConsoleApp» (для текстового ввода и вывода данных), «GUI» (для визуализации результатов планирования пути). Расчетный компонент «Planning» может использоваться для планирования ЭПП манипулятора AP в рабочей зоне с типичным препятствием. Данный компонент может использоваться как совместно с компонентом «Optimization», так и по отдельности. Пример работы программного комплекса в режиме графического интерфейса представлен на рис. 9.

Разработанная система обладает следующей функциональностью:

- графический и консольный интерфейс;
- входные данные могут быть введены вручную с помощью графического интерфейса или считаны из текстового файла в обоих интерфейсах;
- результаты моделирования в текстовом виде могут быть выведены на экран либо записаны в файл;

– запуск моделирования через консольный интерфейс позволяет с помощью написания соответствующих скриптов выполнить моделирование для множества наборов входных данных.

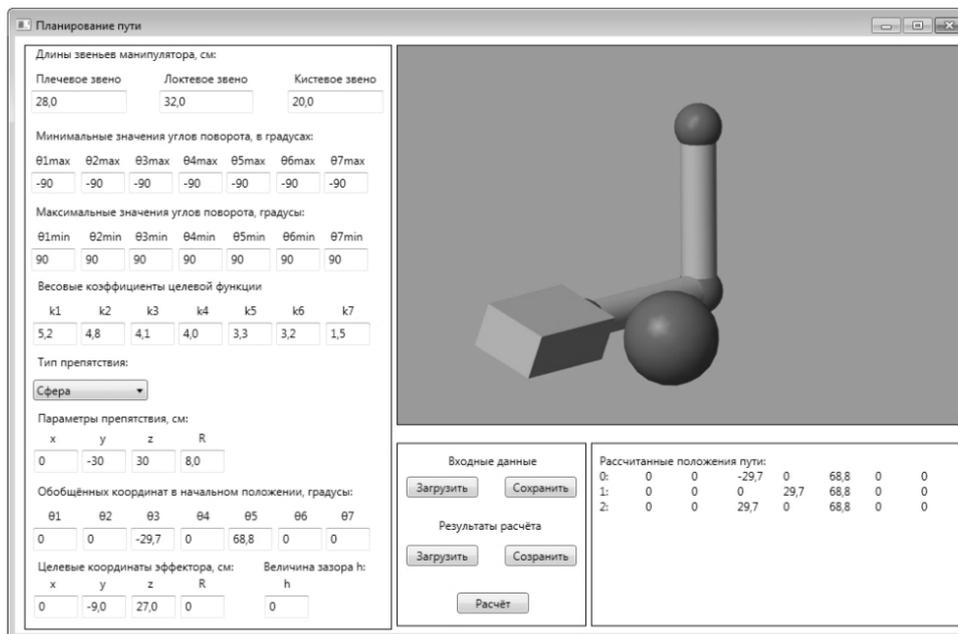


Рисунок 9 – Графический интерфейс пользователя системы компьютерного и имитационного моделирования ЭПП манипулятора AP в рабочей зоне с типичным препятствием

Результаты моделирования могут быть визуализированы в виде анимации движения манипулятора по рассчитанному пути.

4 Результаты

С помощью анализа вычислительной сложности получена приближенная формула оценки количества операций, необходимого для планирования пути с заданными параметрами h и ε :

$$N_3 \approx n_7 \cdot \log_2 \left(\frac{1}{\varepsilon} \right) \cdot \log_2 \frac{\pi}{2 \arccos \left(\frac{r}{r+h} \right)}, \quad (10)$$

где N_3 – количество операций, время выполнения которых эквивалентно времени выполнения алгоритма планирования пути; n_7 – коэффициент, зависящий от конкретной программной реализации алгоритма планирования пути; h – параметр гладкости траектории; ε – выбранное значение относительной точности нахождения «наихудшей» точки траектории.

Для оптимизированного параллельного алгоритма проведен анализ его пространственной вычислительной сложности. Предложена формула расчета переменной составляющей объема памяти, необходимого для функционирования программы, в зависимости от величины параметра h :

$$M_1 \approx m_5 \frac{\pi}{2 \arccos\left(\frac{r}{r+h}\right)}, \quad (11)$$

где M_1 – необходимый объём памяти; m_5 – коэффициент, зависящий от конкретной программной реализации.

Для разработанной программной реализации коэффициент m_5 составляет около 26,8 Кбайт. Для типичных входных данных $r = 50$ см, $h = 1$ см, необходимый объём памяти составляет около 212 Кбайт.

Результаты оценки эффективности предложенного решения оптимизационной задачи поиска обобщенных координат в конечном положении относительно метода аналога – метода расширенных ориентированных ограничивающих прямоугольников, показывают повышение эффективности для манипулятора АР на среднюю величину 38% при стандартном отклонении снижения энергозатрат на 4%.

При выполнении целевых операций манипулятором АР энергопотребление может достигать 85% от всего энергопотребления робота. Тогда продолжительность его работы в автономном режиме может быть увеличена на от 5,5% (при количестве выполняемых операций манипуляторами от 30%) до 14,11%. Таким образом, время работы АР при определенных условиях может быть увеличено до 137 мин.

5 Обсуждение

Разработанные математические методы и алгоритмы для планирования энергоэффективного пути перемещения манипулятора антропоморфного робота в рабочей зоне со стационарным препятствием могут быть внедрены и являться частью системы управления манипуляторами антропоморфного робота. Низкая вычислительная сложность алгоритмов говорит о перспективе использования данного математического аппарата в существующих мобильных манипуляционных (включая антропоморфные) роботах.

В перспективе дальнейшее развитие темы исследования заключается в развитии предлагаемого математического аппарата для манипуляторов мобильных манипуляционных и промышленных роботов, отличающихся количеством звеньев и степеней подвижности. Возможно развитие математического аппарата для рабочей зоны манипулятора, имеющей множественные стационарные и динамические препятствия.

6 Заключение

В статье описаны математические методы и алгоритмы для планирования энергоэффективного пути перемещения манипулятора антропоморфного робота (АР) при наличии типичного препятствия. Цель статьи состояла в демонстрации разработанного математического аппарата для планирования энергоэффективного пути перемещения манипулятора с 7-ю степенями подвижности, функционирующего в рабочей зоне со стационарным препятствием.

В статье приведены следующие результаты, полученные в научном исследовании:

1. Способ планирования пути перемещения манипулятора антропоморфного робота в рабочей зоне с типичным препятствием, аппроксимированным в виде сферы или параллелепипеда.

2. Математический метод и алгоритм планирования энергоэффективного пути перемещения сочленений манипулятора антропоморфного робота.

3. Метод математического моделирования задачи преобразования декартовых координат сочленений манипулятора антропоморфного робота в обобщенные координаты на основе геометрического подхода для кинематических цепей, состоящих из сочленений вращательного типа, использующий представление Денавита-Хартенберга

4. Численный метод и алгоритм итеративной кусочно-линейной генерации энергоэффективного пути перемещения центра схвата манипулятора в рабочей зоне с типичным препятствием.

5. Система компьютерного и имитационного моделирования энергоэффективного пути перемещения манипулятора антропоморфного робота при наличии типичного препятствия в рабочей зоне, выполняющая расчет в режиме реального времени.

С использованием вышеописанных методов, согласно цели исследования, достигнуты следующие результаты:

Вычислительная сложность предлагаемых методов и алгоритмов для планирования энергоэффективного пути перемещения в наихудшем положении составляет $8,3 * 10^5$ операций, что позволяет использовать данный метод в режиме реального времени на современных вычислительных машинах.

Снижение энергопотребления манипулятора антропоморфного робота при выполнении целевой операции в рабочей зоне с типичным препятствием в среднем на 11,2% без использования промежуточного решения оптимизационной задачи расчета обобщенных координат в конечном положении и на 16,6% с его использованием.

Увеличение продолжительности работы на одном цикле подзарядки антропоморфных роботов от 5,5% (6,57 мин.) до 14,11% (16,93 мин.) в зависимости от количества выполняемых целевых операций исполнительным модулем антропоморфного робота. Усредненный показатель увеличения продолжительности работы антропоморфного робота равен 9,88%, а среднее время работы увеличено на 11,85 минут.

7 Список используемой литературы

- [1] Петренко, В.И. Метод планирования траектории движения точки в пространстве с препятствием на основе итеративной кусочно-линейной аппроксимации / В.И. Петренко, Ф.Б. Тебуева, В.О. Антонов, М.М. Гурчинский // Системы управления, связи и безопасности. – 2018. – № 1. – С. 168-182.
- [2] Петренко, В.И. Математическая модель поиска оптимальных углов Эйлера для двигателей трехзвенного манипулятора / В.И. Петренко, Ф.Б. Тебуева, В.О. Антонов, М.М. Гурчинский // Современная наука: Актуальные проблемы теории и практики. Естественные и технические науки. – 2018. – № 3(1). – С. 67-74.

- [3] Петренко, В.И. Метод планирования оптимальной траектории движения трехзвенного манипулятора в объемном пространстве с препятствием / В.И. Петренко, Ф.Б. Тебуева, В.О. Антонов, М.М. Гурчинский // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2018. – Т.45. – №1. – С. 98-112.
- [4] Антонов В.О. Анализ вычислительной сложности метода итеративной кусочно-линейной генерации траектории движения трехзвенного антропоморфного манипулятора в объемном пространстве с препятствием / В.О. Антонов // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2018. – Т.22. – №3 (78). – С. 13-29.
- [5] Grobova, T. Mathematical modeling for systems of large dimension through a modification of the method of iterative aggregation / T. Grobova, V. Antonov, A. Troyanov, V. Lysov // CEUR Workshop Proceedings. Young Scientist's International Workshop on Trends in Information Processing 2017. – 2017. – Vol.1837. – P. 84-91.
- [6] Petrenko, V.I. Calculating rotation angles of the operator's arms based on generalized coordinates of the master device with following anthropomorphic manipulator in real time / V.I. Petrenko, F.B. Tebueva, V.B. Sychkov, V.O. Antonov, M.M. Gurchinsky // International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET). – 2018. – Vol. 9. – Issue 7 (2018). – P. 447-461.
- [7] Программа планирования траектории трехзвенного антропоморфного манипулятора на базе итеративной кусочно-линейной аппроксимации: свид. 2018617978 Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / В.И. Петренко, Ф.Б. Тебуева, В.О. Антонов, М.М. Гурчинский, заявитель и правообладатель ФГАОУ ВО СКФУ (RU). – № 2018615095; заявл. 21.05.2018; опубл. 05.07.2018, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.
- [8] Программный комплекс визуализации траектории движения антропоморфного трехзвенного манипулятора в объемном пространстве с препятствием: свид. 2018617979 Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / В.И. Петренко, Ф.Б. Тебуева, В.О. Антонов, М.М. Гурчинский, Е.Н. Ласкина, заявитель и правообладатель ФГАОУ ВО СКФУ (RU). – № 2018615094; заявл. 21.05.2018; опубл. 05.07.2018, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.
- [9] Программа расчета оптимального значения обобщенных координат антропоморфного манипулятора по критерию энергопотребления, для перемещения эффектора в заданную точку: свид. 2018617980 Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / В.И. Петренко, Ф.Б. Тебуева, В.О. Антонов, М.М. Гурчинский, Д.Е. Пижевский, заявитель и правообладатель ФГАОУ ВО СКФУ (RU). – № 2018615092; заявл. 21.05.2018; опубл. 05.07.2018, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.
- [10] Программа для расчета углов поворота руки оператора на основе обобщенных координат задающего устройства копирующего типа в реальном масштабе

времени: свид. 2018619861 Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / В.И. Петренко, Ф.Б. Тебуева, В.О. Антонов, М.М. Гурчинский, А.С. Павлов, заявитель и правообладатель ФГАОУ ВО СКФУ (RU). – № 2018617423; заявл. 16.07.2018; опубл. 14.08.2018, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.

List of references

- [1] Petrenko, V.I. The method of planning the trajectory of a point in space with an obstacle based on an iterative piecewise linear approximation / V.I. Petrenko, FB Tebueva, V.O. Antonov, M.M. Gurchinsky // Control Systems, Communications and Security. - 2018. - № 1. - p. 168-182.
- [2] Petrenko, V.I. Mathematical model of finding the optimal Euler angles for three-link manipulator engines / V.I. Petrenko, FB Tebueva, V.O. Antonov, M.M. Gurchinsky // Modern Science: Actual Problems of Theory and Practice. Natural and technical sciences. - 2018. - № 3 (1). - p. 67-74.
- [3] Petrenko, V.I. Method of planning the optimal trajectory of movement of a three-link manipulator in volumetric space with an obstacle / V.I. Petrenko, FB Tebueva, V.O. Antonov, M.M. Gurchinsky // Bulletin of the Dagestan State Technical University. Technical science. - 2018. - Т.45. - №1. - p. 98-112.
- [4] Antonov V.O. Analysis of the computational complexity of the method of iterative piecewise linear generation of the trajectory of movement of a three-tier anthropomorphic manipulator in a volume with an obstacle / V.O. Antonov // Proceedings of the South-West State University. - 2018. - Т.22. - № 3 (78). - pp. 13-29.
- [5] Grobova, T. Grobova, V. Antonov, A. Troyanov, V. Lysov // T. Grobova // CEUR Workshop Proceedings. Young Scientist's International Workshop on Trends in Information Processing 2017. - 2017. - Vol.1837. - P. 84-91.
- [6] Petrenko, V.I. Calculating it's a real time / V.I. Petrenko, F.B. Tebueva, V.B. Sychkov, V.O. Antonov, M.M. Gurchinsky // International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET). - 2018. - Vol. 9. - Issue 7 (2018). - R. 447-461.
- [7] The program for planning the trajectory of a three-unit anthropomorphic manipulator based on an iterative piecewise linear approximation: certificate. 2018617978 Russian Federation. Certificate of official registration of computer programs / V.I. Petrenko, FB Tebueva, V.O. Antonov, M.M. Gurchinsky, the applicant and copyright holder of the North Caucasus Federal University (RU). - № 2018615095; declare 05/21/2018; publ. 07/05/2018, Register of computer programs. - 1 s.
- [8] Software package for visualization of the trajectory of an anthropomorphic three-link manipulator in an obstructed volume: evidence. 2018617979 Russian Federation. Certificate of official registration of computer programs / V.I. Petrenko, FB Tebueva, V.O. Antonov, M.M. Gurchinsky, E.N. Laskina, the applicant and copyright holder of the

NCFU (RU). - № 2018615094; declare 05/21/2018; publ. 07/05/2018, Register of computer programs. - 1 s.

[9] Program for calculating the optimal value of the generalized coordinates of an anthropomorphic manipulator according to the criterion of energy consumption, for moving the effector to a given point: certificate. 2018617980 Russian Federation. Certificate of official registration of computer programs / V.I. Petrenko, FB Tebueva, V.O. Antonov, M.M. Gurchinsky, D.E. Pizhevsky, the applicant and copyright holder of the NCFU (RU). - № 2018615092; declare 05/21/2018; publ. 07/05/2018, Register of computer programs. - 1 s.

[10] The program for the calculation of the rotation angles of the operator's hand based on the generalized coordinates of the specifying device of the copying type in real time: certificate. 2018619861 Russian Federation. Certificate of official registration of computer programs / V.I. Petrenko, FB Tebueva, V.O. Antonov, M.M. Gurchinsky, A.S. Pavlov, the applicant and the copyright holder of the NCFU (RU). - № 2018617423; declare 07/16/2018; publ. 08/14/2018, Register of computer programs. - 1 s.

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РОБОТИЗИРОВАННОГО БЕСПИЛОТНОГО АППАРАТА МУЛЬТИРОТОРНОГО ТИПА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПЛАТФОРМЕННОЙ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Линец Г.И.
kbytw@mail.ru

ФГАОУ «Северо-Кавказский Федеральный Университет» г. Ставрополь, проспект
Кулакова, дом № 2, 355029, страна Российская Федерация

Аннотация

В последние десятилетия инерциальные навигационные системы (ИНС) стали одними из основных средств навигации большинства видов подвижных объектов. Наиболее востребованными для беспилотных летательных аппаратов являются бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС), которые не используют для стабилизации инерциальных датчиков сложные и дорогостоящие технические устройства – гиросtabilизированные платформы. К числу потенциальных преимуществ БИНС можно отнести: меньшие размеры, массу и энергоёмкость; существенное упрощение механической части системы и ее компоновки и, как следствие, повышение надежности системы; отсутствие ограничений по углам разворота; сокращение времени начальной выставки; упрощение решения задачи резервирования и контроля работоспособности системы и ее элементов.

Целью научных исследований является разработка конструкторских и программно-технических решений в области бесплатформенных инерциальных навигационных систем для роботизированных летательных аппаратов мультироторного типа.

Ожидаемыми результатами проекта являются разработанные: комплекс математических и имитационных моделей полета БЛА с учетом аэродинамических эффектов; комплекс математических и имитационных моделей БИНС с учетом особенностей БЛА; методика разработки роботизированного БЛА мультироторного типа с использованием БИНС; экспериментальный образец БЛА мультироторного типа с модулем БИНС; стенд для калибровки датчиков БИНС БЛА.

Abstract

In recent decades, Inertial Navigation Systems (INS) have become one of the basic means of navigation for most types of moving objects. The most popular for Unmanned Aerial Vehicles (UAV) are Strapdown Inertial Navigation Systems (SINS), which do not use to stabilize inertial sensors complex and expensive technical devices – gyro-stabilized platforms. The potential benefits of SINS include: smaller size, mass, and energy intensity; a significant simplification of the mechanical part of the system and its layout and, as result, an increase in the reliability of the system; no restrictions on turning corners; reducing the time of the initial exhibition; simplification of the problem solution of reservation and control of the system and its elements.

The purpose of research is to develop design and software and hardware solutions in the field of Strapdown Inertial Navigation Systems for robotic multirotor UAV.

The expected results of the project are the developed: set of mathematical and simulation models of the flight of the UAV taking into account aerodynamic effects; set of mathematical and simulation models of SINS, taking into account characteristics of UAV; development methodology of robotic multirotor UAV using SINS; experimental model of multirotor UAV with a SINS module; stand for calibrating sensors of a SINS module of UAV.

Ключевые слова: Мультироторные БЛА, БИНС, ИНС, компенсация ошибок, датчик угловой скорости, акселерометры, магнитометры, искажения навигационного поля GPS/ГЛОНАСС

Keywords: Multirotor UAV, SINS, INS, Errors Compensation, Angular Rate Sensor, Accelerometer, Magnetometer, Deformation of the Navigation Field of GPS/GLONASS

1 Введение

В настоящее время существующий класс малых мультироторных беспилотных летательных аппаратов (БЛА) нашел широкое применение в различных сферах деятельности человека. Сегодня ведущие страны мира ведут интенсивные исследования по совершенствованию данного класса мультироторных беспилотных воздушных судов.

Основным преимуществом БЛА является существенно меньшая стоимость их создания и эксплуатации по сравнению с пилотируемой авиацией.

Возможными сферами применения малых БЛА являются:

Воздушное лазерное сканирование местности (точность до 1 см):

- линий электропередач;
- истинной поверхности рельефа местности;
- создания трехмерной модели местности;
- контроля хода инженерных работ.

Чрезвычайные ситуации:

- поиск и спасение людей;
- воздушное оповещение населения;
- проведение спасательных операций;
- оперативная разведка и детальное обследование местности;
- обследование территории при лесных пожарах;
- использование в паводковый период (воздушный мониторинг).

Безопасность (патрулирование):

- охрана государственных границ в удаленных и труднодоступных участках местности;
- выявление контрабанды;
- обнаружение объектов и людей в любое время суток;
- идентификация лиц людей, номеров машин «потенциальный враг».

Электросети (ЛЭП):

- передача в режиме реального времени данных о дефектах проводов при аварийном отключении.

Автомобильные и ЖД линии:

- получение оперативных данных о состоянии городских и пригородных автомобильных дорог и ЖД линий;
- мониторинг дорожно-транспортной обстановки в режиме реального времени.

Применение БЛА в военной области:

- патрулирование объектов, границ и береговых линий;
- ведение разведки;
- борьба с вражескими снайперами;
- ретрансляция сигналов;
- радиоэлектронная борьба;
- вывод из строя техники противника с помощью электромагнитного импульса;

- транспортировка оборудования и боеприпасов;
- уничтожение объектов противника.

Отметим, что разработка малых мультироторных беспилотных воздушных судов относится к технологиям двойного назначения.

26 ноября 2018 года протоколом №2018-14-000-0001-3.1 Конкурсной комиссии Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по проведению конкурсных отборов на представление субсидий из федерального бюджета в рамках реализации мероприятий «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы», мероприятие 1.3, очередь 1, шифр лота: 2018-14-000-0001, уникальный идентификатор работ (проекта) RFMEFI57818X0222 по теме: «Разработка роботизированного беспилотного летательного аппарата мультироторного типа с использованием бесплатформенной инерциальной навигационной системы» представлена субсидия в размере 150 млн. руб. ФГФОРУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» сроком на три года.

2 Анализ состояния проблемы

Основными проблемами БПЛА являются [1- 4]:

- недостаточная гибкость решаемых задач применения по сравнению с традиционной авиацией;
- трудности создания высокопроизводительных каналов связи между оператором и БПЛА;
- трудности при полетах над густонаселенными районами, особенно в воздушном пространстве, сильно насыщенном гражданской авиацией;
- искажение навигационного поля используемых спутниковых навигационных систем, приводящее к возникновению существенных ошибок определения координат БПЛА и невозможности выполнения полетного задания.

Важнейшей характеристикой мультироторных БЛА является точность оценки позиции в пространстве, от которой зависит качество решения практических задач. Достигнутые в Российской системе Компа Нав 2М точность оценки составляют табл. 1:

Таблица 1. Параметры точности оценки местоположения Компа Нав 2М.

Параметр	Наличие сигнала GPS/ГЛОНАСС	Отсутствие GPS/ГЛОНАСС сигнала (5мин.)
Погрешность измерения линейных координат	6 м	600м
Погрешность определения путевой скорости	0,3 м/с	5 м/с
Погрешность измерения угла по азимуту	0,5°	5,0°

Оценка позиционирования осуществляется с помощью комплексирования оценок двух типов данных:

- оценки линейных ускорений в опорной системе координат;
- оценки пространственного положения, полученной от модуля GPS/ГЛОНАСС.

За основу оценки пространственного положения БЛА берутся дважды интегрированные показания измерителя линейных ускорений в опорной системе координат [1, 2].

Проблема состоит в том, что эти измерители линейных ускорений в опорной системе координат имеют разного рода погрешности, связанные с несовершенством технологии производства датчиков и ошибками при выполнении проекции из системы координат БЛА при переходе из связанной системы координат в опорную систему координат.

По этой причине оценку пространственного положения БПЛА, полученную путем двойного интегрирования показания линейных ускорений в опорном базисе, корректируют с помощью оценки пространственного положения, полученного от GPS/ГЛОНАСС модуля.

Ключевой особенностью подобных систем является накопление ошибки позиционирования при отключении GPS/ГЛОНАСС модуля. Поэтому важнейшей характеристикой систем навигации является закон нарастания ошибки позиционирования при отключении или искажении навигационного поля, информацию о котором получает GPS/ГЛОНАСС модуль.

При отключении/искажении навигационного поля, оценку пространственного положения, возможно получить лишь с помощью двойного интегрирования оценки линейных ускорений в опорной системе координат.

Все улучшения в области уменьшения нарастания ошибки позиционирования, при отключенном/искаженном навигационном поле, осуществляются путем увеличения точности оценки линейных ускорений в опорной системе координат. Существует несколько способов улучшения точности оценки линейных ускорений в опорной системе координат:

- Улучшение точности оценки пространственной ориентации БЛА. Проекция измерений линейных ускорений из связанной системы координат в опорную происходит исходя из оценки текущей пространственной ориентации самого БЛА;
- Калибровка датчиков до ввода техники в эксплуатацию, как измерителей линейных ускорений, так и датчиков, участвующих в оценке пространственной ориентации БЛА; Калибровка необходима для уменьшения разницы между измерениями идеального датчика и реального;
- Использование математических моделей, учитывающих шумы датчиков и осуществляющих оценку шумов и их коррекцию в процессе работы системы навигации и ориентации;
- Установка датчиков, имеющих более высокий класс точности оценки измеряемых параметров. Однако, более высокоточный датчик имеет и большие масса/габаритные показатели, что является для данного класса БПЛА существенным ограничивающим фактором;
- Компенсация ошибки, связанной с удаленностью расположения датчика относительно центра масс БПЛА;

- Улучшение точности оценки ускорений, действующих на систему ориентации/навигации с целью выделения из показаний датчиков линейных ускорений вектора силы тяжести;
- Удаление шумов из показаний датчиков с помощью вейвлет фильтров (ключевым требованием к фильтрации датчиков является отсутствие задержки сигнала на выходе фильтра);
- Оценка силы и направления ветра.

Недостатком существующих систем навигации для малых БПЛА является относительно большая погрешность измерений линейных ускорений в опорной системе координат, что дает приемлемую точность оценки пространственного положения при отключении/искажении навигационного поля только в течение от нескольких секунд для большинства автопилотов до 2-х 3-х минут для некоторых образцов российского производства

При отсутствии сигнала от GPS/ГЛОНАСС приемника в течение 5 минут ошибка положения может достигать 600 метров.

При такой точности оценки положения при обнаружении автопилотом отсутствия/искажения навигационного поля есть только одно допустимое решение – разворот в точку посадки, и как следствие, прерывание (возможно временного) полетного задания.

Система навигации, имеющая время выдачи приемлемой оценки положения в пространстве в течение от 5 минут и более, позволит заложить в алгоритм автопилота продолжение полетного задания в автономном режиме при обнаружении зоны отсутствия/искажения навигационного поля, и, если БЛА в течение заранее заданного времени не вышел из зоны глушения навигационного поля, то точности навигационной системы будет достаточно, чтобы вернуть БЛА в зону наличия навигационного поля.

Таким образом, основными недостатками существующих систем навигации является:

- невозможность точного полета по заданной траектории при работе в условиях искажения навигационного поля;
- необходимость прерывания полетного задания при обнаружении отсутствия/искажения навигационного поля.

Существующие мультироторные БЛА в своем составе не имеют инерциальную навигационную систему, которая могла бы решить указанные выше проблемы в полном объеме.

Применение инерциальной навигационной системы на борту мульти-роторных БЛА с возможностью работы без коррекции по показаниям GPS/ГЛОНАСС модуля с приемлемой оценкой пространственного положения, позволит выполнять полеты в условиях локального искажения навигационного поля или его полного отсутствия.

Факторами, вызывающими искажение навигационного поля или его отсутствие, являются:

- рельеф местности, затенение спутников высотными зданиями;
- работа промышленных объектов, беспроводное оборудование операторов мобильной связи (БС, РРС);
- подавление навигационного поля средствами РЭБ.

3 Цели выполнения исследований

Целью исследований является разработка бесплатформенной инерциальной навигационной системы для БПЛА мультироторного типа, позволяющая выполнять полеты в условиях кратковременного отсутствия/искажения навигационного поля или его преднамеренного подавления, обеспечивающая требуемую точность позиционирования в пространстве, при отсутствии сигнала от GPS/ГЛОНАСС модуля.

Научно-технические задачи, требующие решения:

- создание комплекса математических и имитационных моделей полета РБЛА с учетом аэродинамических эффектов;
- создание комплекса математических и имитационных моделей бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС) с учетом особенностей РБЛА;
- создание на основе моделей БИНС специализированного программного обеспечения.

4 Ожидаемые результаты прикладных научных исследований и экспериментальных разработок

Предполагается решение задач разбить на 3 этапа.

1 этап (2018 год):

- разработка математических и имитационных моделей полета РБЛА с учетом аэродинамических эффектов;
- разработка математических и имитационных моделей бесплатформенной инерциальной навигационной системы с учетом особенностей РБЛА;

2 этап (2019 год):

- исследование, разработка и программная реализация алгоритма компенсации ошибок определения скорости БЛА;
- исследование, разработка и программная реализация алгоритма компенсации ошибок определения истинного местоположения радиус вектора положения БЛА;
- исследование, разработка и программная реализация алгоритма калибровок датчиков БИНС БЛА;
- исследование, разработка и программная реализация алгоритма управления БЛА в условиях отсутствия или искажения навигационного поля;
- исследование, разработка и программная реализация алгоритма обхода отказов элементов БИНС;
- тестирование и апробация программных решений по реализации реализованных алгоритмов;

3 этап (2020 год):

Создание конструкторских решений:

- размещения, крепления и виброизоляции БИНС на БЛА;
- компоновки датчиков акселерометров, магнитометров, измерителей угловой скорости в блоке БИНС;

- обеспечения тепловых режимов радиоэлектронных систем БЛА;
- обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных систем БЛА.

Экспериментальные исследования представленных решений:

- Разработка и изготовление экспериментального образца БЛА мультироторного типа с модулем БИНС;
- Разработка и изготовление стенда для калибровки датчиков БИНС БЛА.

Ожидаемые результаты проекта:

- комплекс математических и имитационных моделей полета БЛА с учетом аэродинамических эффектов;
- комплекс математических и имитационных моделей БИНС с учетом особенностей БЛА;
- методика разработки роботизированного БЛА мультироторного типа с использованием БИНС;
- экспериментальный образец БЛА мультироторного типа с модулем БИНС;
- стенд для калибровки датчиков БИНС БЛА;
- Привлекается материально-техническая база для проведения исследований и выполнения проекта СКФУ и Индустриального партнера, в качестве которого выступает компания «СтилСофт»;
- В составе ключевых исполнителей ПНИ имеется: 3 доктора наук, 9 кандидатов наук, 5 аспирантов.

5 Заключение

Таким образом, проект «Разработка роботизированного беспилотного летательного аппарата мультироторного типа с использованием бесплатформенной инерциальной навигационной системы» направлен на проведение прикладных научных исследований и экспериментальных разработок соответствующих сквозной технологии «Управление транспортными средствами и потоками, подъемно-транспортным оборудованием (в т.ч. беспроводная связь, когнитивные технологии и др.)» и транспортной технологии «Технологии воздушного транспорта». Исследования показали, что в настоящее время РБЛА малого класса используют для навигации спутниковые навигационные системы, у которого навигационное поле подвержено искажению искусственными сооружениями, рельефом местности, средствами связи. Величина искажений навигационного поля может меняться по траектории полета в больших пределах, что приводит к ошибкам определения скорости и местоположения РБЛА. Оператор БЛА вынужден в данной ситуации прерывать полет и выполнять аварийную посадку. Предлагаемый проект позволит решить задачу определения степени искажения навигационного поля СНС и тем самым существенно повысить безопасность полетов РБЛА. Кроме этого, появляется возможность резервирования систем определения пространственной ориентации и навигации РБЛА.

Список используемой литературы

- [1] Чернодаров А.В., Иванов С.А. Идентификация моделей и адаптивная фильтрация шумов инерциальных измерителей // Электронный журнал «Труды МАИ». – 2018. – №. 99.
- [2] Емельянцеv Г.И., Степанов А.П., Блажнов Б.А. О решении навигационной задачи для летательных аппаратов с использованием инерциального модуля на микромеханических датчиках и наземных радиоориентиров // Гироскопия и навигация. – 2017. – Т. 25. – №. 1. – С. 3-17.
- [3] Деревянкин А.В., Матасов А.И. Формализация последовательной схемы калибровки бесплатформенной инерциальной навигационной системы // Автоматика и телемеханика. – 2018. – № 1. С. 66-83.
- [4] Богданов О.Н., Фомичев А.В. О влиянии задержек в трактах датчиков угловой скорости на точность навигационного решения бесплатформенной инерциальной навигационной системы // Гироскопия и навигация. – 2018. – Т. 26. – №. 2. – С. 15-28.

List of references

- [1] Chernodarov A.V., Ivanov S. A. Model Identification and Adaptive Noise Filtering of Inertial Sensors. *Trudy MAI*. [Proceedings of MAI. No. 99]. 2018, (In Russian)
- [2] Emelyancev G.I., Stepanov A.P., Blazhnov B.A. On the solution of the Navigation Problem for Aircraft using an Inertial Module with Micromechanical Sensors and Ground Radio Orientations. *Гироскопия и навигация*. [Gyroscopy and Navigation. Vol. 25. No. 1]. 2017, p. 3-17. (In Russian)
- [3] Derevyankin A.V., Matasov A.I. Formalization of the Sequential Calibration Scheme of the Strapdown Inertial Navigation System. *Автоматика и телемеханика*. [Automation and Telemechanics. No. 1]. 2018, p. 66-83. (In Russian)
- [4] Bogdanov O.N., Fomichev A.V. On the Effect of Delays in the Paths of the Angular Rate Sensors on the Accuracy of the Navigation Solution of the Strapdown Inertial Navigation System. *Гироскопия и навигация*. [Gyroscopy and Navigation. Vol. 26. No. 2]. 2018, p. 15-28. (In Russian)

**СЕКЦИЯ 1. «ИНФОРМАЦИОННЫЕ
СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ»**

POSSIBILITIES OF APPLICATION OF SPATIAL-TEMPORAL DISTRIBUTION OF USERS FOR EFFECTIVE PLACEMENT OF ADVERTISING CONTENT

Zueva Irina,
zueva.irina.95@gmail.com

Anna Aletdinova¹
Ph.D, docent
aletdinova@corp.nstu.ru

¹ Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk 630073, RUS

Abstract

Digital advertising networks are widely spread due to the increasing demand for digital screens. More than 70% of digital advertising revenue outside the home DOOH (Digital Out OF Home) comes from local ads, but at the same time there is a need to address the problem of increasing the effectiveness of advertising. Understanding the distribution of users will greatly enhance the benefits of distributing advertising content, and can potentially be used by a large number of mobile applications and geo-social services. This article discusses the possibility of determining the effective distribution of advertising content in terms of the spatial and temporal dynamics of users.x услуг.

Keywords: spatio-temporal dynamics, digital outside your home network (DOOH), content distribution.

1 Introduction

In recent decades, we have witnessed a sharp increase in the accuracy of location information. GPS positioning (Global Positioning System) was an incredible innovation in the 1990s [1]. Before

her exact location was determined by an intensive survey of people. Applications with geographic information systems (GIS) have increased awareness and analytical capabilities using media modeling. New consumer capabilities have been installed, such as car navigation systems that use technology to determine location with an accuracy of a few meters [1]. After the spread of GPS, progress has stalled, for some time problems have been solved with the work of location information in the room where people spend most of their time. Numerous prototype solutions were obtained, widespread local distribution in retail environments such as shopping centers. Indoors use location-oriented devices, where proximity and relative location of the device, along with other context elements, will manage applications based on the user's location.

2 Distribution of users in digital advertising networks

One of these areas is marketing and advertising. Digital media out-of-home-out-of-home (DOOH) refers to digital media that are displayed in publicly accessible environments. They include digital billboards and outdoor signage, as well as a network of screens that can be found in businesses such as shopping centers and medical facilities [2].

In practice, these displays are mostly reminiscent of static billboards and televisions. However, since digital displays allow you to move images and can be interactive, they are much more flexible. Mobile advertising is much easier to attract users, i.e. DOOH has much more potential for impact.

In today's fragmented world of media, among a multitude of screens, the problem of catching and holding the attention of consumers is becoming increasingly common. To achieve a breakthrough, companies recognize the need to get closer to the consumer, understand their needs and be more inventive and attractive. With the growth of urbanization, DOOH provides a platform for advertisers to achieve this participation.

Over the past decade, there has been a migration of people to urban areas, as a result of which it can be said that users are increasingly involved in the DOOH network. By 2050, this number will increase to two-thirds of the world's population [3]. As people increasingly spend time away from their home and office, there is a growing opportunity for companies to use DOOH as a creative interaction and interaction with consumers.

Modern companies that deliver to the market are data-oriented, allowing you to offer relevant messages, contextualized for an audience, time and place. Thanks to the high availability and efficiency of DOOH technology, this is to facilitate the delivery of content for all digital campaigns in the future.

In the existing DOOH content distribution systems, the advertiser needs to decide which categories of people are "correct" - oriented towards the delivered advertising content. And what content is "right" - appropriate at one time or another for a certain group of users. In this case, the main problem is the delivery of content: when and where to show the "right", ads for the "right" people [3]. Thus, advertisers should be guided by assumptions about where there is a large concentration of people for his advertising company, or consider a set of places where they want to distribute certain ads.

The data-driven decision-making mechanism is a key element of effective communication with companies and increasing all sectors of advertisers. Distributing ad content with a CMS (Content Management System) allows advertisers to integrate existing ad channels in order to optimize their content delivery during their purchase in the media. Dynamic ads optimize the targeting, relevance, and delivery of DOOH campaigns [3]. Creating dynamic content brings advertisers a deeper interaction with their audience, raising awareness, feedback and user experience. Regardless of scale or budget, simplifies ad optimization for all digital campaigns.

3 Conclusion

This article presented the possibilities of using the space-time distribution of users, to choose the location of the placement of effective advertising content, which allows advertisers to increase interaction with their audience. One of the main problems of digital content management was highlighted - when and where to show the “right” ads for the “right” users.

List of references

- [1] Kim K. et al. Trends in advertising research: A longitudinal analysis of leading advertising, marketing, and communication journals, 1980 to 2010 //Journal of advertising. – 2014. – T. 43. – №. 3.
- [2] 2. UN. World Urbanization Prospects: The 2014 Revision-Highlights. – UN, 2014.
- [3] 3. Bao J., Zheng Y., Mokbel M. F. Location-based and preference-aware recommendation using sparse geo-social networking data //Proceedings of the 20th international conference on advances in geographic information systems. – ACM, 2012.

ANALYSIS OF MOBILE APPLICATIONS

Titova V. V.¹
viktoria.titova15@yandex.ru

Kurcheeva G. I.¹
Ph. D., associate Professor
kurcheeva@yandex.ru

¹ Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, 630000, Russia

Аннотация

Жизнь современного человека неразрывно связана с мобильным телефоном. Еще несколько десятилетий назад никто не мог представить наличия в телефоне дополнительных функций, помимо звонков и отправки смс-сообщений. С течением времени функции, предоставляемые пользователю телефоном, модифицировались и дополнились. Развитие мобильного Интернета и непосредственно мобильных приложений способствовало этому явным образом.

Цель данной статьи: провести всесторонний анализ мобильных приложений, составить их классификацию. В данной статье рассматривается мобильное приложение и его классификации по нескольким параметрам. Описание начинается с краткой истории, позволяющей оценить эффективность развития приложений. Важным аспектом в статье является рассмотрение трех вариантов аналитики с описанием и примерами необходимых переменных. Мобильное приложение представляет собой большой спектр разнообразных услуг для пользователя. Для производителя же оно будет эффективно лишь при наличии правильной аналитики. Использование аналитических инструментов дает возможность вывести на рынок рентабельный продукт, каким бы совершенным технически и полезным физически для целевой аудитории он ни был.

Методы исследования, использованные для написания данной статьи: систематизация, сравнение, оценка, графическое описание информации для структурирования.

Abstract

The life of modern man is inextricably linked with a mobile phone. A few decades ago, no one could imagine the presence of additional functions in the phone, in addition to calls and sending SMS messages. Over time, the functions provided to the user by the phone have been modified and supplemented. The development of mobile Internet and mobile applications directly contributed to this explicitly.

The purpose of this article: to conduct a comprehensive analysis of mobile applications, to make their classification. This article discusses the mobile application and its classification by several parameters. The description begins with a brief history that allows you to evaluate the effectiveness of application development. An important aspect of the article is the consideration of three variants of analysis with a description and examples of the necessary variables. The mobile application is a wide range of various services for the user. For the manufacturer, it will be effective only if you have the correct Analytics. The use of analytical tools makes it possible to bring to market a cost-effective product, no matter how technically perfect and physically useful it may be for the target audience.

Methods of research used in writing this article: ordering, comparison, evaluation, graphics description of the information to structure.

Ключевые слова: мобильное приложение, телефон, операционная система, контент, пользователи, разработчики, web-приложение, нативное приложение, гибридное приложение, аналитика мобильных приложений.

Keywords: mobile app, phone, operating system, content, users, developers, web app, native app, hybrid app, mobile app Analytics..

1 Introduction

The life of modern man is inextricably linked with a mobile phone. A few decades ago, no one could imagine the presence of additional functions in the phone, in addition to calls and sending SMS

messages. Now we have a multifunctional device in our hands, buying which we know that we can listen to music, read books, learn languages, watch movies, book tickets and hotels, and order a taxi, etc. An ordinary phone gradually turned into a mechanical friend, assistant and colleague. He knows the answers to almost all questions, can contain dozens of different functions, the execution of which has thousands of options. So what contributed to this change? It's all about the development of mobile Internet and mobile applications.

2 Statement of the problem

The development of the mobile market is directly related to the development of mobile applications. Application market research allows you to estimate the difference between a smartphone equipped with the latest software and a regular phone. To analyze mobile applications, you must perform the following tasks:

- define a mobile application;
- to classify mobile applications;
- identify the pros and cons of different types of applications;
- describe mobile application Analytics;
- identify commonly used formulas for calculating some aspects of mobile applications.

3 Mobile application analytics

The history of mobile applications development goes back decades and begins with applications installed in the phone by manufacturers, such as phone book and SMS messages. Gradually, the developers understand the prospects for the development of this direction and, since the 90s, add to the phones on top of the operating system a number of additional applications: calculator, calendar, the ability to select a ringtone, alarm clock.

The first time the mobile application can be downloaded only by using a desktop computer and a DATA cable or by SMS. Gradually, the market of mobile devices quickly and confidently conquered smartphones. They were distinguished by a developed operating system (Android, Windows Mobile, IOS), which could be used by third-party developers to create mobile applications. This allowed the user to diversify the functionality of his phone, adding and expanding it with the help of new applications. [2, p. 1]

A mobile application is a program that has special functions that allow you to perform certain actions, and is installed on a particular platform.

Classification of mobile applications.

By the type of content presented in the application, you can select several groups:

1. Entertainment (multimedia) — applications responsible for the user's leisure, such as e-books, audio and video players, games.
2. Navigation application using the GPS system, geographic coordinates, e-cards.

3. Communication-applications that facilitate the exchange of messages, calls between users, as well as the use of video.

4. Reference-a type of mobile application that contains ordered information on a topic, such as dictionaries, encyclopedias.

5. Applications-applications needed to solve everyday tasks, such as a calculator, organizer, notebook, text or image processing programs. [8, p. 1]

Speaking of mobile applications, we can divide them into paid and free. Free often contain advertising, and shareware offer the user to buy some features to improve the capabilities of the application.

You can compare applications based on how you design them. Consider each of them in more detail, as well as the difference from each other, the pros and cons.

1. Mobile sites and web applications are the most common type of mobile applications. They run through a browser and are mini-sites written in HTML5.

Pros: have the simplest installation; are cross-platform; free from content restrictions.

Cons: do not have access to the functions of the phone; do not work offline.

2. Native applications are developed for a specific platform and are directly on our phone, they are accessed through icons located in the menu and on the main screen. Native apps are installed through the app store (App Store, Google Play).

Pros: have access to all the functionality of the phone; can work offline; the highest speed; high quality graphics capabilities and visual representations.

Cons: expensive development cost; any changes require a new version; limited content.

3. Hybrid applications combine parts of native and web applications. They are written in HTML5 (the application has a built-in browser), but are presented in the app store, therefore, when you download them, the user gives them access to some functions of the phone.

Pros: are cross-platform; the average cost of development.

Cons: limited content; do not work offline. [9, p. 1]

It is important to understand that mobile applications are useful not only for users but also for developers. They allow you to expand the customer base and gain access to new customers, create unobtrusive advertising of goods and services, are able to constantly remind potential users about you, as they are always on the screen of the smartphone, as well as the main feature — mobile applications contribute to earning money.

Mobile application Analytics helps manufacturers better understand users and their needs. Mobile Analytics can be divided into three types, shown in figure 1 — mobile application Analytics.

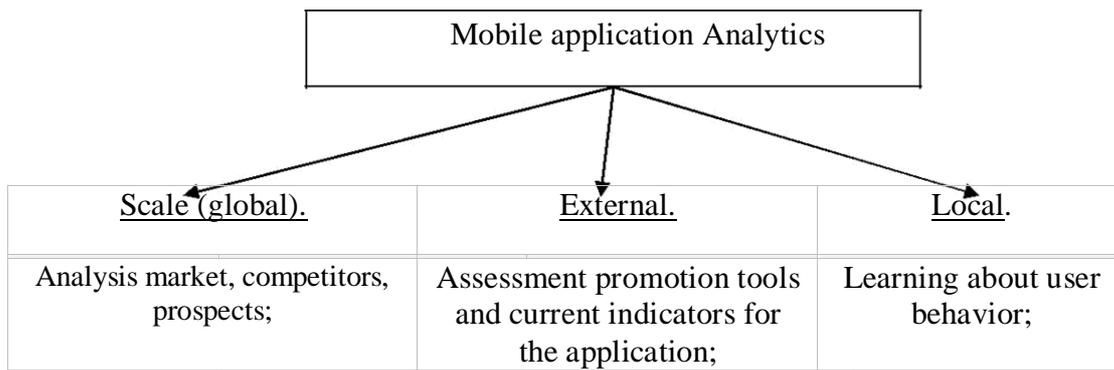


figure 1-mobile application Analytics

In order to assess the market in the global Analytics it is necessary to pay attention to the following variables: niche, perspective, solvency.

These variables should be shifted to each of the types of mobile applications discussed above and their chances in the selected industry should be assessed.

For example, to analyze the solvency of an audience, you need to estimate the average purchase check in the app, the percentage of purchases, and the frequency of payment.

External Analytics is necessary to understand the behavior of the product after various manipulations with it, as well as changes in its position. So in this area you can focus on the users of the application. Measure the number of people who have uninstalled the app; don't make purchases and passively use the content; make purchases and actively use the content. The latter category of users is especially valuable, so it is important to understand the methods of influence on their solvency in order to use them with another audience in the future. Important criteria here are the percentage registration the percentage of opening of notification of the interest payment.

The most interesting for local Analytics are organic (free) installations and effective cost of installation. To determine it, you need to calculate the average Coefficient of Free Installations (kbu), according to the following formula (1):

$$Kbu=(Organic+Paid\ installations) / Paid\ installations \quad (1)$$

After that, you can determine the real cost of installation (2), which is the ratio of the installation price to the Coefficient of Free Installations, which is reflected in the formula (2):

$$cpi=CPI/kbu \quad (2)$$

In addition, local analysts are not less important are such criteria: the percentage of satiety, rate of return, life time, retention. To determine their value, you need to enter the following variables: Ch (Churn – how many users took a month), MU (monthly audience of the application) and Rt (Return – how many users returned in a month). Formulas (3) are presented below:

$$Blade\ percentage=Ch / MY;$$

$$\begin{aligned} \text{Rate of return} &= Rt/MY; \\ \text{Life time} &= 1/\text{the Percentage of the blade} \end{aligned} \quad (3)$$

To assess the degree of retention of the user is necessary to control points (day, week, month, quarter, year) to track how many people returned to the application. [1, p. 1]

4 Discussion

During the study of the classification of mobile applications and determine their pros and cons, determined that native applications have the most powerful and diverse functionality. We also conducted Analytics of mobile applications, dividing it into three types: large-scale, external, local. For the local analyst, we have considered three interrelated formulas: the Coefficient of Free Installations, the real cost of installation, the percentage of blade, the percentage of return, life time, retention.

5 Conclusion

Summing up, it can be noted that the mobile application is a wide range of different services for the user. For the manufacturer, it will be effective only if you have the correct Analytics. The use of analytical tools makes it possible to bring to market a cost-effective product, no matter how technically perfect and physically useful it may be for the target audience.

Список используемой литературы

- [1] Аналитика приложений: начинаем мыслить академично!// сайт SPACESHIP APPS. Профессиональные секреты [Электронный ресурс]. URL: <http://blog.spaceshipapps.ru/analitika-mobilnih-prilozhenii.html> (дата обращения: 01.12.2018)
- [2] Мобильные приложения// сайт Бизнес Консалт [Электронный ресурс]. URL: <https://bconsult.pro/proektiruem-i-razrabatyvaem/mobilnye-prilozheniya> (дата обращения: 01.12.2018)
- [3] Мурета Чед. Империя приложений. Как создавать приложения-хиты. 2013. – 240 с.
- [4] Oodles. Reasons to changeover to Cross Platform Mobile App Development [Электронный ресурс]. URL: <https://www.oodlestechnologies.com/blogs/Reasons-to-changeover-to-Cross-Platform-Mobile-App-Development> (дата обращения: 01.12.2018)
- [5] Mobile: Native Apps, Web Apps, and Hybrid Apps. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nngroup.com/articles/mobile-native-apps/> (дата обращения: 01.12.2018)
- [6] Аналитика, управление продуктом, маркетинг. [Электронный ресурс]. URL: <https://gopractice.ru/summary/> (дата обращения: 01.12.2018)
- [7] Бычков А. И. Рынок мобильных приложений в России, - Инфотропик Медиа, 2016, 236 с.

- [8] Дино Эспозито. Разработка современных веб-приложений. Анализ предметных областей и технологий. Для профессионалов, 2017, 464 с.
- [9] SEONIC. Аналитика мобильных приложений: лучшие системы. [Электронный ресурс]. URL: <http://blog.seonic.pro/analitika-mobilnyx-prilozhenij-luchshie-sistemy/> (дата обращения: 01.12.2018)
- [10] Ходаковский В. iPad и iPhone: 50 лучших приложений, - Москва, Манн, Иванов и Фербер, 2011, 208 с.

List of references

- [1] Application Analytics: start thinking academically!// website SPACESHIP APPS. Professional secrets [Electronic resource]. URL: <http://blog.spaceshipapps.ru/analitika-mobilnih-prilozhenii.html> (date accessed: 01.12.2018) (In Russian)
- [2] Mobile applications// website Business consult [Electronic resource]. URL: <https://bconsult.pro/proektiruem-i-razrabatyvaem/mobilnye-prilozheniya> (date accessed: 01.12.2018) (In Russian)
- [3] Mureta Chad. Empire applications. How to create hit apps. 2013. - 240 p. (In Russian)
- [4] Oodles. Reasons to changeover to Cross Platform Mobile App Development [Electronic resource]. URL: <https://www.oodlestechnologies.com/blogs/Reasons-to-changeover-to-Cross-Platform-Mobile-App-Development> (date accessed: 01.12.2018)
- [5] Mobile: Native Apps, Web Apps, and Hybrid Apps. [Electronic resource.] URL: <https://www.nngroup.com/articles/mobile-native-apps/> (date accessed: 01.12.2018)
- [6] Analytics, product management, marketing. [Electronic resource.] URL: <https://gopractice.ru/summary/> (date accessed: 01.12.2018) (In Russian)
- [7] Bychkov, A. I. the market of mobile applications in Russia - Infotropic Media, 2016, 236 p. (In Russian)
- [8] Dino Esposito. Development of modern web applications. Analysis of subject areas and technologies. For professionals, 2017, 464 p. (In Russian)
- [9] SEONIC. Mobile application Analytics: the best systems. [Electronic resource.] URL: <http://blog.seonic.pro/analitika-mobilnyx-prilozhenij-luchshie-sistemy/> (date accessed: 01.12.2018) (In Russian)
- [10] Khodakovsky V. iPad and iPhone: 50 best apps-Moscow, Mann, Ivanov and Ferber, 2011, 208 p. (In Russian)

СРАВНЕНИЕ ARIMA И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ КАК МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАГРУЗКИ ОТЕЛЯ

Лебедева М.И.¹
1332698@mail.ru

Бакаев М.А.¹
кандидат технических наук, доцент
maxis81@gmail.com

¹ Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, 630073, Россия

Аннотация

Прогнозирование спроса является важным показателем в сфере гостиничного бизнеса. Прогнозные значения позволяют оценить уровень загрузки, оптимизировать затраты компании, а также выстроить гибкую модель по формированию цены на проживание. Определение наилучшего метода прогнозирования является весьма актуальным вопросом в наше время, в связи с этим автором предложено сравнить модель временного ряда ARIMA и нейронную сеть на данных о загрузке отеля за 2009-2017 года и определить какой из методов обеспечит более качественный прогноз загрузки отеля на 2018 год. Данные были апробированы в программе для обработки статистических данных RStudio, а код программ написан на языке программирования R. Результаты показали благоприятную ситуацию развития отеля.

Abstract

Demand forecasting is an important indicator in the hotel business. Forecast values allow to estimate load, optimize costs, and build a flexible model for accommodation pricing. Determining the best method of forecasting is a very pertinent issue. In this regard, the article compares a model based on an ARIMA time series and one based on a neural network with hotel load data for 2009-2017 and tries to determine which of the methods provides a better demand forecast for 2018. Models are tested in RStudio, a program for processing statistical data. Code is written in R. The results show a favorable scenario for development of the hotel.

Ключевые слова: Нейронные сети, обучение нейронных сетей, модель ARIMA, временной ряд, прогнозирование, загрузка отеля, лояльность клиентов.

Keywords: Neural networks, neural networks training, ARIMA model, time series, forecasting, hotel loading and customer loyalty.

Введение

Для анализа данных было придумано очень много инструментов интеллектуального анализа. Одним из мощных инструментов в области интеллектуального анализа является язык программирования R. С помощью данного инструмента были построены прогнозные зависимости с помощью модели ARIMA, а также нейронная сеть. Данные о загрузке отеля позволят грамотно скорректировать бюджетную политику предприятия, а также выстроить бюджет продаж на 2018 год.

Целью данной работы является проведение статистического анализа на основе данных о загрузке отеля за 2009-2017 несколькими методологиями с построением прогнозной зависимости на 2018 год средствами языка R, который широко используется как статистическое программное обеспечение для анализа данных.

Помимо этого, в условиях жесткой конкуренции и экономически-нестабильной ситуации, прогнозировать такой важный показатель для отеля как загрузка весьма нелегкая задача. Именно поэтому для наиболее качественного обслуживания гостей, отелю необходимо

владеть прогнозными значениями его загрузки. Удовлетворенный качеством оказания услуг клиент принесет организации прибыль и популярность.

Методы прогнозирования

Нейронные сети успешно применяются во многих областях науки – в биологии, медицине, информатике, технике, физике, бизнесе. Нейронная сеть – это последовательность нейронов, соединенных между собой синапсами. В свою очередь, синапс – это связь между двумя нейронами. А нейрон определяется как вычислительная единица, которая получает информацию, производит над ней различные простые вычисления и передает ее дальше. Нейронные сети используются для решения задач прогнозирования, классификации и управления. Из преимуществ нейронных сетей следует выделить простоту в использовании и богатые возможности. Нейронные сети учатся на примерах. Пользователь нейронной сети выбирает данные, а затем запускает алгоритм обучения, который автоматически определяет структуру данных [2-4].

Задачи прогнозирования являются весьма популярными в наше время и используются для решения ряда финансовых, экономических, а также социальных задач, к примеру, прогнозирование банкротства и развития предприятий и банков, распознавание образов, классификация показателей, прогнозирование временных рядов. Это означает, что для разработки модели прогнозирования нейронной сети должны быть выбраны большое количество параметров, и процесс проектирования потребует большое количество проб и ошибок.

Перед автором стояла задача загрузки отеля на будущий период. Знание данного показателя поможет оптимизировать затраты компании, а также выстроить гибкую модель по формированию цены проживания в отеле. В качестве входных данных будут использоваться данные о загрузке отеля за прошедший период (данные за 2009-2017 годы) из системы управления отелем Fidelio, а прогнозироваться будет загрузка на будущий период. Fidelio Version 8 - это полностью интегрированный, гибкий программный пакет, предназначенный для максимальной эффективности работы отеля. Система содержит все функции повседневной деятельности отеля, включая все аспекты управления и обслуживания отеля.

Язык программирования R, используемый для исследования широко используется как статистическое программное обеспечение для анализа данных и фактически стал стандартом

для статистических программ. Используя R для анализа временных рядов можно добиться двух целей:

– определение природы ряда – выделение основных компонент временного ряда, их детальное изучение;

– прогнозирование – предсказание будущих значений временного ряда, используя, например, прошлые значения [5].

Для представления исходных данных в виде данных временного ряда, необходимо воспользоваться функцией *ts* (). Синтаксис функции: *ts* (*x*, *start*, *frequency*), где *x* – аргумент функции, то есть исходные данные, которые необходимо преобразовать, *start* – указание начальной временной точки отсчета, *frequency* – шаг итерации.

Для определения статистических параметров временного ряда используется функция *summary()*, которая позволяет отобразить минимальное и максимальное значения представленной выборки, медиана, среднее, а также значения квантилей.

Модели ARIMA строятся на основании предыстории исследуемых временных рядов. ARIMA представляет собой обобщение модели авторегрессионного скользящего среднего и предназначена для описания нестационарных временных рядов. В общем случае модель обозначается следующим образом:

$$ARIMA(p, d, q),$$

где *p* – порядок авторегрессии, *d* – порядок интегрирования, *q* – порядок скользящего среднего.

Построение авторегрессионной модели и модели скользящего среднего предполагает стационарность временных рядов. Стационарность во временных рядах означает то, что взаимное распределение вероятностей *m* наблюдений ряда *y_t* не зависит от времени *t*. В качестве приема преодоления проблемы нестационарности временного ряда можно использовать переход к ряду приращений:

$$\Delta^1 y_t = y_t - y_{t-1};$$

$$\Delta^2 y_t = \Delta y_t - \Delta y_{t-1};$$

...

$$\Delta^d y_t = \Delta^{d-1} y_t - \Delta^{d-1} y_{t-1} \sim ARMA(p, q) \Rightarrow y_t \sim ARIMA(p, d, q).$$

Если ряд приращений порядка *d* является стационарным $\Delta^d y_t$, то исходный временной ряд *y_t* называется интегрируемым порядка *d* [6].

Количество разностей, которые берутся для достижения стационарности, определяется порядком разности d . Необходимый порядок разности определяется путем исследования графика ряда. Сильные изменения уровня (сильные скачки вверх или вниз) обычно требуют взятия несезонной разности первого порядка. Сильные изменения наклона требуют взятия разности второго порядка [7].

Анализ и прогнозирование загрузки отеля

Анализ данных о загрузке отеля проводился в ПО RStudio. Для построения модели ARIMA в RStudio используется функция *arima()*. А для построения прогноза – *predict()*.

На рисунке 1 представлен график исходных данных, а также прогноз загрузки отеля на 2018 год. Как видно, прогноз является благоприятным.

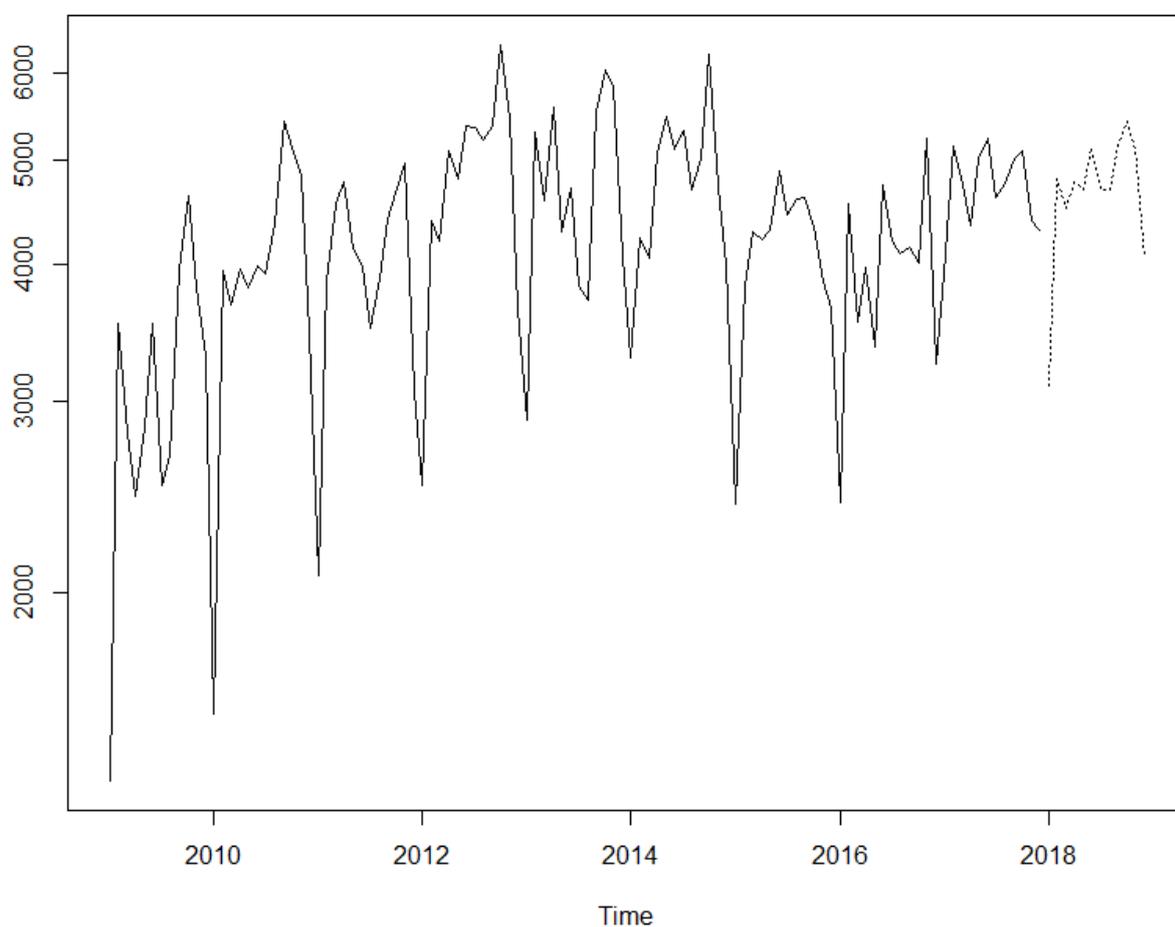


Рисунок 1 – График прогноза загрузки отеля (ARIMA)

Далее, мы провели сравнение и построили прогнозную модель с использованием нейронных сетей, для которых использовали библиотеку `library("nnet")`. Данные для

построения модели ARIMA относятся к классу time series, а для нейронных сетей нужно, чтобы вектор был числовой. Поэтому функция as.numeric преобразует данные в числовой вектор. Для обучения нейронной сети были взяты следующие параметры:

```
nnet(g.2[, 1:12], g.2[, 13], size = 6, linout = TRUE, rang = 0.1, decay = 0.001,  
      maxit = 1000),
```

где g.2[, 1:12] - матрица предикторов;

g.2[, 13] - столбец откликов;

size = 6 - количество нейронов во внешнем слое;

linout = TRUE иначе выходные значения сети будут между 0 и 1;

maxit = 1000 - количество шагов обучения;

rang = 0.1, decay = 0.001 - вспомогательные переменные.

График с результатами представлен на рисунке 2.

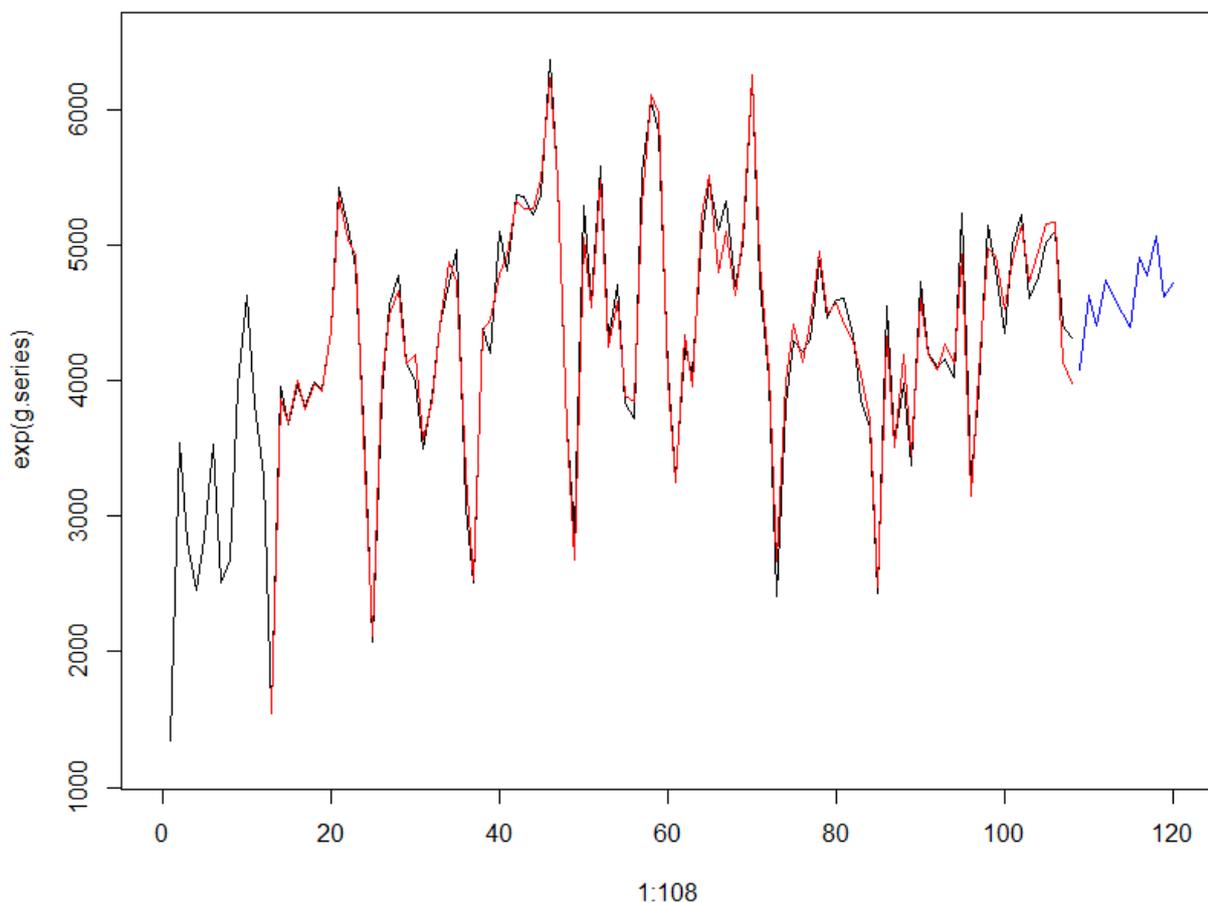


Рисунок 2 – График прогноза загрузки отеля (нейронная сеть)

На графике изображены исходные данные, подгонка и прогноз для 60-72 наблюдений (2018 год).

Ниже в таблице 1 представлены результаты, полученные двумя методами прогнозирования: прогнозирование временных рядов с помощью модели ARIMA и прогнозирование нейронных сетей. Оба прогноза являются благоприятными для отеля. Реальные результаты загрузки отеля на 2018 год также представлены в таблице.

Таблица 1 – Результаты исследования сравнения моделей

Прогнозирование временных рядов с помощью модели ARIMA											
Янв.	Февр	Март	Апр.	Май	Июн ь	Июл ь	Авг.	Сент.	Окт.	Нояб	Дек.
3098	4802	4512	4763	4685	5129	4691	4695	5157	5424	5103	4077
Прогнозирование нейронных сетей											
Янв.	Февр	Март	Апр.	Май	Июн ь	Июл ь	Авг.	Сент.	Окт.	Нояб	Дек.
4083	4627	4404	4743	4618	4497	4392	4912	4776	5060	4620	4714
Загрузка отеля на 2018 год											
Янв.	Февр	Март	Апр.	Май	Июн ь	Июл ь	Авг.	Сент.	Окт.	Нояб	Дек.
4 993	4 423	6 497	5 312	5 514	6 467	6 083	6 750	6 285	6 825	6 217	6000

Построим график полученных данных для наглядной интерпретации результатов (рисунок 3). Реальные данные на порядок выше полученных прогнозных, но пики и спады повторяют форму прогнозных графиков. Корреляция с реальными данными составила для прогноза ARIMA 0,468, для прогноза с применением нейронных сетей – 0,424. Тем самым, мы видим, что, если не учитывать внешние факторы, такие как расширение штата предприятия, открытие новых площадок отеля, прогноз будет полезен предприятию.

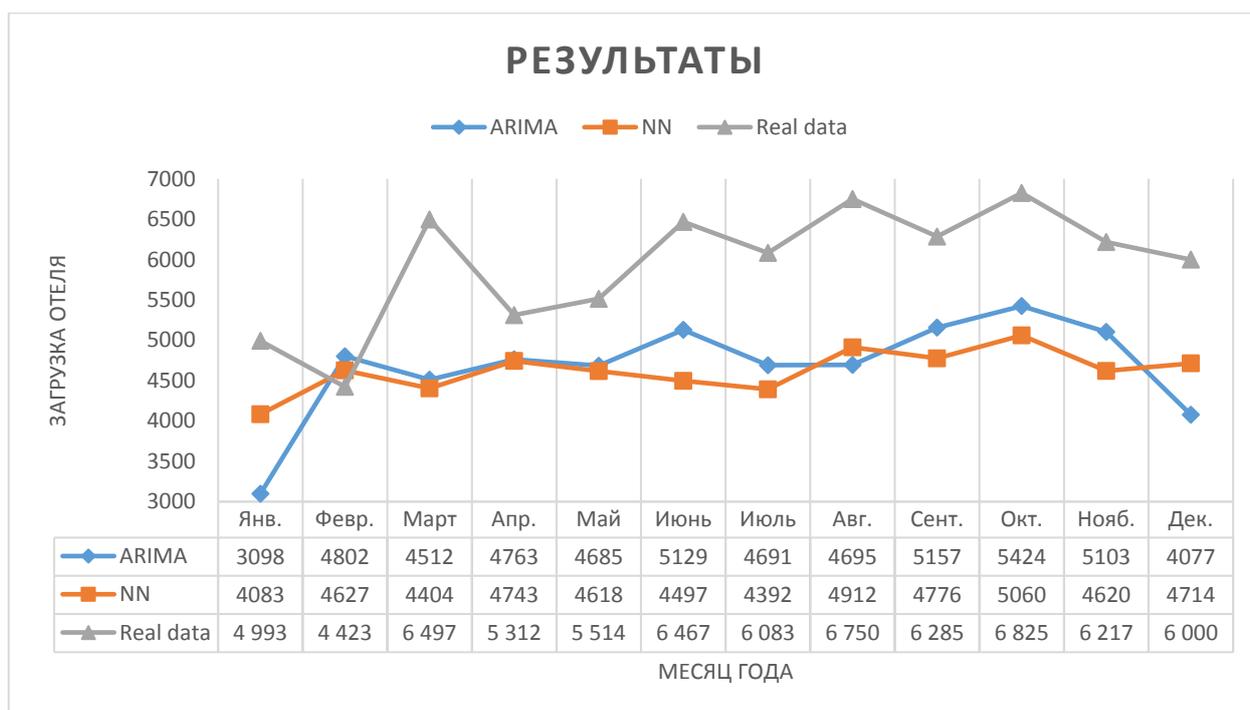


Рисунок 3 - График прогноза загрузки отеля (реальные данные, нейронная сеть, ARIMA)

Заключение

В ходе проведенного анализа были построены прогнозные модели загрузки отеля двумя методами: временной ряд ARIMA и нейронная сеть. После чего данные сравнили с реальными и выявили ряд зависимостей. Прогнозные данные моделей схожи, в некоторых месяцах отличаются не более 10%. Что касается соответствия с реальными данными – процент отклонения близок к 20-25%, что говорит о сильных изменениях деятельности отеля в 2018 году. Многочисленное проведение программ лояльности, а также внешних мероприятий направило отель на увеличение числа проживающих гостей. Тем самым появляются задачи для новых исследований: варьирование переменных модели, добавление информации о внешних факторах, построение модели загрузки отеля на 2019 год.

Список используемой литературы

- [1] Ahani A., Zairah Ab. Rahim N., Nilashi M. Forecasting social CRM adoption in SMEs: A combined SEM-neural network method / Computers in Human Behavior. 2016.

- [2] Ahn B.S., Cho S.S., Kim C.Y. The integrated methodology of rough set theory and artificial neural network for business failure prediction / *Expert Systems with Applications* V. 18, Issue 2, February 2000, P. 65-74.
- [3] Claveria O., Torra S. Forecasting Business surveys indicators: neural networks vs. time series models / 2013.
- [4] Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. 2-е издание. М.: Вильямс, 2006. 1104 с.
- [5] Анализ временных рядов [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://statsoft.ru/home/textbook/modules/sttimser.html> – Загл. с экрана.
- [6] Интегрированная модель авторегрессии – скользящего среднего (ARIMA) [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://university.prognoz.ru/biu/ru/Интегрированная_модель_авторегрессии_скользящего_среднего_%28ARIMA%29 – Загл. с экрана.
- [7] Автокорреляция. Коэффициент автокорреляции [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://univer-nn.ru/ekonometrika/avtokorrelyaciya-koefficient-avtokorrelyacii/> – Загл. с экрана.

List of references

- [1] Ahani A., Zairah Ab. Rahim N., Nilashi M. Forecasting social CRM adoption in SMEs: A combined SEM-neural network method / *Computers in Human Behavior*. 2016.
- [2] Ahn B.S., Cho S.S., Kim C.Y. The integrated methodology of rough set theory and artificial neural network for business failure prediction / *Expert Systems with Applications* V. 18, Issue 2, February 2000, P. 65-74.
- [3] Claveria O., Torra S. Forecasting Business surveys indicators: neural networks vs. time series models / 2013.
- [4] Haykin S. *Neural Networks: a complete course* 2nd edition. – Moscow, Wiliams, 2006. 1104p. (In Russian)
- [5] Time series analysis [Electronic resource] / Access via: <http://statsoft.ru/home/textbook/modules/sttimser.html>
- [6] Autoregressive integrated moving average (ARIMA) [Electronic resource] / Access via: https://university.prognoz.ru/biu/ru/Интегрированная_модель_авторегрессии_скользящего_среднего_%28ARIMA%29
- [7] Autocorrelation. Autocorrelation coefficient [Electronic resource] / Access via: <http://univer-nn.ru/ekonometrika/avtokorrelyaciya-koefficient-avtokorrelyacii/>

ОПТИМИЗАЦИЯ ТОЛЩИНЫ СЛОЯ АМОРФНОГО КРЕМНИЯ В СТРУКТУРЕ СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОПЕРЕХОДА A-Si: H/ C-Si

Бесполудин В.В.¹
vladislav.bespoludin@yandex.ru

¹ Южный федеральный университет, Таганрог, Россия

Аннотация

В данной работе представлена оптимизация толщины слоя гидрогенизированного аморфного кремния a-Si: H в структуре a-Si:H/c-Si. В процессе моделирования толщина слоя a-Si: H изменялась и составляла 10 нм, 200 нм, 400 нм, и 600 нм, а степень легирования слоя a-Si: H оставалась постоянной и составляла $N_D=1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Толщина и степень легирования слоя кристаллического кремния c-Si была постоянной и составляла 13 мкм и $N_A=9,9 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ соответственно. В процессе моделирования для увеличения КПД солнечного элемента было применено текстурирование фронтальной поверхности. Результаты проведенного исследования показали, что увеличение толщины слоя a-Si: H приводит к снижению КПД устройства. Изменяя толщину слоя a-Si: H было установлено, что максимальный КПД устройства был достигнут в 14,83 % при толщине слоя a-Si: H в 10 нм. Применение текстурирования фронтальной поверхности, позволило увеличить КПД устройства с 14,83 % до 16,54 %.

Abstract

This paper presents the optimization of the thickness of a layer of hydrogenated amorphous a-Si: H silicon in the a-Si: H / c-Si structure. During the simulation, the thickness of the a-Si: H layer changed and was 10 nm, 200 nm, 400 nm, and 600 nm, and the doping level of the a-Si: H layer remained constant and was $N_D =$

$1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. The thickness and doping level of the crystalline silicon layer c-Si was constant and was $13 \text{ }\mu\text{m}$ and $N_A = 9.9 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, respectively. In the process of modeling, a texturing of the frontal surface was applied to increase the efficiency of the solar cell. The results of the study showed that increasing the thickness of the a-Si: H layer leads to a decrease in the efficiency of the device. By varying the thickness of the a-Si: H layer, it was found that the maximum efficiency of the device was reached at 14.83% with the a-Si: H layer thickness of 10 nm. The use of texturing the front surface, increased the efficiency of the device from 14.83% to 16.54%.

Ключевые слова: солнечный элемент, моделирование, толщина, текстурирование, КПД, аморфный кремний, спектральный отклик, кристаллический кремний.

Key words: solar cell, modeling, thickness, texturing, efficiency, amorphous silicon, spectral response, crystalline silicon.

1 Введение

В последнее время в связи с совершенствованием методов производства солнечных элементов на основе аморфного кремния они становятся все более востребованы.

Аморфный кремний (a-Si) представляет собой некристаллическую аллотропную форму полупроводникового кремния и обладает высокой поглощающей способностью и может быть использован для изготовления тонкопленочных солнечных элементов (толщина обычно меньше в 100 раз чем для кристаллического кремния). Аморфный кремний не имеет большой последовательной структуры и его атомы довольно случайным образом упорядочены, и некоторые атомы имеют оборванные связи, что приводит к аномальному поведению электрической мощности. Таким образом, для снижения этого фактора используют пассивацию материала с помощью водорода, в результате чего происходит образование гидрогенизированного аморфного кремния (a-Si: H).

Пленки аморфного кремния могут осаждаться при довольно низких температурах (250 - 400 °C), что позволяет их использовать на различных подложках (стекло, пластик и др.). Данное производство является также безотходным, что позволяет снижать цену продукции [1-3].

Факторы, которые описаны выше позволяют существенно снизить стоимость изготовления солнечных элементов на основе гетеропереходов a-Si:H/c-Si в сравнении с солнечными элементами на основе кристаллического кремния c-Si.

Также солнечные элементы на основе a-Si:H/c-Si обладают лучшей температурной стабильностью характеристик по сравнению с традиционными солнечными элементами на основе монокристаллического кремния [4].

2 Описание модели

В данной работе представлено моделирование работы солнечного элемента на основе гетероперехода a-Si:H/c-Si посредством свободно распространяемой программы AFORS-HEТv2.5, которая предназначена для моделирования фотоэлектрических преобразователей.

На рис. 1 представлена конструкция солнечного элемента на основе структуры a-Si: H / c-Si.

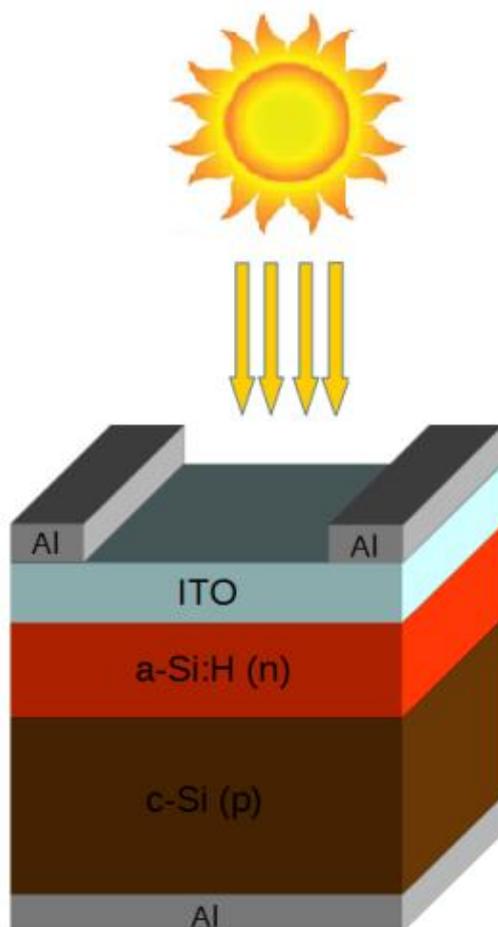


Рисунок 1. Структура моделируемого солнечного элемента

Моделирование проводилось при температуре 300 К. В процессе моделирования толщина слоя a-Si: H была изменена с 10 нм до 600 нм (10 нм, 200 нм, 400 нм, 600 нм), а степень его легирования была постоянной и составляла $N_D=1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$.

Для слоя кристаллического кремния c-Si толщина и степень его легирования была постоянной и составляла 13 мкм и $N_A=9,9 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ соответственно. В процессе моделирования также применялось текстурирование фронтальной поверхности [5-7].

3 Результаты моделирования

В результате моделирования было установлено, что с увеличением толщины слоя a-Si: H от 10 нм до 600 нм происходит снижение КПД устройства с 14,83 % до 5,43 % рис. 2 (а). Также было отмечено, что спектральный отклик устройства также снизился с увеличением толщины слоя a-Si: H рис. 2 (б).

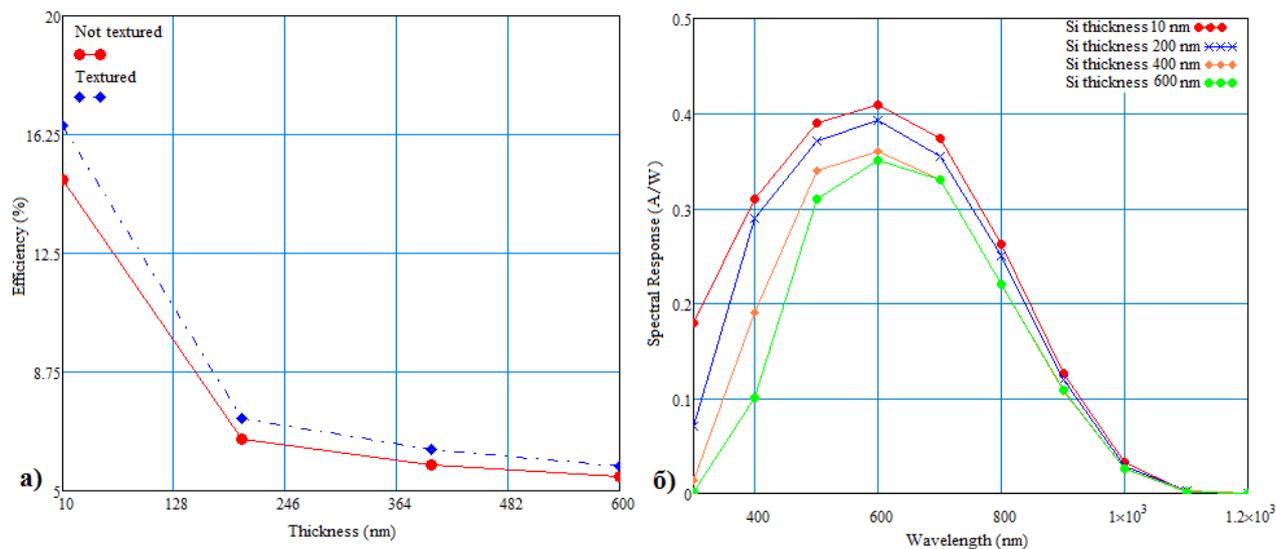


Рисунок 2. Зависимость КПД и спектрального отклика солнечного элемента от толщины слоя аморфного кремния a-Si: H (а) и текстурирования фронтальной поверхности (б)

Резкое снижение КПД с увеличением толщины слоя a-Si: H связано с глубиной р-п перехода и диффузионной длиной носителей зарядов и потерей на рекомбинации. Со снижением КПД устройства происходит также снижение спектрального отклика устройства рисунок 2 (б).

Использование же текстурирования фронтальной поверхности позволило увеличить КПД солнечного элемента с 14,83 % до 16.54% рисунок 2 (а) [8-10].

4 Заключение

В результате проведенного моделирования солнечного элемента на основе структуры a-Si:H/c-Si, было установлено, что оптимальной толщиной дающей высокий КПД является толщина 10 нм, также было установлено, что использование текстурирования фронтальной поверхности позволяет повысить КПД устройства с 14,83 % до 16.54%.

Список используемой литературы

- [1] Sino voltaics. Amorphous Silicon Solar Cells: structure and applications. 9.10.11. URL: <http://sinovoltaics.com/learning-center/solar-cells/amorphous-silicon-solar-cells-structure-and-applications/> (date of the application 29.03.2018).
- [2] Asmaa Bensmain, Hadjira Tayoub, Baya Zebentout and Zineb Benamara. Investigation of Performance Silicon Heterojunction Solar Cells Using a-Si: H or a-SiC:

- H at Emitter Layer Through AMPS-1D Simulations. *Sensors & Transducers*, Vol. 27, Special Issue, May 2014, pp. 82-86.
- [3] L. Zhao, C. L. Zhou, H. L. Li, H. W. Diao, and W. J. Wang. Role of the work function of transparent conductive oxide on the performance of amorphous/crystalline silicon heterojunction solar cells studied by computer simulation. *Phys. stat. sol./Ref. Libr.* 2008. Vol.205, No. 5, P.1215–1221.
- [4] Гудовских А.С. Границы раздела в гетероструктурных фотоэлектрических преобразователях солнечного излучения. Дис. на соиск. учен. степ. д-ра техн. наук. Санкт - Петербург. 2014. 272 с.
- [5] M. Zeman and J. Krc. Optical and electrical modeling of thin-film silicon solar cells. *J. Mater. Res.* 2008. Vol. 23, No.04, P. 889–898.
- [6] C. Lee, H. Efstathiadis, J. E. Raynolds, and P. Haldar, “Two-dimensional computer modeling of single junction a-Si:H solar cells,” in *Proceedings of the 34th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, (PVSC '09)*, pp. 001118–001122, Philadelphia, Pa, USA, June 2009.
- [7] A.A. Boussettine, B. Rezugui, A. Benmansour, G. Bremond and M. Lemiti. Optimization of the performance of micromorph tandem solar cell a-Si/ μ c-Si. *Revue des Energies Renouvelables.* 2010. Vol. 13 №1. P. 179 – 186.
- [8] Andrew B., Ngwe Z., Keith R. McIntosh, Kean Fong. High Efficiency Silicon Solar Cells. *Energy Procedia/Ref. Libr.* 2013. Vol.33. P. 1–10.
- [9] Benmoussa Dennai, H. Ben Slimane, A. Helmaoui. Simulation of Tunnel Junction in Cascade Solar Cell (GaAs/Ge) Using AMPS-1D. *Journal of nano- and electronic physics // Ref. Libr.* 2014. №4. Vol. 6. 3pp.
- [10] F. Meillaud, A. Shah, C. Droz, E. Vallat-Sauvin and C. Miazza, ‘Efficiency Limits for Single-Junction and Tandem Solar Cells’, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 90, N°18-19, pp. 2952 – 2959, 2006.

List of references

- [1] Sino voltaics. Amorphous Silicon Solar Cells: structure and applications. 9.10.11. URL: <http://sinovoltaics.com/learning-center/solar-cells/amorphous-silicon-solar-cells-structure-and-applications/> (date of the application 29.03.2018).
- [2] Asmaa Bensmain, Hadjira Tayoub, Baya Zebentout and Zineb Benamara. Investigation of Performance Silicon Heterojunction Solar Cells Using a-Si: H or a-SiC: H at Emitter Layer Through AMPS-1D Simulations. *Sensors & Transducers*, Vol. 27, Special Issue, May 2014, pp. 82-86.
- [3] L. Zhao, C. L. Zhou, H. L. Li, H. W. Diao, and W. J. Wang. Role of the work function of transparent conductive oxide on the performance of amorphous/crystalline silicon heterojunction solar cells studied by computer simulation. *Phys. stat. sol./Ref. Libr.* 2008. Vol.205, No. 5, P.1215–1221.

- [4] Gudovskih A.S. Interfaces in heterostructural photoelectric converters of solar radiation. Dis. on the competition scholarly step. Dr. Techn. sciences. St. Petersburg. 2014. 272 p.
- [5] M. Zeman and J. Krc. Optical and electrical modeling of thin-film silicon solar cells. *J. Mater. Res.* 2008. Vol. 23, No.04, P. 889–898.
- [6] C. Lee, H. Efstathiadis, J. E. Reynolds, and P. Haldar, “Two-dimensional computer modeling of single junction a-Si:H solar cells,” in Proceedings of the 34th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, (PVSC '09), pp. 001118–001122, Philadelphia, Pa, USA, June 2009.
- [7] A.A. Boussettine, B. Rezgui, A. Benmansour, G. Bremond and M. Lemiti. Optimization of the performance of micromorph tandem solar cell a-Si/ μ c-Si. *Revue des Energies Renouvelables.* 2010. Vol. 13 №1. P. 179 – 186.
- [8] Andrew B., Ngwe Z., Keith R. McIntosh, Kean Fong. High Efficiency Silicon Solar Cells. *Energy Procedia//Ref. Libr.* 2013. Vol.33. P. 1–10.
- [9] Benmoussa Dennai, H. Ben Slimane, A. Helmaoui. Simulation of Tunnel Junction in Cascade Solar Cell (GaAs/Ge) Using AMPS-1D. *Journal of nano- and electronic physics // Ref. Libr.* 2014. №4. Vol. 6. 3pp.
- [10] F. Meillaud, A. Shah, C. Droz, E. Vallat-Sauvin and C. Miaza, ‘Efficiency Limits for Single-Junction and Tandem Solar Cells’, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 90, N°18-19, pp. 2952 – 2959, 2006.

АНАЛИЗ СОДЕРЖАТЕЛЬНЫХ ИНДИКАТОРОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПО ВОЗРАСТНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Байдулова Д.Р. ¹
bbaydulova@mail.ru

Байтуменов А.З. ¹
acxat_11@mail.ru

Гостюнина В.А. ¹
lerusya93@list.ru

Давидюк Н.В. ¹
davidyuknv@bk.ru

Давидюк Н.В. ¹
к.т.н, доцент
davidyuknv@bk.ru

¹ Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, 414025, Россия

Аннотация

Для классификации текстовой информации по возрастным категориям принято выделять три подхода. Первый подход – классификация при помощи экспертов. Второй подход заключается в применении существующих в законодательстве критериев. Третий подход основывается на машинном обучении и интеллектуальном анализе данных. Методика, рекомендованная Роскомнадзором для проведения экспертизы информационной продукции, опирается на совокупность двух первых подходов. С одной стороны, частично с задачей оценки вероятности причинения информационной продукцией вреда здоровью и развитию общества, в частности, детей, способны справиться эксперты, имеющие высшее профессиональное образование и обладающие специальными знаниями. С другой - в официальных рекомендациях в некоторых пунктах прописаны жесткие критерии, по которым можно судить о возрастном цензе контента. Наличие четких критериев ведет к возможности их трансформации в набор точных правил, подлежащих применению в алгоритме классификации текстовых данных. Однако, поиск наличия

большинства содержательных индикаторов в тексте, согласно ФЗ №436, невозможно осуществить с помощью словаря или с применением точных правил. Выявленное ограничение поддается коррекции с помощью третьего подхода - на основе интеллектуального анализа данных и машинного обучения. В работе приведены основные этапы реализации этого решения. Разобраны содержательные индикаторы из ФЗ №436 в части применения методов классификации текстовой информации.

Abstract

To classify textual information by age categories, it is customary to distinguish three approaches. The first approach is classification with the help of experts. The second approach is to write the rules. The third approach is based on machine learning and intellectual data analysis. The methodology recommended by Roskomnadzor for the examination of information products, in fact, is a combination of the first two approaches. On the one hand, it is possible for experts with higher professional education and special knowledge to assess whether any information products are capable of harming the health and development of children. And on the other hand, in official recommendations in some paragraphs, there are strict criteria on which it is possible to judge the age content of content. These criteria can be translated into precise rules that can be applied in the algorithm for classifying text data. However, the search for the presence of the majority of meaningful indicators in the text, according to Federal Law No. 436, cannot be done with the help of a dictionary or by writing exact rules. The revealed restriction can be overcome only with the help of a third approach based on data mining and machine learning. The main stages of implementing this solution are given. The procedure for evaluating the quality of the classification carried out on the basis of machine learning is described.

Ключевые слова: классификация, текст, содержательный индикатор, машинное обучение, деструктивная информация, эксперт, Роскомнадзор, Web-контент.

Keywords: classification, text, content indicator, machine learning, destructive information, expert, Roskomnadzor, Web-content.

Введение

На сегодняшний день задача возрастной классификации информационной продукции является актуальной и требует решения. В результате анализа медиапотребления детей и подростков, опубликованном Роскомнадзором, более трети детей 9-16 лет сталкивались в Интернете с материалами сексуального характера, а каждый второй ребенок 11-16 лет сталкивался с угрозами здоровью, пропагандой насилия и расовой ненависти [1].

Несмотря на сложную ситуацию с практически бесконтрольным доступом к любому контенту в сети Интернет, государство начиная с 2010 года принимает действия по законодательному обеспечению защиты детей и подростков от агрессивного воздействия опасного контента. Согласно № 436-ФЗ, сайт в информационно-телекоммуникационной сети Интернет, не зарегистрированный как средство массовой информации, может содержать знак информационной продукции или текстовое предупреждение об ограничении ее распространения среди детей, соответствующие одной из категорий информационной продукции (0-6 лет, 6-12 лет, 12-16 лет, 16-18 лет, запрещенная для детей) [2]. После вступления № 436-ФЗ в силу, Роскомнадзором была подготовлена достаточно подробная методика, с помощью которой эксперты должны проводить экспертизу информационной продукции [2,3,4]. Однако наличие проработанной методики не дало должного поступательного движения по пути значительного увеличения контента с установленным возрастным знаком информационной продукции. Это вызвано в первую очередь отсутствием технической реализации процесса возрастной классификации Интернет-ресурсов [8] и наличием лишь рекомендательных, но не обязательных мер для классификации информационной продукции.

Контент Интернет-ресурса обычно включает в себя разные типы информации: текст, графика, видео, аудио. Для общей возрастной оценки сайта необходимо проанализировать каждый тип контента. В рамках этой работы рассмотрим более подробно задачу возрастной классификации текстовой информации [3].

Подходы к задаче классификации текстовой информации

Принято выделять три подхода к задаче классификации текстов. Первый подход – классификация при помощи экспертов [5]. Например, в библиотеке тематические рубрики присваиваются книгам библиотекарем вручную. Второй подход заключается в написании правил, по которым можно отнести текст к той или иной категории. Специалист, знакомый с предметной областью и обладающий навыком написания регулярных выражений, может составить ряд правил, который затем автоматически применяется к поступающим документам для их классификации. Наконец, третий подход основывается на машинном обучении и интеллектуальном анализе данных (Data Mining) [6]. В этом подходе набор критериев принятия решения текстового классификатора вычисляется автоматически из обучающих данных [10].

Методика, рекомендованная Роскомнадзором для проведения экспертизы информационной продукции, по сути, является совокупностью двух первых подходов. С

одной стороны, оценивать, способна ли та или иная информационная продукция причинить вред здоровью и развитию детей, могут эксперты, имеющие высшее профессиональное образование и обладающие специальными знаниями в области детской психологии. С другой стороны, в официальных рекомендациях в некоторых пунктах прописаны жесткие критерии, по которым можно судить о возрастном цензе контента. Эти критерии можно перевести в точные правила и затем применить в алгоритме классификации текстовых данных [3].

Содержательный индикатор возрастной маркировки – это критерий наличия в информации деструктивной информации определенной тематики, данные индикаторы изложены в требованиях ФЗ №436 (рис. 1). С помощью индикаторов устанавливается возрастная категория для Web-контента и проверяется необходимость цензуры информации.

Требования №436-ФЗ, обязательные для выполнения при возрастной классификации в целях обеспечения информационной безопасности детей и подростков					
Содержательные индикаторы возрастной маркировки	0-6 лет	6-12 лет	12-16 лет	16-18 лет	Запрет для всех возрастных групп детей и подростков
Насилие и жестокость	Информационная продукция содержит - оправданные ее жанром и (или) сюжетом эпизодические (единичные) ненатуралистические изображение или описание физического и (или) психического насилия (за исключением	Информационная продукция содержит - оправданные ее жанром и (или) сюжетом эпизодические (единичные) ненатуралистические изображение или описание физического и (или) психического насилия (за исключением сексуального насилия)	Информационная продукция содержит - оправданные ее жанром и (или) сюжетом: эпизодические изображение или описание жестокости и (или) насилия (за исключением сексуального насилия) без натуралистического показа процесса лишения жизни или нанесения увечий	Информационная продукция содержит - оправданные ее жанром и (или) сюжетом изображение или описание жестокости и (или) насилия (за исключением сексуального насилия) без натуралистического показа процесса лишения жизни или	Информация, обосновывающая или оправдывающая допустимость насилия и (или) жестокости либо побуждающая осуществлять насильственные действия по отношению к людям или животным, за исключением случаев, предусмотренных настоящим Федеральным законом;

Рисунок 1. Требования №436-ФЗ.

При определении оптимальных подходов для категоризации по каждому критерию можно повысить эффективность возрастной классификации текстовой информации путем пересмотра способа реализации данного процесса.

Анализ содержательных индикаторов

Для того чтобы понять, как и с помощью какого подхода классифицировать информацию по тому или иному критерию, необходимо осуществить анализ содержательных индикаторов. Требуется выяснить, деструктивную информацию какого рода несёт в себе текст с тем или иным содержательным индикатором. На основе этого определим возможность применения описанных выше подходов по классификации информации, а также рациональность использования синтеза этих подходов.

1. Насилие и жестокость.

Данный индикатор содержится в информации, обосновывающей или оправдывающей допустимость насилия и (или) жестокости, либо побуждающей осуществлять насильственные действия по отношению к людям или животным, за исключением случаев, предусмотренных настоящим Федеральным законом; информация, побуждающая детей к

совершению действий, представляющих угрозу их жизни и (или) здоровью, в том числе к причинению вреда своему здоровью, самоубийству [4].

Классификация информации на основе вышеизложенного критерия в основном проводится с помощью ручной классификации. Причиной является неосуществимость формирования словаря, содержащего ключевые слова, указывающие на наличие в тексте пропаганды насилия и жестокости, так как они могут иметь неоднозначный смысл. Например, слово «убить» может придавать тексту разные значения в разных контекстах в зависимости от смыслового наполнения или объекта, к которому данное действие применено. Подход с применением машинного обучения также предполагает наличие признаков, которыми являются все значимые слова в тексте.

2. Антиобщественные, противоправные действия или преступления.

Критерий подразумевает информацию, способную вызвать у детей желание употребить наркотические средства, психотропные и (или) одурманивающие вещества, табачные изделия, алкогольную и спиртосодержащую продукцию, пиво и напитки, изготавливаемые на его основе, принять участие в азартных играх, заниматься проституцией, бродяжничеством или попрошайничеством [4].

Проблема однозначной идентификации деструктивной информации по данному критерию в том, что, хотя сформировать словарь, содержащий в себе названия наркотиков, табачных, алкогольных изделий и т.д., относительно просто, не обязательно содержание ключевых слов указывает на побуждение к конкретным действиям. Предпочтительным являются подходы ручной классификации с привлечением компетентных экспертов и машинного обучения, в результате которого система могла бы определять именно пропаганду противоправных действий с необходимой точностью.

3. Сексуальные отношения.

Информация порнографического характера – информация, представляемая в виде натуралистических изображения или описания половых органов человека и (или) полового сношения либо сопоставимого с половым сношением действия сексуального характера, в том числе такого действия, совершаемого в отношении животного [4].

К данному критерию применим метод классификации с использованием словаря ключевых слов, так как стоп-слова с однозначным смыслом в этом контексте действительно присутствуют. Следовательно, возможно осуществить их поиск в текстовой информации [11]. Контекстная диаграмма данного метода представлена на рисунке 2, декомпозиция – на рисунке 3.

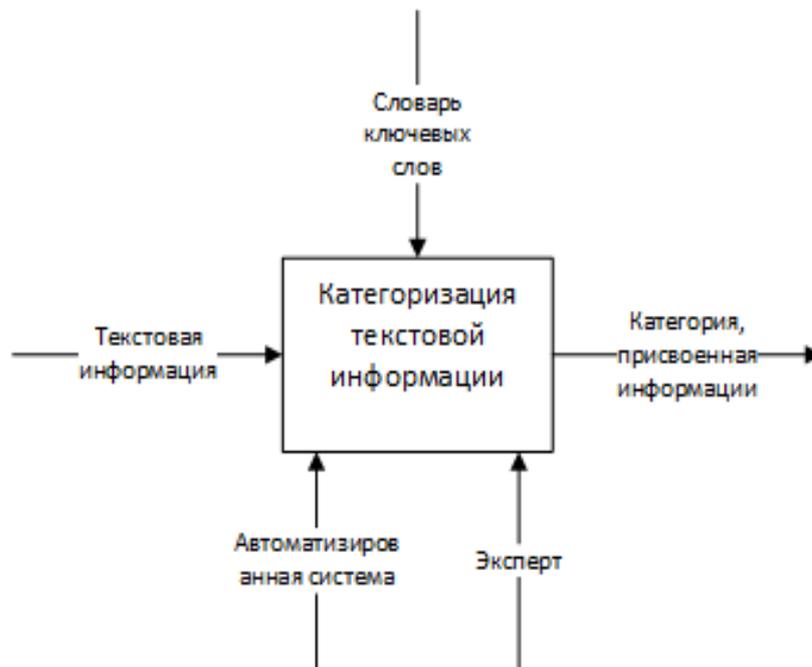


Рисунок 2. Контекстная диаграмма категоризации текстовой информации.

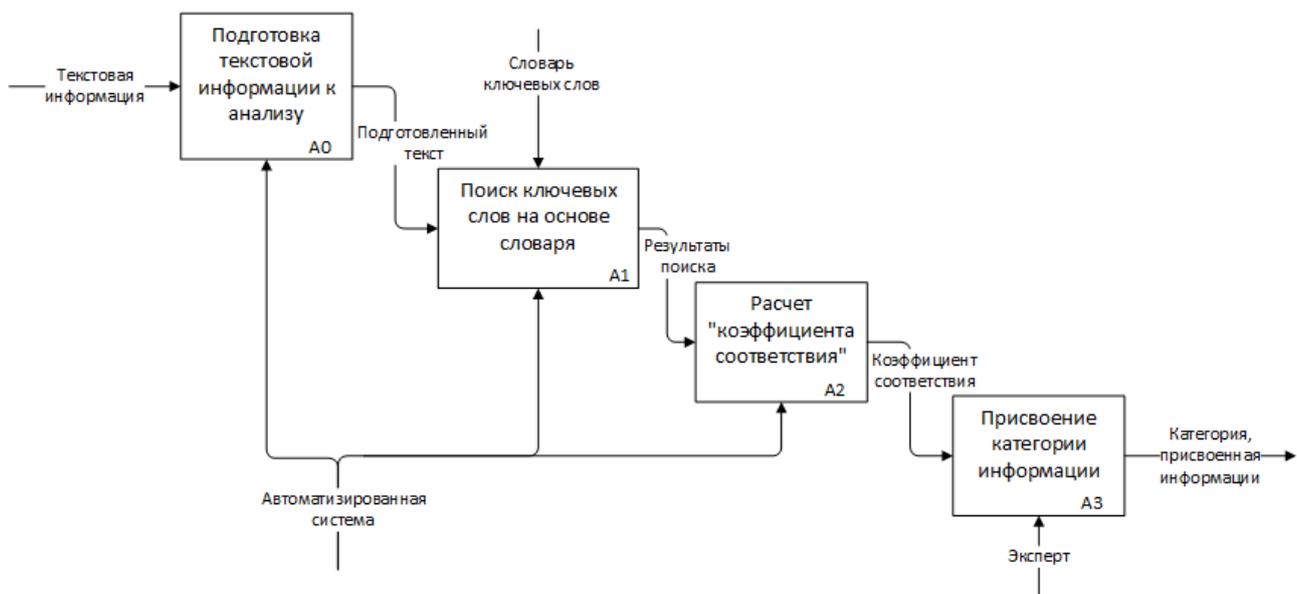


Рисунок 3. Присвоение категории информации.

Однако в таком случае появится возможность скрыть деструктивную информацию в тексте, не используя общеупотребительных ключевых слов, но сохраняя смысл. Тогда применение машинного обучения является обоснованным решением. Обучением классификатора будет ввод, например, в нейросеть множества текстов, содержащих индикатор «Сексуальные отношения» [9], но при этом слова, однозначно определяющие деструктивную информацию по этому критерию, будут отсутствовать. В результате машинного обучения при часто встречающихся словах, речевых оборотах и языковых средствах нейросеть будет указывать

на возможное содержание индикатора возрастной маркировки по данному критерию. Кроме того, при использовании машинного обучения возможно обрабатывать другие типы информации, помимо текстовой, что необходимо при анализе на содержание индикатора «Сексуальные отношения».

4. Совершение действий, представляющих угрозу жизни и (или) здоровью, в том числе к причинению вреда своему здоровью, самоубийству.

В данном пункте в методике РКН содержится запрет на информацию, побуждающую детей к совершению действий, представляющих угрозу их жизни и (или) здоровью, в том числе к причинению вреда своему здоровью, самоубийству [4].

Данный критерий аналогичен критерию «Насилие и жестокость» относительно проблемы поиска признаков, указывающих на содержание индикатора возрастной маркировки. Применение второго и третьего подходов приведет к недопустимо большому количеству ошибок и неточностей в категоризации, что нерационально. Таким образом, подход ручной классификации – это единственно верное решение.

5. Язык.

Критерий подразумевает употребление ненормативной лексики [4]. Однозначно можно определить деструктивность информации при наличии бранных, вульгарных, нецензурных слов, ненормативных речевых оборотов и выражений, сходных до степени смешения с нецензурными, что указывает на очевидность применения второго подхода. Соответственно, применяемый алгоритм приведен на рисунке 3. Подход с машинным обучением следует использовать для поиска слов и словосочетаний, не являющихся общеупотребительными и образованных посредством смешения слов или жаргонного словообразования [7]. Таким образом, для машинного обучения следует сформировать множество текстов, содержащих такие слова и словосочетания, достаточное для последующего относительно точного обнаружения таких индикаторов.

6. Объекты, вызывающие страх, ужас, панику.

Описание человеческих заболеваний, несчастные случаи, аварии или катастрофы и тому подобные события, способные вызвать страх, ужас и панику, представляет данный критерий [4]. На основе этого содержательного индикатора категоризация пространственной информации может осуществляться как экспертом, так частично автоматизированной системой. К данному критерию есть возможность применить словарь, содержащий названия различных заболеваний, описание крови, ушибов и подобного рода сведения, неприятных восприятию человека.

Заключение

Экспертиза информационной продукции по возрастному критерию, с одной стороны, - формально оформленная государственная инициатива с утвержденными рекомендациями по процессу ее проведения, с другой, - технически сложная экспертная процедура по анализу

большого количества данных (не всегда «очевидных») с целью вынесения взвешенного и обоснованного заключения об отнесении указанной информационной продукции к классу деструктивной или соответствующей возрастной категории пользователей. При этом именно текстовая информация является неотъемлемой частью практически любого контента, и, соответственно, изучение способов проведения классификации такого типа данных - это необходимый шаг по пути развития технологий для проведения экспертизы информационной продукции. В данной статье рассмотрены три подхода к задаче классификации текстовых данных, и установлено их соответствие законодательно установленным критериям, в соответствии с которыми должна проводиться возрастная маркировка.

Были определены оптимальные подходы для категоризации информационного текстового контента по каждому из критериев. Для некоторых из критериев найдено решение использования совокупности нескольких методов. Также обозначены проблемы применения способов классификации по конкретным критериям.

На основе проведенного анализа для корректного и однозначного произведения возрастной оценки Web-контента предлагается применять комбинированный метод, основанный на комбинационном применении правил категоризации, машинном обучении, а также привлечении процедур экспертной оценки.

Указанный метод при его дальнейшей алгоритмизации подлежит реализации в виде системы поддержки принятия решений выявления деструктивной информации и возрастного категорирования веб-контента согласно нормам законодательства РФ с применением интеллектуальной обработки данных, что позволит повысить эффективность и качество решения указанных задач.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Минобрнауки и Минкомсвязь подготовили нормативы защиты детей от опасной онлайн-информации [Электронный ресурс] // Информационное агентство России ТАСС. URL: <http://tass.ru/obschestvo/1045314> (дата обращения 18.12.2017).
- [2] Федеральный закон от 29 декабря 2010 г. N 436-ФЗ "О защите детей от информации, причиняющей вред их здоровью и развитию" [Электронный ресурс] // Российская газета. 2010. 31 декабря. URL: <https://www.rg.ru/2010/12/31/deti-inform-dok.html> (дата обращения 18.12.2017).
- [3] Гостюнина В.А., Савельев А.Н. Использование технологии Text mining для классификации web-ресурсов по возрастным категориям // Математические методы в технике и технологиях. Саратов: СГТУ им. Гагарина Ю.А. 2017. Т.3. С.111-115.
- [4] Методика, рекомендуемая к использованию при проведении экспертизы информационной продукции в соответствии с Федеральным законом от 29 декабря 2010 года № 436-ФЗ [Электронный ресурс] // Роскомнадзор. URL: https://rkn.gov.ru/docs/Prilozhenie_1.pdf (дата обращения 12.12.2017).

- [5] Лосев А.В. Заключение № ЭИП7717-01 экспертизы информационной продукции от 10 января 2017 года [Электронный ресурс] // Роскомнадзор. URL: <https://rkn.gov.ru/docs/7717-01.pdf> (дата обращения 12.12.2017).
- [6] Michael Sipser Introduction to the Theory of Computation. Ed.3. Boston: Cengage Learning, 2013. 445 p.
- [7] Favor Hash Lookups Over Array Searches [Электронный ресурс] // mtdowling. URL: <http://mtdowling.com/blog/2014/03/17/hash-lookups-over-array-search/> (дата обращения 17.12.2017).
- [8] Закас Николас ECMAScript 6 для разработчиков. СПб.: Изд-во Питер, 2017. 352 с.
- [9] Huw Collingbourne, Chris Takemura The Book of Ruby: A Hands-On Guide for the Adventurous. San Francisco: No Starch Press, 2011. 400 p.
- [10] Батура Т.В. Методы автоматической классификации текстов // Программные продукты и системы. 2017. №1. С.85-99. doi:10.15827/0236-235X.117.085-099
- [11] Charu C. Aggarwal, Chengxiang Zhai Mining Text Data. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2013. 222 p.

List of references

- [1] Minobrnauki i Minkomsvyaz' podgotovili normativy zashchity detey ot opasnoy onlayn-informatsii [Electronic resource] [The Ministry of Education and Science and the Ministry of Communications have prepared standards for the protection of children from dangerous online information] // *Informatsionnoye agentstvo Rossii TASS*. URL: <http://tass.ru/obschestvo/1045314> (reference date is December 18, 2017).
- [2] Federal'nyy zakon ot 29 dekabrya 2010 g. N 436-FZ "O zashchite detey ot informatsii, prichinyayushchey vred ikh zdorov'yu i razvitiyu" [Electronic resource] [Federal Law of December 29, 2010 N 436-FZ "On the protection of children from information that is harmful to their health and development"] // *Rossiyskaya gazeta*. 2010. December 31. URL: <https://www.rg.ru/2010/12/31/deti-inform-dok.html> (reference date is December 18, 2017).
- [3] Gostyunina V.A., Savel'yev A.N. Ispol'zovaniye tekhnologii Text mining dlya klassifikatsii web-resursov po vozrastnym kategoriyam [Use of technology Text mining for classification of web-resources by age categories] // *Matematicheskiye metody v tekhnike i tekhnologiyakh*. Saratov: SGTU im. Gagarina YU.A. 2017. Vol.3. pp.111-115.
- [4] Metodika, rekomenduyemaya k ispol'zovaniyu pri provedenii ekspertizy informatsionnoy produktsii v sootvetstvii s Federal'nyim zakonom ot 29 dekabrya 2010 goda № 436-FZ [Electronic resource] [The methodology recommended for use in the examination of information products in accordance with Federal Law of December 29, 2010 No. 436] // *Roskomnadzor*. URL: https://rkn.gov.ru/docs/Prilozhenie_1.pdf (reference date is December 12, 2017).

- [5] Losev A.V. *Conclusion № EIP7717-01 examination of information products from January 10, 2017* [Electronic resource] // Roskomnadzor. URL: <https://rkn.gov.ru/docs/7717-01.pdf> (reference date is December 12, 2017).
- [6] Michael Sipser *Introduction to the Theory of Computation*. Ed.3. Boston: Cengage Learning, 2013. 445 p.
- [7] Favor Hash Lookups Over Array Searches [Electronic resource] // *mtdowling*. URL: <http://mtdowling.com/blog/2014/03/17/hash-lookups-over-array-search/> (reference date is December 17, 2017).
- [8] Zakas Nikolas *ECMAScript 6 dlya razrabotchikov* [ECMAScript 6 for developers]. SPb.: Izd-vo Piter, 2017. 352 p.
- [9] Huw Collingbourne, Chris Takemura *The Book of Ruby: A Hands-On Guide for the Adventurous*. San Francisco: No Starch Press, 2011. 400 p.
- [10] Batura T.V. Metody avtomaticheskoy klassifikatsii tekstov [Methods of automatic classification of texts] // *Programmnyye produkty i sistemy*. 2017. №1. pp.85-99. doi:10.15827/0236-235X.117.085-099
- [11] Charu C. Aggarwal, Chengxiang Zhai *Mining Text Data*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2013. 222 p.

КОНТЕЙНЕРЫ И КОНТЕЙНЕРИЗАЦИЯ

Лайпанова Х. Х.¹
halu9520@gmail.com

Кононова Н. В.²
кандидат физико-математических наук
knv_fm@mail.ru

СКФУ, г. Ставрополь, 355029, Россия¹
СКФУ, г. Ставрополь, 355029, Россия²

Аннотация

Контейнеризация приложений является относительно новой и быстро развивающаяся ИТ-методология на уровне предприятия. Несмотря на то, что виртуальные машины (VM) являются универсальными инструментами облака, они имеют существенные недостатки. Они по-прежнему функционируют с помощью операционной системы, и следует учитывать трудоемкость аппаратного обеспечения. Благодаря этому, появилась идея – создание контейнеров. Контейнеры - это относительно новая концепция, которая захватила мир разработки программных приложений за последние несколько лет. Это новое достижение в попытке системных инженеров и разработчиков максимально применить доступные вычислительные ресурсы. Системные контейнеры выполняют роль, аналогичную виртуальным машинам, но без аппаратной виртуализации. Несмотря на то, что системные контейнеры также опираются на представления, они являются давними и недолговечными. Существует множество поставщиков, которые предлагают контейнерные платформы и инструменты управления контейнерами, такие как облачные сервисы. В статье рассматриваются самые известные поставщики контейнерных платформ: Docker и Kubernetes, Hyper-V и Windows Server, Amazon Elastic Container Service. Они предлагают перейти на следующий

уровень для разделения вычислительных ресурсов, не навязывающее приложению, работающему на облаке, необходимость несения собой операционной системы.

Abstract

The Application containerization is a relatively new and rapidly evolving methodology at the enterprise level. Although virtual machines (VM) are universal cloud tools, they have significant drawbacks. They still function using the operating system, and the complexity of the hardware should be considered. Thanks to this, there was an idea – the creation of containers. Containers are a relatively new concept that has taken over the world of software application development over the past few years. This is a new achievement in the effort of system engineers and developers to maximize the available computing resources. System containers perform a role similar to virtual machines, but without hardware virtualization. Despite the fact that the system containers are also based on performance, they are old and short-lived. There are many vendors that offer container platforms and container management tools, such as cloud services. The article discusses the most famous providers of container platforms: Docker and Kubernetes, Hyper-V and Windows Server, Amazon Elastic Container Service. They propose to move to the next level to separate computing resources, not forcing the application running on the cloud, the need to carry an operating system.

Ключевые слова: контейнеризация, контейнер, виртуальная машина(VM), облачные технологии, представления, виртуализация, Docker, Docker Engine, Kubernetes.

Keywords: containerization, container, virtual machine(VM), cloud technologies, views, virtualization, Docker, Docker Engine, Kubernetes.

От начала цикла разработки до эксплуатации приложения встречаются множество проблем и препятствий. Не считая работы, связанной с подготовкой приложения к работе в различных условиях, также можно столкнуться с проблемами масштабирования приложения, отслеживание зависимостей и обновление отдельных компонентов, которые не затрагивает собственно само разрабатываемое приложение. Поэтому, следует изучить технологии создания контейнеров.

Контейнеризация приложений - это метод виртуализации на уровне операционной системы, используемый для развертывания и запуска распределенных приложений без запуска всей виртуальной машины (VM) для каждого приложения. Несколько изолированных приложений или служб запускаются на одном хосте и получают доступ к одному и тому же ядру ОС. Контейнеры работают в системах с открытым железом, облачными технологиями и виртуальными машинами в Linux, и выбирают ОС Windows и Mac.

Контейнеры приложений включают компоненты среды выполнения, такие как: файлы, переменные среды и библиотеки, необходимые для запуска требуемого программного обеспечения. Контейнеры приложений потребляют меньше ресурсов, чем сопоставимые реализации развертывания на виртуальных машинах, потому что контейнеры совместно используют ресурсы без полноценной операционной системы для поддержки каждого приложения. Полный набор информации для выполнения в контейнере является представлением. Контейнерный механизм развертывает эти представления на хостах.

Наиболее распространенной технологией контейнеризации приложений является Docker, в частности, Docker Engine с открытым исходным кодом, и контейнер, с универсальным временем выполнения `glibc`. Основным конкурентом является контейнер с механизмом CoreOS, который использует спецификацию App Container (`appc`). Существует озабоченность по поводу блокировки поставщиков контейнеризации приложений от пользователей и партнеров по экосистеме, но это, отчасти, зависит от большого количества технологий с открытым исходным кодом, лежащих в основе контейнерных технологий [5].

Docker, появившийся несколько позже, позиционировался, как инструмент для упрощения работы по созданию и управлению контейнерами. Изначально Docker использовал LXC в качестве драйвера исполнения по умолчанию (с тех пор для этих целей была разработана библиотека под названием `libcontainer`). Docker, не привнося большого количества новых идей, сделал контейнеры доступными для обычного разработчика и системного администратора путем упрощения процесса и стандартизации интерфейса. Это стимулировало возрождение интереса к контейнеризации среди разработчиков в Linux-мире [6].

Docker - это программное обеспечение с открытым исходным кодом, предназначенное для облегчения развертывания приложений. Он предлагает возможность создания контейнеров, включая операционную систему, библиотеки и все, что вам нужно для запуска вашего приложения. Поэтому ваше приложение может быть развернуто на любой машине. Его легкая конструкция позволяет вам запустить несколько контейнеров на одной машине. Изображение контейнера представляет собой легкий, автономный исполняемый пакет части программного обеспечения, который включает в себя все необходимо было запустить его [2].

Контейнер приложений работает с микросервисами и распределенными приложениями, так как каждый контейнер работает независимо от других и использует минимальные ресурсы от хоста. Каждый микросервис взаимодействует с другими через интерфейсы прикладного приложения, при этом уровень виртуализации контейнеров способен масштабировать микросервисы для удовлетворения растущего спроса на компоненты приложения и распределения

нагрузки. Эта настройка также способствует гибкости. Например, если разработчик желает изменения стандартных представлений, он может создать контейнер, содержащий только новую библиотеку [1].

Чтобы обновить приложение, разработчик вносит изменения в коде представления контейнера, а затем повторно развертывает это представление для запуска на ОС хоста.

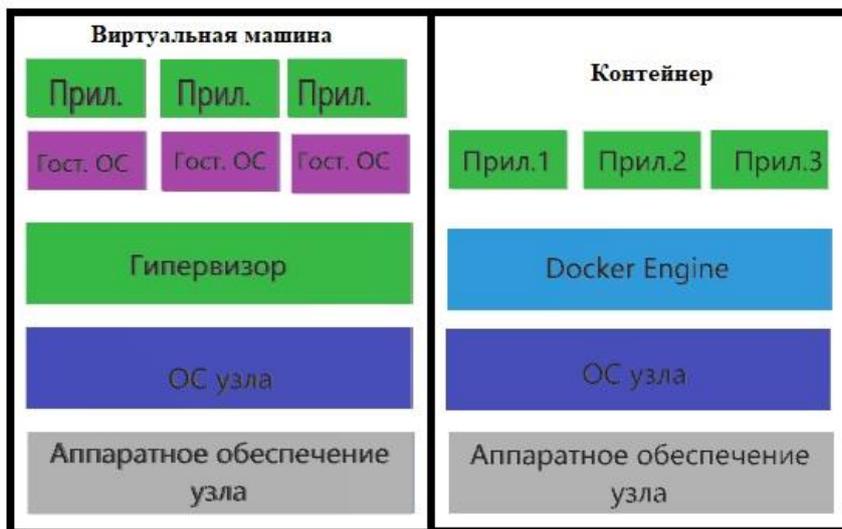


Рис1. – Виртуальная машина против контейнера.

Контейнеры не занимают столько места, сколько виртуальные машины, потому что каждый контейнер совместно использует операционную систему узла (рис1).

Применение контейнеризации и системы виртуализации

Серверная виртуализация абстрагирует операционную систему и приложения от аппаратных или виртуальных ресурсов. Слой гипервизора находится между памятью, системой хранения данных и операционной системой, приложениями и службами. Каждое приложение выполняется в своей собственной версии ОС. Это позволяет различным приложениям на одном компьютере использовать различные версии операционной системы, но она также потребляет больше ресурсов, чем контейнеры, и это требует приобретения лицензии ОС, в отличие от простой установки контейнера [4].

Контейнеры могут запускаться внутри виртуальных машин, что означает, что компьютер может иметь несколько ОС, поддерживающих несколько контейнеров, которые используют одни и те же физические ресурсы. Контейнеры приложений создают безопасное пространство для кода приложений для использования ресурсов хоста без подтверждения, или в зависимости от наличия других приложений - с использованием той же ОС.

Системные контейнеры выполняют роль, аналогичную виртуальным машинам, но без аппаратной виртуализации. Системные контейнеры, также называемые контейнерами инфраструктуры, включают в себя операционную систему компьютера, библиотеку приложений и код выполнения. В системные контейнеры могут также содержаться контейнеры приложений [1].

Несмотря на то, что системные контейнеры также опираются на представления, они, как правило, являются давними и недолговечными, как контейнеры приложений. Администратор обновляет и изменяет системные контейнеры с помощью средств управления конфигурацией, вместо того, чтобы уничтожить и восстановить представления, когда происходит изменение.

Компания Canonical Ltd., разработчик операционной системы Ubuntu Linux, возглавляет проект LXD системных контейнеров. Другой вариант системного контейнера - OpenVZ.

Система LXC (Linux Containers) - основа последующих технологий контейнеризации - была добавлена в ядро Linux в 2008 году. LXC использует комбинацию таких функций ядра, как cgroups (позволяет изолировать и отслеживать использование ресурсов) и пространства имен (позволяют разделять группы так, чтобы они не могли "видеть" друг друга), для реализации легковесной изоляции процессов.

Преимущества и недостатки применения контейнеризации

Сторонники контейнеризации указывают на повышение эффективности памяти, процессора и хранилища по сравнению с традиционной виртуализацией и физическим размещением приложений. Без накладных расходов, требуемые виртуальными машинами, можно поддерживать еще много контейнеров приложений в одной и той же инфраструктуре.

Переносимость - еще одно преимущество. Пока ОС одинакова во всех системах, контейнер приложения может работать в любой системе и в любом облаке, не требуя изменения кода. Нет переменных среды гостевой ОС или зависимостей библиотек для управления.

Воспроизводимость является еще одним преимуществом контейнеризации приложений, что является одной из причин, почему внедрение контейнеров часто совпадает с использованием методологии DevOps. На протяжении всего жизненного цикла приложения, от сборки кода до тестирования и производства, файловые системы и другая информация остаются неизменными. Управление версиями на уровне представления заменяет управление конфигурацией на уровне системы.

Одним из потенциальных недостатков контейнеризации является отсутствием изоляции от базовой ОС. Поскольку контейнеры приложения не абстрагированы от хоста ОС на VM(виртуальной машине), некоторые эксперты предупреждают, что угрозы нарушения безопасности имеют наиболее легкий доступ ко всей системе. Сканеры безопасности и контролирующие инструменты могут защитить гипервизор и ОС, но не контейнеры приложения. Однако, контейнеризация также подразумевает преимущества безопасности из-за увеличения изоляции пакетов приложений и более специализированной ОС с меньшим размером занимаемого места [3].

Поставщики контейнеров и платформ

Существует множество поставщиков, которые предлагают контейнерные платформы и инструменты управления контейнерами, такие как облачные сервисы. Docker и Kubernetes - это известные названия продуктов в пространстве контейнерных технологий, а их технологии лежат в основе многих других продуктов.

Docker - платформа для приложений с открытым исходным кодом, предназначенная для Linux и, в последнее время, для Windows, Apple и мэйнфреймов. Docker использует функции

выделения ресурсов, такие как, группы и ядра Linux, для создания изолированных контейнеров. Docker - одноименная компания, которая продает поддерживаемые предприятием продукты и продукты для управления контейнерами (рис. 2.) [5].



Рисунок 2. Контейнерная платформа – Docker

Корпорация Майкрософт также предлагает технологии контейнеризации, включающие контейнеры Hyper-V и Windows Server(рис.3.). Оба типа создаются, обслуживаются и управляются одинаково, так как они используют одни и те же представления контейнеров. Однако услуги различаются по уровню изоляции. Изоляция в контейнерах Windows Server достигается с помощью пространств имен, управления ресурсами и других методов. Контейнеры Hyper-V обеспечивают изоляцию через экземпляры контейнера, работающие в легковесной виртуальной машине, что делает продукт более системным контейнером [4].



Рисунок 3. Контейнеры Hyper-V и Windows Server

Контейнером с открытым исходным кодом является Kubernetes(рис. 4.), созданный Google, которая организует контейнеры в контейнеры на узлах. Kubernetes может автоматизировать, развертывать, масштабировать, обслуживать и управлять контейнерами приложений. Множество продуктов основано на Kubernetes с дополнительными функциями и поддержкой, такими как Rancher, Red Hat OpenShift и Platform9. Также доступны другие инструменты, такие как Mesosphere DC/OS и Docker Swarm [4].



Рисунок 4. Контейнер Kubernetes.

Главные поставщики облачных решений предлагают разнообразные контейнеров как услуги (CaaS), в том числе Amazon Elastic Container Service (ECS), AWS Fargate, Google Kubernetes Engine (GKE), Microsoft Azure Container Instances (ACI), Azure Kubernetes Service (AKS) и IBM Cloud Kubernetes Service, среди многих других.

Таким образом, контейнеризация приложений - относительно новая и быстро развивающаяся ИТ-методология на уровне предприятия, которая порождает изменения и нестабильность. Улучшение технологий может помочь в устранении ошибок и повышении стабильности в контейнерных технологиях. Следовательно, другой конфликт контейнеризации - это отсутствие образования и навыков среди ИТ-работников: по сравнению с полем виртуализации серверов существует нехватка администраторов, которые понимают контейнеры и как работать с ними.

Список используемой литературы

- [1] Берштейн Д. Containers and Cloud: From LXC to Docker to Kubernetes// Облачные вычисления IEEE: в 3 томах, Т.1, 2014. – 81-84 с.
- [2] Давлеткалиев Р. Полное практическое руководство по Docker: с нуля до кластера на AWS. 2016 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/post/310460>.
- [3] Портянкин И. Контейнеры и Docker - обзор, первые шаги и примеры. 2018 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ipsoftware.ru/posts-cloud/docker-start-1/>
- [4] Солтеш С. Контейнер На Базе Операционной Системы. Виртуализация: масштабируемая, высокопроизводительная - альтернатива гипервизорам// ACM SIGOPS Operating Systems Rev., 2007. – 275 -287с.
- [5] Турнбул Дж. Книга Докер // Контейнер Докер, 2015. – 7-16 с.
- [6] Эллингууд Дж. Экосистема Docker: обзор контейнеризации. 2015 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.digitalocean.com/community/tutorials/docker-1-ru>

List of references

- [1] Bernstein D. Containers and Cloud: From LXC to Docker to Kubernetes. *IEEE Cloud Computing*. vol. 1, no. 3, 2014, 81–84 p.
- [2] Davletkaliev R. Complete Docker practical guide: from scratch to AWS cluster. 2016 [Electronic resource]. - Access mode: <https://habr.com/post/310460>.
- [3] Portyankin I. Containers and Docker - overview, first steps and examples. 2018 [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.ipsoftware.ru/posts-cloud/docker-start-1/>. (In Russian)
- [4] Soltesz S. Container-Based Operating System Virtualization: A Scalable, High-Performance Alternative to Hypervisors, [*ACM SIGOPS Operating Systems Rev.*], vol. 41, no. 3, 2007, 275–287 p.
- [5] Turnbull J. Book Docker .Container Docker, 2015. - 7-16 p.
- [6] Ellingwood J. Docker ecosystem: an overview of containerization. 2015 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.digitalocean.com/community/tutorials/docker-1->

СРАВНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ВИДЕОКОДЕКОВ

Смирнов А. И.¹
alexei.smirnoff2@gmail.com

Шахновский Р. Ю.¹
sundaydriver1337@gmail.com

Лапина М. А.¹
кандидат физико-математических наук, доцент
norra7@yandex.ru

¹ СКФУ, Ставрополь, 355028, Российская Федерация

Аннотация

Информационный процесс, целью которого является уменьшение занимаемого объёма данных, называется сжатием информации. К методам сжатия информации относятся: сжатие с потерями и сжатие без потерь. Сжатие с потерями применяется в основном для графики (JPEG), звука (MP3), видео (MPEG), то есть там, где в силу достаточно больших размеров файлов степень сжатия очень важна, и можно пожертвовать деталями, не существенными для восприятия этой информации человеком. Целью использования алгоритмов сжатия является сокращение объема памяти, необходимого для хранения данных или передачи информации по сетям связи, чаще всего комбинации изображений и аудио-сигналов. Программы, предназначенные для кодирования (сжатия) и декодирования (воспроизведения из сжатого состояния) аудио- и видеофайлов называются кодеками. В ряде случаев большая часть видеофрагментов передается из кадра в кадр без изменений, что позволяет строить алгоритмы сжатия на основе выборочного отслеживания изменяющиеся части видеофайла. В данной статье рассмотрены разные виды видеокодеков, проанализированы их достоинства и недостатки. Также были рассмотрены современные тенденции развития видеокодеков.

Abstract

The information process, which aims to reduce the amount of data occupied, is called data compression. Information compression methods include lossy compression and lossless compression. Lossy compression is mainly used for graphics (JPEG), sound (MP3), video (MPEG), that is, because of the large file sizes, compression is very important, and you can sacrifice details that are not essential for a person to understand this information. . The purpose of using compression algorithms is to reduce the amount of memory needed to store data or transmit information over communication networks, most often combinations of images and audio signals. Programs designed to encode (compress) and decode (play from a compressed state) audio and video files are called codecs. In some cases, most of the video fragments are transferred from frame to frame without changes, which allows you to build compression algorithms based on selective tracking of changing parts of the video file. This article discusses the different types of video codecs, analyzed their advantages and disadvantages. Modern trends in video codec development were also reviewed.

Ключевые слова: Сжатие видео, видеокодеки, VP9, H.265, AV1, машинное обучение, метод Хаффмана, компенсация движения.

Keywords: Video compression, video codecs, VP9, H.265, AV1, machine learning, Havman method, motion compensation.

На момент 2016 года видео контент составлял более чем 70% интернет траффика и ожидается утроение его количества к 2021 году, при этом требования к качеству видео постоянно растут, что соответственно приводит к потребности в росте пропускной способности каналов и емкости носителей. [1]

Для оценивания масштабов проблемы связанной с ростом объема видео контента приведем простые расчеты. Пусть мы имеем HD поток с характеристиками: 1920x1080p, 24 к/с, RGB24 и подсчитаем “стоимость” такого потока. $1920*1080*24*24 = 1139$ Мегабит/с, а если захотим записать 90 минутный фильм, то потребуются $90*60*1139 = 750$ Гигабайт. Очевидно, что без использования и совершенствования механизмов сжатия видео развитие пропускной способности каналов и увеличение емкости носителей информации не успевало бы за ростом потребности в качестве видео, ведь на данный момент уже осуществляется переход от FullHD разрешения видео к 4K, что предъявляет существенные требования к механизмам сжатия видео.

Одним из самых важных механизмов сжатия видео является компенсация движения (англ. motion compensation). Суть данного механизма заключается в том, что в любом видео практически все соседние кадры одной сцены похожи друг на друга, поэтому чтобы не кодировать каждый кадр отдельно, достаточно выполнить кодирование опорного кадра, получившего название I-кадра (англ. intra pictures), а для получения последующих кадров изменить лишь некоторые детали изображения. [2]

1. Рассмотрим работу алгоритма компенсации движения более подробно:
2. Загружается текущий кадр
3. Кадр делится на блоки
4. Производится обход блоков
5. При рассмотрении текущего блока производится обход окрестностей этого блока для поиска наибольшего соответствия текущему.
6. Составляется набор векторов, указывающий движений блоков изображения между кадрами. Полученный набор векторов используется при декодировании для создания изображения скомпенсированного кадра.

При работе алгоритма компенсации движения можно выделить следующие виды кадров:

- I-кадры (англ. Intra-coded frames), которые могут содержать только макроблоки, сжатые независимо от других кадров.
- P-кадры (англ. Predicted frames), которые могут содержать как независимо сжатые макроблоки, так и макроблоки со ссылкой на другой, предыдущий, I- или P-кадр.
- B-кадры (англ. Bi-predicted frames) которые могут содержать следующие макроблоки: независимые, со ссылкой на предыдущий кадр или со ссылкой на несколько предыдущих и последующих кадров.

Другой механизм сжатия применяется по отношению к отдельным статическим кадрам и заключается в отслеживании массивов точек с одинаковыми атрибутами с последующим сохранением информации об опорной точке и количестве повторений данной точке в следующих кадрах. Данный метод позволяет, например, сохранять информацию не о 1000 точках, а лишь об одной точке и счетчике переходов. [2]

Наряду с перечисленными методами сжатия также широко применяются методы дискретного косинусного преобразования по отношению к статическим кадрам, а также различные методы кодирования, позволяющие устранять избыточность, например, код Хаффмана или более прогрессивные методы арифметического кодирования. [2]

Все перечисленные методы сжатия видео нашли применение в видеокодеках, которые в сущности являются набором алгоритмов предназначенных для уменьшения размеров видеопотока. На момент написания статьи наиболее распространенными и современными видеокодеками являются H.265 и VP9. Перечисленные кодеки были созданы в связи с распространением 4K видео контента, на сжатие которого они и ориентированы.

H.265 или HEVC (High Efficiency Video Coding – высокоэффективное видеокодирование) – формат видеосжатия, который пришёл на смену известному стандарту сжатия видео

H.264/MPEG-4. Основной причиной, из-за которой было решено найти замену устоявшемуся стандарту на другой, стала прогрессирующая потребность пользователей в передаче по каналам связи видеофайлов высокого разрешения и записи в запоминающее устройство огромного объёма информации, являющейся видео. H.265 характеризуется высокой степенью сжатия движущихся изображений, которые используются в кабельном телевидении, различных прямых трансляциях спутникового телевидения, цифровых носителях, а также телевидения в сетях передачи данных по протоколу IP [3]. Файл, сжатый при помощи кодека H.265 будет примерно в два раза меньше, чем файл, сжатый прежним стандартом H.264. Причем качество изображения остается на высоком уровне. Более 50% трафика в сети Интернет тратится на обработку и последующий просмотр видео, в связи с чем Интернет-провайдеры вынуждены увеличивать пропускную способность соединения. HEVC благодаря своей высокой степени сжатия, позволяет сократить объемы памяти практически на 50%, так как его алгоритм использует кодирование видео с минимально возможной скоростью передачи данных, причем как уже было сказано, качество видеоизображения остается высоким [4]. Также поддерживаются форматы кадра до 8K с разрешением 8192x4320 пикселей.

Рассмотрим структуру кодера HEVC, представленную на рисунке 1.

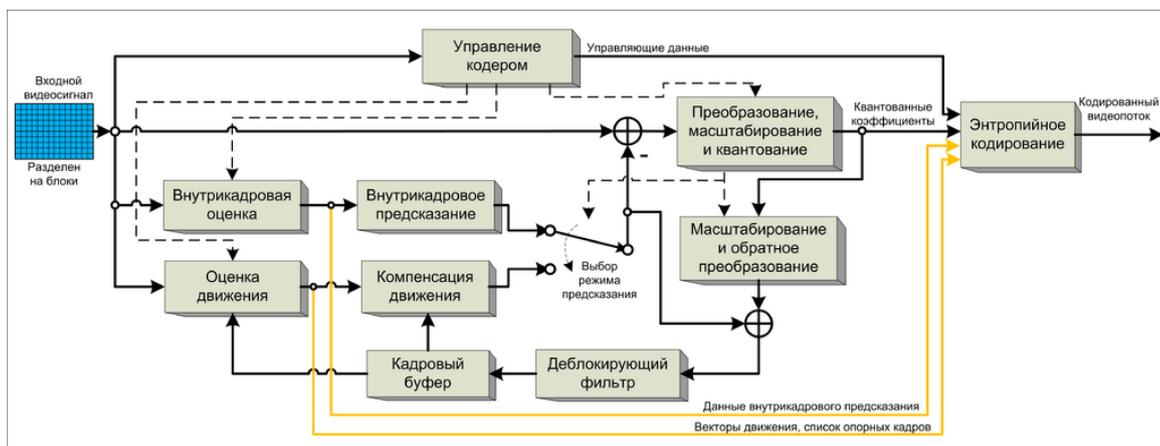


Рисунок 1. Структура кодера HEVC

HEVC использует такой же алгоритм, который носит название гибридный, что и H.264. Гибридный алгоритм осуществляется кодером в два этапа. Первый этап – кодер просматривая кадры наперед, ищет те объекты, которые меняются из кадра в кадр. В случае с прямой трансляцией, кодер предсказывает какие объекты являются движущимися, и где они будут в следующем кадре, чтобы определить те объекты, которые остаются фиксированными. В каждом таком кадре кодируются только эти объекты. На втором этапе удаляются другие несоответствия между одним кадром и следующим. Чаще всего в видеороликах наибольшее число пикселей в кадрах не сильно меняется. Например, в сцене в которой разговаривают люди, в подавляющем числе случаев, будут меняться лишь пиксели, изображающие положение их рук, губ. Остальные пиксели остаются статичными на много кадров, поэтому чтобы видео сжалось в меньший размер, не кодируются в каждом кадре пиксели, которые не

меняют своего положения. В гибридном алгоритме кодеком кодируется начальный кадр, изображающий всю сцену целиком, а после этого кодируются только изменения [5].

H.265 использует при обработке информации блоки с древовидной структурой кодирования, размер которых 64×64 пикселей, так как в случае использования меньших по размеру блоков, битрейт увеличивался. Особенно разница в битрейте заметна при кодировании видеофайла с высоким разрешением. Следовательно, использование макроблоков дерева кодирования повышает эффективность кодирования, в то время как время декодирования уменьшается. Также был улучшен сглаживающий фильтр, благодаря которому устраняются несоответствия на границе блока. Кроме того, был разработан новый алгоритм прогнозирования вектора движения, который улучшает прогнозирование внутри кадра. Это достигается благодаря тому, что в пределах кадра рассматривается 36 возможных направлений, а не 8, как было в H.264 [6]. Так как при обработке кодером кадры видеофайла бьются на отдельные области, кодер способен параллельно обрабатывать те блоки, на которые разбивается изображение, так как эти области независимы друг от друга. Но для реализации этого необходим более мощный процессор. Отсюда и вытекает основной недостаток кодека: HEVC требует больше аппаратных средств, чем H.264 [6]. Но с появлением процессоров последних появлений этот недостаток полностью нивелировался, так как технологии не стоят на месте.

Более значимым недостатком является лицензирование HEVC. Сначала предполагалось, что использование кодека HEVC будет бесплатным. Но после анонсирования этого кодека, начали выдвигать свои условия сразу два патентных пула: MPEG LA и HEVC Advance. Затем из HEVC Advance выделилась компания Technicolor, которая выдвинула уже свои требования, из которых следовало, что провайдеры, которые продают свои услуги, завязанные на работе кодека HEVC, должны платить денежные отчисления в пользу Technicolor виде 0,5% от дохода, получаемого с продажи этих услуг. И это плюс к тому, что также производятся денежные отчисления с каждого HEVC-устройства. За программную реализацию лицензионные отчисления не взимаются [7].

VP9 это традиционный кодек, выполняющий поблочное сжатие. Стандарт является открытым, разработан корпорацией Google, как альтернатива H.265, и широко внедряется в сервисы компании, например, в YouTube. Наряду с H.265 VP9 вводит понятие суперблоков размеров в 64×64 пикселя, что связано с переходом к большим разрешениям видео контента. Отличительной особенностью VP9 является возможность использования прямоугольных блоков, например, размером 64×32 пикселя. Использование неквадратных блоков в процессе кодирования позволяет более эффективно применять механизм компенсации движения, однако VP9 поддерживает только 10 вариантов предсказания, в отличии от 35 у H.265, что сводит на нет преимущества от возможности применения прямоугольных блоков. Как и H.265 VP9 поддерживает возможность параллельного кодирования кадров, путем разбиения каждого кадра на четыре строки, что ограничивает преимущество от использования многопоточных процессоров, так как не позволяет одновременно задействовать более четырех потоков. [8]

На данный момент ведется активная разработка преемника кодека VP9, получившего название AV1. Разработчиком данного кодека является Альянс Открытых Медиа, состоящий из крупнейших мировых компаний, занимающихся разработкой аппаратного обеспечения (AMD, Intel, Nvidia), распространением видео по запросу (Apple, Netflix) и разработкой веб-браузеров. [9]

Перспективным направлением можно считать применение машинного обучения для кодирования и декодирования видео. В сравнении с традиционными кодеками, кодек, базирующийся на машинном обучении, позволяет находить дополнительные избыточности в видео потоке, тем самым увеличивая эффективность сжатия. Например, кодек может предсказывать поворот головы из фронтального вида в профиль. Однако главным недостатком подобного подхода к кодированию видео на данной стадии развития кодека является крайняя потребность в вычислительных мощностях.

На данный момент эффективность кодеков H.265 и VP9 находится приблизительно на одном уровне и является высокой, обеспечивающей приемлемое качество при низком битрейте. В тоже время ведется активная разработка новых поколений видеокодеков, обеспечивающих более эффективное сжатие, например, AV1. [10]

Список используемой литературы

- [1] Learned Video Compression [Электронный ресурс]. URL: <https://arxiv.org/pdf/1811.06981.pdf> (Дата обращения: 06.12.2018).
- [2] Сэломон Д. Сжатие данных, изображений и звука / Д. Сэломон // М.: Техносфера, 2004. – 368 с.
- [3] ITU-T H.265 (04/2013) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=11885> (Дата обращения: 06.12.2018).
- [4] Qualcomm shows horsepower of next-gen H.265 video [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cnet.com/news/qualcomm-shows-horsepower-of-next-gen-h-265-video/> (Дата обращения: 06.12.2018).
- [5] What is HEVC? High Efficiency Video Coding, H.265, and 4K compression explained [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cnet.com/news/what-is-hevc-high-efficiency-video-coding-h-265-and-4k-compression-explained/> (Дата обращения: 06.12.2018).
- [6] Comparison of the Coding Efficiency of Video Coding Standards – Including High Efficiency Video Coding [Электронный ресурс]. URL: http://iphone.hhi.de/wiegand/assets/pdfs/2012_12_IEEE-HEVC-Performance.pdf (Дата обращения: 06.12.2018).
- [7] The Cost of Codecs: Royalty-Bearing Video Compression Standards and the Road that Lies Ahead [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cablelabs.com/the-cost-of->

codecs-royalty-bearing-video-compression-standards-and-the-road-that-lies-ahead/
(Дата обращения: 06.12.2018).

- [8] VP9 Bistream Specification v0.6 [Электронный ресурс]. URL: <https://storage.googleapis.com/downloads.webmproject.org/docs/vp9/vp9-bitstream-specification-v0.6-20160331-draft.pdf> (Дата обращения: 06.12.2018).
- [9] AV1 Features – Alliance for Open Media [Электронный ресурс]. URL: <https://aomedia.org/about/> (Дата обращения: 06.12.2018).
- [10] HEVC: RATING THE CONTENDERS [Электронный ресурс]. URL: http://streaminglearningcenter.com/wp-content/uploads/2017/05/Comparing_Best_HEVC_Codec.pdf (Дата обращения: 06.12.2018).

List of references

- [1] Learned Video Compression [Electronic resource]. URL: <https://arxiv.org/pdf/1811.06981.pdf> (data accessed: 06.12.2018).
- [2] Salomon D. data, image and sound Compression / D. Salomon // М.: Technosphere, 2004. - 368 p.
- [3] ITU-T H.265 (04/2013) [Electronic resource]. URL: <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=11885> (data accessed: 06.12.2018).
- [4] Qualcomm shows horsepower of next-gen H.265 video [Electronic resource]. URL: <https://www.cnet.com/news/qualcomm-shows-horsepower-of-next-gen-h-265-video/> (Дата обращения: 06.12.2018).
- [5] What is HEVC? High Efficiency Video Coding, H.265, and 4K compression explained [Electronic resource]. URL: <https://www.cnet.com/news/what-is-hevc-high-efficiency-video-coding-h-265-and-4k-compression-explained/> (data accessed: 06.12.2018).
- [6] Comparison of the Coding Efficiency of Video Coding Standards – Including High Efficiency Video Coding [Electronic resource]. URL: http://iphome.hhi.de/wiegand/assets/pdfs/2012_12_IEEE-HEVC-Performance.pdf (data accessed: 06.12.2018).
- [7] The Cost of Codecs: Royalty-Bearing Video Compression Standards and the Road that Lies Ahead [Electronic resource]. URL: <https://www.cablelabs.com/the-cost-of-codecs-royalty-bearing-video-compression-standards-and-the-road-that-lies-ahead/> (data accessed: 06.12.2018).
- [8] VP9 Bistream Specification v0.6 [Electronic resource]. URL: <https://storage.googleapis.com/downloads.webmproject.org/docs/vp9/vp9-bitstream-specification-v0.6-20160331-draft.pdf> (data accessed: 06.12.2018).
- [9] AV1 Features – Alliance for Open Media [Electronic resource]. URL: <https://aomedia.org/about/> (data accessed: 06.12.2018).

- [10] HEVC: RATING THE CONTENDERS [Electronic resource]. URL: http://streaminglearningcenter.com/wp-content/uploads/2017/05/Comparing_Best_HEVC_Codec.pdf (data accessed: 06.12.2018).

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ИНТЕГРАЦИИ ПРОГРАММНЫХ КОМПОНЕНТ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ПО СЕТИ ПРИЛОЖЕНИЯ

Михайленко Т. В.¹
ddina6819@inbox.ru

Самойленко Д. В.¹
tatyanka_mir@mail.ru

Моисеенко В. А.¹
Moisvalerii@gmail.ru

Мочалов В.П.²
доктор технических наук, профессор
mochalov.valery2015@yandex.ru

¹ Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, 355000, Россия

² Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, 355000, Россия

Аннотация

Развитие систем промышленной автоматизации, телекоммуникаций, электронной коммерции, Интернета вещей, в которых отдельные элементы приложений должны быть распределены по сети и где уже находится огромное количество программных компонент типа Active-X, JavaBean, вызывает необходимость использования технологий создания и реализации распределенных приложений. Поэтому в ходе исследования были проанализированы формальные подходы к решению задачи интеграции программных компонент распределенного по сети приложения на основе брокера объектных запросов технологии распределённых вычислений, изучены механизмы выполнения и реализации запросов взаимодействующих программных компонент распределённого по сети приложения, реализующего соответствующий бизнес-процесс, исследованы модели и методы системы интеграции программных компонент, разработана система функциональных моделей, позволяющая проводить исследование алгоритмов взаимодействия элементов распределенной системы на основе рационального распределения программных компонент (ПК) по процессорным модулям системы,

построения расписания минимальной длины, минимизации непроизводительных затрат, связанных с процессами обмена данными. В результате применения представленной в статье системы моделей, появляется возможность принимать обоснованные решения при построении распределенных систем.

Abstract

The development of industrial automation systems, telecommunications, e-Commerce, the Internet of things, in which individual elements of applications should be distributed over the network and where there is already a huge number of software components such as Active-X, JavaBean, necessitates the use of technologies for creating and implementing distributed applications. Therefore, the study analyzed formal approaches to solving the problem of integration of software components distributed over the network application based on the broker object requests distributed computing technology, studied the mechanisms of execution and implementation of requests interacting software components distributed over the network application that implements the relevant business process, studied the models and methods of integration of software components, developed a system of functional models, allows to study the algorithms of interaction of elements of a distributed system based on the rational distribution of software components (PC) on the processor modules of the system, building a schedule of the minimum length, minimizing unproductive costs associated with data exchange processes. As a result of the application of the models presented in the article, it is possible to make informed decisions in the construction of distributed systems.

Ключевые слова: Распределенные приложения, система интеграции, программные компоненты, процессорные модули, фрагментация, частота взаимодействия.

Keywords: Distributed applications, integration system, software components, processor modules, fragmentation, frequency of interaction.

1 Введение

Программные компоненты (ПК) распределённого по сети приложения, реализующего соответствующий бизнес-процесс, взаимодействуют друг с другом, создавая единый программный код. Основой такого взаимодействия, в среде разнообразных аппаратных и программных платформ, является технология распределённых вычислений CORBA (Common Object Request Architecture) (рис. 1) [1].

Ядром технологии CORBA, обеспечивающим взаимодействие распределённых по сети ПК, является логическая шина ORB (Object Request Broker) – брокер объектных запросов (рис. 1).

ORB формирует механизмы выполнения и реализации запросов взаимодействующих ПК: поиск ПК разрабатываемого приложения, обмен необходимыми данными, объединение требуемых ресурсов, формирование распределённой системы, создание распределённого бизнес приложения.

Процесс-клиент инициирует операцию и через подсистему обмена производит вызов сообщения. ORB, используя широковещательную рассылку, находит требуемые ПК, активирует их, передаёт запрос и параметры, вызывает запрашиваемый метод и через брокер объектных запросов передает результаты вызываемому клиенту.

2 Модели и методы системы интеграции программных компонент

Модель взаимодействия ПК можно представить в виде замкнутой стохастической сети с центральным обслуживающим узлом (рис. 1) [2].

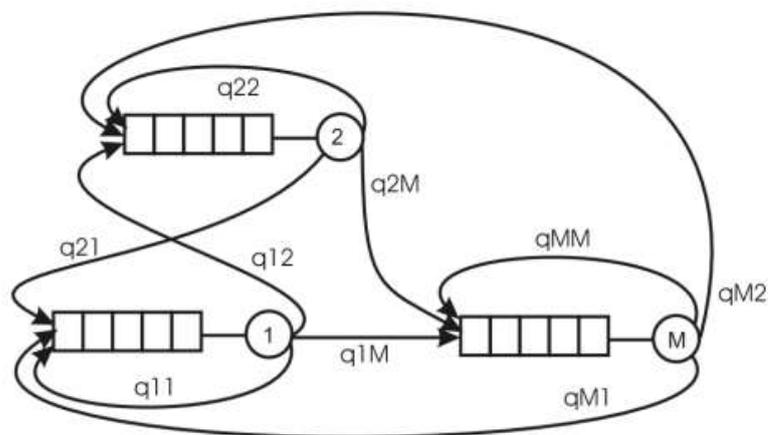


Рисунок 1. Формальная модель системы взаимодействия ПК.

Здесь брокер ORB формально представлен корневым узлом сети M , остальные $(M-1)$ узлов – программные компоненты физически распределённого по сети приложения, реализующего соответствующий бизнес-процесс. В такой системе ПК, связанные зависящими от соответствующих бизнес-процессов правилами, циркулируют между узлами сети, используя в качестве посредника центральный узел-брокер ORB. При этом переходные вероятности заявок класса $R = (1, r)$ можно описать следующей матрицей

$$\left\| P_r \left(\begin{matrix} - \\ n_i^j \end{matrix} \right) \right\| = \begin{vmatrix} P_{r,1,1} & P_{r,1,2} & \dots & P_{r,1,M} \\ P_{r,2,1} & P_{r,2,2} & \dots & P_{r,2,M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{r,M,1} & P_{r,M,2} & \dots & P_{r,M,M} \end{vmatrix} \quad (1)$$

Здесь $P_r \left(\begin{matrix} - \\ n_i^j \end{matrix} \right)$ – вероятности перехода, \bar{n}_i^j – количество заявок перешедших из узла i в узел j .

Считаем, что в данной модели в каждом i -ом узле сети время обслуживания распределено по экспоненциальному закону с параметром μ_i , а взаимодействие ПК описывается многомерным случайным процессом

$$N(t) = \{n_1(t), n_2(t), \dots, n_R(t)\}.$$

Будем также считать, что интенсивность обработки запросов на обслуживание осуществляется в порядке поступления (FCFS) и не зависит от R . Процессоры узлов сети ORB независимы друг от друга, а вероятность того, что обработке подлежит k заявок класса r , равна $P(k)$, где $P(k) = P_1(k_1) \cdot P_2(k_2) \cdot \dots \cdot P_n(k_n)$, $k = (k_1, k_2, \dots, k_n)$, $k_i = (k_{i1}, k_{i2}, \dots, k_{ir})$.

Учитывая, что полученное распределение количества заявок в очередях процессоров представлено как произведение $P_i(k_{i,r})$ и в сети создаётся пуассоновский поток реализованных запросов, данная сеть ORB соответствует требованиям сети Джексона и может быть представлена в мультипликативном виде [2]

$$P(n) = G^{-1}(N_1, N_2, \dots, N_R) \prod_{i=1}^M Z_i(n_i), \quad (2)$$

где $P(n)$ - вероятность нахождения узла в состоянии n ,

$$n = (n_1, n_2, \dots, n_M); \quad G(N_R) = \sum_k \prod_{i=2}^M \left(\frac{\mu_i P_i}{\mu_i} \right)^{k_i}; \quad (3)$$

$$Z_i(n_i) = \frac{n_i!}{r} \prod_{r=1}^R \frac{1}{n_{ir}!} l_{ir}^{n_{ir}}, \quad (4)$$

$$l_{ir} = \sum_{i=1}^M l_{ir} P_{ij}(r), \quad i = \overline{1, M}, \quad r = \overline{1, R}. \quad (5)$$

Отсюда, согласно выводам, изложенным в [3], получаем:

— пропускную способность брокера ORB для заявки r -го класса

$$\lambda_{ir}(N_R) = \sum_{n_k=1}^{N_R} P_i(n_R, N_r) \frac{n_{ir}}{n_i} \mu_i(n_i), \quad (6)$$

— число заявок класса r в ORB

$$L_{ir}(N_R) = \sum_{n_k=1}^{N_R} P_i(n_R, N_r) n_r, \quad (7)$$

— среднее время ожидания заявки r -го класса

$$T_{ir}(N_r) = \frac{[1 + L_i(N_R - 1)]}{M_{ir}}.$$

На практике значения данных показателей зависят от загрузки системы в момент поступления заявки. Очевидно, что возможно состояние ORB блокирующее очередной вызов. В этом случае осуществляется его N -кратное повторение до состояний обслуживания, или отказа. Вероятность успешного вызова

$$P_{усп}(N) = P_{бл}^{N-1} (1 - P_{отк}(1))(1 - P_{отк}(2)) \dots (1 - P_{отк}(N-1))(1 - P_{бл}).$$

Вероятность отказа от вызова

$$P_{отк}(N) = P_{бл}^N (1 - P_{отк}(1))(1 - P_{отк}(2)) \dots (1 - P_{отк}(N-1)).$$

Исходя из результатов, полученных в [3], можно записать

$$P_{усп}(N) = (1 - P_{бл}) \left\{ 1 + \sum_{i=1}^{N-1} P_{бл}^i \prod_{j=1}^i (1 - P_{отк}(j)) \right\},$$

$$P_{отк}(N) = P_{бл} \left\{ P_{отк}(1) + \sum_{i=1}^{N-1} \left[P_{бл}^i P_{отк}(i+1) \prod_{j=1}^i (1 - P_{отк}(j)) \right] \right\}.$$

Улучшение данных показателей можно добиться путём снижения системных затрат, связанных с процессами взаимодействия между ПК и ORB [3]. Считаем, что распределенная система включает d процессорных модулей, а реализация бизнес-процесса обеспечивается совокупностью $n > d$ ПК. В [4, 5] показано, что эффективность реализации распределенного приложения связана с решением трех основных задач:

- разделение n ПК на d групп таким образом, чтобы в каждой из групп находились ПК с наибольшими частотами взаимодействия;
- построением правил реализации запросов, устраняющих блокировки и тупиковые ситуации;
- снижение системных затрат на интеграцию распределенных по сети ПК.

При решении первой задачи предположим, что для взаимодействующих ПК f_i и f_j

известна частота $P(i, j)$ взаимных запросов. Разбиваем все n ПК на d групп $\Phi = \{F_1, F_2, \dots, F_d\}$, так, что $\bigcup_{i=1}^n f_i = \bigcup_{i=1}^d F_i$, $F_k \cap F_l = \emptyset$, $k \neq l$.

При одновременном обращении вызовов к различным ПК, размещённым на одном из процессорных модулей, возникает конфликт. Частота возникновения конфликтов C_k на k -ом ПМ

$$C_k = \sum_{i,j} P(i, j),$$

а суммарная частота конфликтов в системе

$$C = \sum_{k=1}^d C_k = \sum_{k=1}^d \sum_{i,j} P(i, j).$$

Уменьшить значение C можно путём циклических переносов $ПК_i$ из группы k в группу l ; $k, l \in d$.

При этом изменение C определяем по формуле

$$\Delta C = \sum_{i \in ПМ_k} [P(i, j) + P(j, i)] - \sum_{j \in ПМ_l} [P(i, j) + P(j, i)] \quad (9)$$

Последовательное выполнение одинаково построенных шагов (9) завершается, когда любой перенос $ПК_i$ из группы k в группу l не изменяет ΔC .

Вычисление ΔC может произвести удобным рекуррентным методом. Введем систему операторов $R = \{R_{it}, i = \overline{1, n}, t = \overline{1, d}\}$, означающих перенос $ПК_i$ в классе $t \in d$.

Тогда $\Delta_{it}(\varphi) = C(R_{it}\varphi) - C(\varphi)$, где $\Delta_{it}(\varphi)$ – изменение частоты конфликтов.

Обозначим через $\Delta_{it}^{iq}(\varphi)$ приращение $\Delta_{it}(\varphi)$ при переходе к разбиению $R_{iq}(\varphi) \in R$.

Тогда $\Delta_{it}^{iq}(\varphi) = \Delta_{it}(R_{iq}) - \Delta_{it}(\varphi)$, $i = \overline{1, n}$; $q = \overline{1, d}$; $\Delta_{it}(R_{iq}\varphi) = \Delta_{it}(\varphi) + \Delta_{it}^{iq}(\varphi)$.

Данный рекуррентный метод [7, 8] позволяет произвести рациональное распределение n ПК по d ПМ, снизить непроизводительные затраты при реализации запросов на услуги связи.

Вторая задача, связанная с построением расписания обработки запросов [9, 10], сводится к нахождению такой последовательности их реализации, которая минимизирует общее время выполнения задания.

Очевидно, что устранение блокировки запросов возможно при выполнении условия

$$t_{p+1}^j - t_p^i > Z_L^i - Z_L^j, \quad L = \overline{1, k},$$

где t_p^i – требование р i -го типа; t_{p+1}^j - требование $(p+1)$ j -го типа; Z_L^i, Z_L^j – время обслуживания требований процессором L ; $l_{ij} = \max \{Z_L^i - Z_L^j\}$.

Такая постановка задачи сводится к следующему. Если (X, U) –ориентированный симметричный граф, в котором X -множество типов заявок, U -множество дуг, то необходимо выделить контур, связывающий требуемые вершины только один раз, при этом сумма длин дуг должна быть минимальной

$$\sum_{i,j=0}^r l_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \sum_{i=0}^r \sum_{j=0}^r x_{ij} = n_i, i = \overline{0, r}, j = \overline{0, r}.$$

Третья задача, связанная с минимизацией системных затрат интеграции распределенных по сети ПК, сводится к снижению частоты обмена данными между ПК и брокером ORB. Решение задачи производится за счет разбиения множества ПК на независимые фрагменты и обеспечением взаимодействия между данными фрагментами и ORB [6].

Данная фрагментация описывается матрицами

$$V = \|V_{ik}\|_{i,k=1}^{n,m} \text{ и } L = \|l_{ij}\|_{i,j=1}^n, \text{ где}$$

$$V_{ik} = \begin{cases} 1, \text{ если } ПК_j \in \varphi_k \\ 0, \text{ в противном случае.} \end{cases} \quad l_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ если } ПК_i \in \varphi_k \\ 0, \text{ в противном случае.} \end{cases}$$

Если число выполнении i -го ПК равно m_i , а запрос к j -му ПК происходит с вероятностью P_{ij} , то число запросов из $ПК_i$ к $ПК_j$ будет равно

$$\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n m_i P_{ij} V_{ik},$$

где V_{ik} – идентификатор наличия только тех ПК, которые входят в k -й фрагмент.

Тогда, среднее число межфрагментных запросов, при условии вхождения каждого ПК в состав только одного фрагмента

$$C = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n m_i P_{ij} V_{ik} (1 - V_{jk}) \rightarrow \min.$$

Данная задача решается стандартными средствами пакета программ Mathematica.

3 Заключение

Таким образом, представленные формальные подходы к решению задачи интеграции программных компонент распределенного по сети приложения на основе брокера объектных запросов технологии распределённых вычислений CORBA, система функциональных

моделей исследования алгоритмов взаимодействия элементов данной системы, позволяют принимать обоснованные решения при построении распределенных систем.

Решение задачи интеграции программных компонент сведено к реализации трех основных алгоритмов: рационального распределения ПК по процессорным модулям системы, построения расписания минимальной длины, минимизации непроизводительных затрат, связанных с процессами обмена данными. Предложен комплекс аналитических моделей исследования системы интеграции распределенных приложений, позволяющий проводить оценку алгоритмов взаимодействия ее элементов, оценивать влияние процессов взаимодействия на характеристики системы в целом.

Список используемой литературы

- [1] Vinoski S 1997 CORBA: Integrating diverse applications within distributed heterogeneous environments *IEEE Communications Magazine* vol **35(2)** pp 46-55 doi:10.1109/35.565655
- [2] Suri R 1983 Robustness of queuing network formulas *Journal of the ACM (JACM)* vol **30(3)** pp 564-594 doi:10.1145/2402.2995
- [3] Whitt W 1983 Performance of the queueing network analyzer *Bell System Technical Journal* vol **62(9)** pp 2817-2843 doi:10.1002/j.1538-7305.1983.tb03205.x
- [4] Мочалов В.П., Яковлев С.В., Братченко Н.Ю. Разработка методики построения распределенной системы управления телекоммуникационными сетями на основе технологии CORBA // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2014. № 6 (45). С. 50-57.
- [5] Ямбулатов Э.И., Мочалов В.П., Братченко Н.Ю., Яковлев С.В. Разработка отказоустойчивых распределенных систем управления телекоммуникационными сетями и услугами. Ставрополь, 2015.
- [6] Яковлев С.В., Мочалов В.П., Братченко Н.Ю. Алгоритм интеграции сетевых приложений распределенной системы управления инфокоммуникациями // Современная наука и инновации. 2017. № 3 (19). С. 83-88.
- [7] Братченко Н.Ю., Мочалов В.П. Алгоритм субоптимального распределения программных компонент распределенной системы управления телекоммуникациями // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2015. № 2 (47). С. 56-60.
- [8] Mochalov V., Bratchenko N. Formalized representation of the process of functioning distributed control systems telecommunications. Research articles: «Scientific enquiry in the contemporary world: theoretical basics and innovative approach», B&M Publishing, San Francisco, California. 2014, ISBN-10:1941655084, ISBN-13:978-1-941655-08-5. С. 34-41.
- [9] Мочалов В.П., Братченко Н.Ю., Червяков Н.И., Яковлев С.В. Разработка процессно-ориентированной системы управления качеством инфокоммуникационных услуг на основе концепции NGOSS. Ставрополь, 2013.

- [10] Мочалов В.П., Братченко Н.Ю., Яковлев С.В. Автоматизированная система контроля параметров стационарных и мобильных объектов // Современная наука и инновации. 2016. № 2 (14). С. 65-70.

List of references

- [1] Vinoski S 1997 CORBA: Integrating diverse applications within distributed heterogeneous environments *IEEE Communications Magazine* vol **35(2)** pp 46-55 doi:10.1109/35.565655
- [2] Suri R 1983 Robustness of queuing network formulas *Journal of the ACM (JACM)* vol **30(3)** pp 564-594 doi:10.1145/2402.2995
- [3] Whitt W 1983 Performance of the queueing network analyzer *Bell System Technical Journal* vol **62(9)** pp 2817-2843 doi:10.1002/j.1538-7305.1983.tb03205.x
- [4] Mochalov V P, Yakovlev S V and Bratchenko N Y 2014 Development of a methodology for building a distributed control system for telecommunications networks based on CORBA technologies *Vestnik NCSTU* vol **6(45)** pp 50-57
- [5] Yambulatoev E I, Mochalov V P, Bratchenko N Y and Yakovlev S V 2015 *Development of fault-tolerant distributed control systems for telecommunication networks and services* (Stavropol: North-Caucasian State Technical University) p 147
- [6] Yakovlev S V, Mochalov V P and Bratchenko N Y 2017 Algorithm of integration of network applications of distributed infocommunication management system *Modern science and innovations* vol **3(19)** pp 83-88
- [7] Bratchenko N Y, Mochalov V P 2015 Algorithm of suboptimal distribution of software components of a distributed telecommunications management system *Vestnik NCSTU* vol **2(47)** pp 56-60
- [8] Mochalov V., Bratchenko N. 2014 Formalized representation of the process of functioning distributed control systems telecommunications *Scientific enquiry in the contemporary world: theoretical basics and innovative approach, B&M Publishing San Francisco California* pp. 34-41.
- [9] Mochalov V P, Chervyakov N I, Bratchenko N Y and Yakovlev S V 2013 Development of a process-oriented quality management system for information and communication services based on the NGOSS concep (Stavropol: North-Caucasian State Technical University) p 180
- [10] Mochalov V P, Bratchenko N Y and Yakovlev S V 2016 Automated system for monitoring parameters of stationary and mobile objects *Modern science and innovations* vol **2(14)** pp 65-70

ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕГРАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Балаев В.А.¹
vlad-falcon@mail.ru

Гридчин В.С.¹
gridchin-vs@mail.ru

Шестан В.Б.¹
vladislav.shestan@gmail.com

Николаев Е.И.¹
кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем и технологий
notdeveloper@gmail.com

¹ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», Ставрополь, 355029, РФ

Аннотация

На современном этапе развития информационных технологий важное значение приобретает возможность интегрированного использования программных и аппаратных средств, в связи с этим на первое место выходят технологии интеграции, наиболее эффективно реализующие передачу данных в слабосвязанных информационных системах. В работе рассматриваются технологии, методы, программные библиотеки для обеспечения интеграции в современных информационных системах. Производится обзор механизмов интеграции на базе технологии SOAP, REST, OData. В работе рассматриваются возможные варианты развертывания распределенных систем, описываются API, библиотеки для распределенных информационных систем.

Abstract

At the present stage of development of information technologies, the possibility of integrated use of software and hardware becomes important, and therefore integration technologies that most effectively implement data transfer in loosely coupled information systems come to the fore. The paper discusses technologies, methods, software libraries to ensure integration in modern information systems. An overview

of the integration mechanisms based on SOAP, REST, and OData is made. The paper discusses possible deployment options for distributed systems, describes the API, libraries for distributed information systems.

Ключевые слова: архитектура программных систем, технологии интеграции, SOA, ESB.

Keywords: software architecture, integration technologies, SOA, ESB.

1 Введение

С развитием программных средств и технологий неизбежно приобретает актуальность вопрос взаимодействия различных программных компонентов (как разрозненных, от разных производителей, кроссплатформенных, так и в составе единых комплексов) друг с другом. При этом важно обеспечить приемлемый уровень стандартизации данных, протоколов обмена, мобильность, высокую безопасность и стабильность работы.

Корпоративные информационные системы изначально разрабатывались для решения задач бизнеса. На начальных этапах развития данного сектора информационных продуктов и услуг приложения, в основном, строились как монолитные. Для подобных приложений характерны следующие особенности:

- разрабатываются, проектируются и развертываются как монолитный неделимый модуль;
- отличаются неоправданной сложностью при сопровождении, обновлении и модификации;
- отличаются невозможностью внедрения Agile-методологий в жизненный цикл;
- требуется обновлять приложения полностью при добавлении незначительного функционала;
- при добавлении новых функций приложение увеличивает свой объем, но растет также и стоимость подобного программного обеспечения;
- не поддается масштабированию, то есть одна задача, решаемая приложением требует больше процессов, в то время когда другая задача требует больше оперативной памяти; тогда все приложение влечет как увеличение процессов, так и увеличение памяти;
- выход из строя или некорректная работа одного сервиса в монолитном приложении повлечет крах всего приложения;

В качестве решения накопившихся проблем были предложены альтернативные архитектуры информационных систем: ServiceOrientedArchitecture (SOA) и EnterpriseServiceBus (ESB).

2 Технологии SOA и ESB

Системы на базе архитектуры SOA нацелены на трансформацию монолитных мультифункциональных приложений в распределенные, допускающие повторное

использование, слабосвязанные компоненты, называемые сервисами. Сервисы работают через сеть и характеризуются следующими особенностями:

- сервис представляет собой обособленный модуль, нацеленный на решение бизнес-задачи и доступный посредством сети передачи данных;
- сервис характеризуется наличием четко определенных интерфейсов, которые не зависят от внутренней реализации самого сервиса; клиенты сервиса должны учитывать только особенности интерфейса;
- сервисы являются автономными (решают детально формализованную задачу независимо от других модулей) и слабосвязанными (минимизируют обращения к другим модулям);
- более сложные сервисы строятся путем агрегации более мелких сервисов.

При использовании SOA-архитектуры каждый бизнес-процесс проектируется как отдельный сервис (часто реализуется как WebService). Подобные сервисы развертываются на сервере приложений. Когда в системе накапливается определенное количество подобных разнородных простых сервисов, принимается решение об их интеграции в единый композитный сервис. Пользователи получают доступ к композитным сервисам через ESB-уровень многоуровневой архитектуры корпоративной информационной системы. Таким образом, ESB используется как централизованная абстрактная шина для соединения всех сервисов и информационных систем. На рисунке 1 представлена архитектура информационной системы для обеспечения деятельности торгового предприятия.

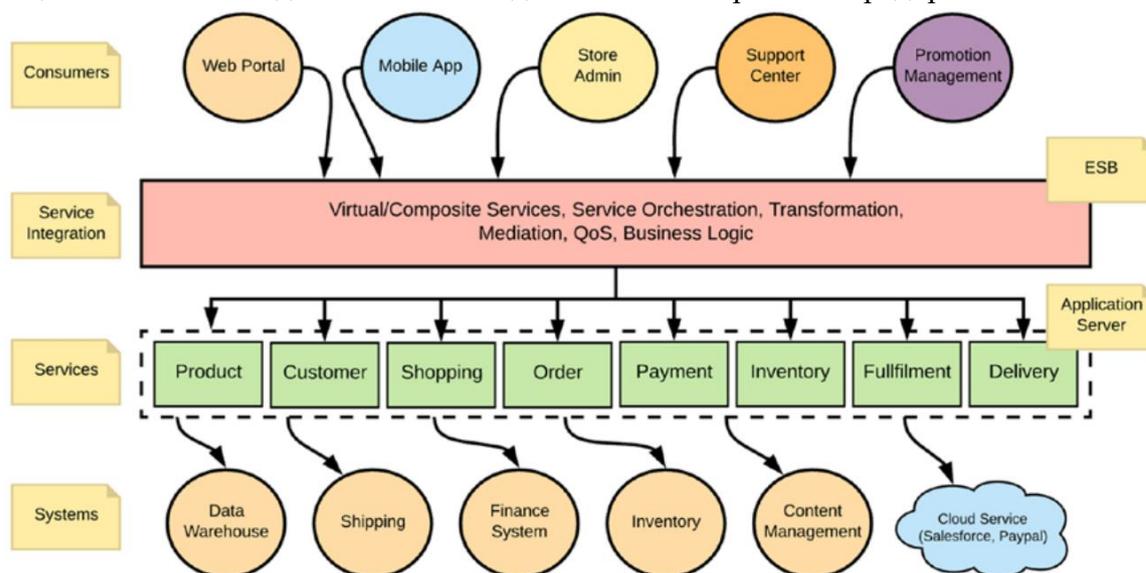


Рисунок 1. Информационная система на базе архитектуры SOA/ESB.

ESB-слой представляется как монолитный модуль, ресурсы которого разделяются многими системами.

3 Программные интерфейсы

Представление бизнес-функций предприятия как управляемых служб или API стало ключевым требованием современной архитектуры предприятия. Но веб-сервисы (SOA) не являются идеальным решением из-за сложности технологий, связанных с веб-сервисами, такими как SOAP (используется как формат сообщений для взаимодействия между сервисами), WS-Security (для безопасного обмена сообщениями между сервисами), WSDL (для определения контракта сервиса). Поэтому большинство организаций внедряют уровень API (API-шлюз) поверх SOA-уровня. Данный уровень получил название API-фасад. Он предоставляет простой интерфейс для пользователей и скрывает внутреннюю реализацию ESB/SOA.

Для реализации обозначенных задач используется API (англ. Application Programming Interface – программный интерфейс приложения), определенный набор протоколов, подпрограмм и инструментов для создания программных приложений, определяющих методы эффективного взаимодействия различных компонентов. При этом, для стороны, использующей реализованную функциональность API, неважны способы её реализации, методы внутреннего взаимодействия между модулями программы (модуля, библиотеки), предоставляющего API. В большей части современных средств обмена данными используется принцип, так называемого, «черного ящика».

Рассмотрим классификацию интеграционных систем. По способу реализации подсистем интеграции выделяют:

- Веб-сервисы;
- API на основе библиотек (Library-based APIs), например, JavaScript;
- API на основе классов (Class-based APIs).

В свою очередь, среди веб-сервисов выделяют:

- SOAP (англ. Simple Object Access Protocol – простой протокол доступа к объектам) – протокол обмена структурированными сообщениями в распределённой вычислительной среде. SOAP может использоваться с любым протоколом прикладного уровня: SMTP, FTP, HTTP, HTTPS и др. SOAP является одним из стандартов, на которых базируются технологии веб-служб. Недостатком использования SOAP для передачи сообщений является увеличение их объёма и снижение скорости обработки;
- RPC (англ. Remote Procedure Call – удалённый вызов процедур) – класс технологий, позволяющих компьютерным программам вызывать функции или процедуры в другом адресном пространстве (как правило, на удалённых компьютерах). На транспортном уровне RPC используют в основном протоколы TCP и UDP. Характерными чертами вызова удалённых процедур являются: асимметричность (одна из взаимодействующих сторон является инициатором) и синхронность (выполнение вызываемой процедуры приостанавливается с момента выдачи запроса и возобновляется только после возврата из вызываемой процедуры). Наиболее распространены технологии XML-RPC и JSON-RPC;
- REST (англ. Representational State Transfer – передача состояния представления) – архитектурный стиль взаимодействия компонентов распределённого приложения в сети Интернет. REST является альтернативой RPC и может представлять собой обычный HTTP-

запрос (обычно GET, POST, PUT, DELETE или в совокупности «CRUD»); такой запрос называют «REST-запрос»), где необходимые данные передаются в качестве параметров запроса. Для веб-служб, построенных с учётом REST (то есть не нарушающих накладываемых им ограничений), применяют термин «RESTful». Часто говорят, что RESTful API – практическое воплощение архитектурного стиля REST. RESTful API сводится к четырем базовым операциям: получение данных в удобном для клиента формате; создание новых данных; обновление данных; удаление данных;

- OData (англ. Open Data Protocol – открытый веб-протокол для запроса и обновления данных). Протокол позволяет выполнять операции с ресурсами, используя в качестве запросов HTTP-команды, и получать ответы в форматах XML или JSON.

По категориям применения (по назначению):

- Функции и процедуры операционной системы. В данной категории выделяют: доступ к файловой системе; доступ к пользовательскому интерфейсу.
- API взаимодействия с оборудованием: видео-акселераторы (OpenGL); драйвер жестких дисков; драйвер шины.

4 Примеры реализации

Приведем несколько примеров существующих API-технологий:

- Взаимодействие с программами социальных сетей: ВКонтакте (<https://api.vk.com/method>), TelegramBOT (<https://api.telegram.org>);
- Картографические данные и технологии: Яндекс-карты (<https://tech.yandex.ru/maps>), Google-map (<http://maps.google.com/maps/api>);
- Взаимодействие CRM-систем с виртуальной IP-телефонией: Ростелеком (<https://stavropol.rt.ru>), Mango-офис (<https://www.mango-office.ru>) и т.п.
- Обмен данными между медицинскими и лабораторными информационными системами (МИС и ЛИС): лабораторная служба Хеликс (<https://helix.ru>), медицинская компания Инвитро (<https://www.invitro.ru>).

5 Заключение

В современном мире API является одним из важнейших элементов взаимодействия с облачными сервисами. API играет решающую роль в интеграции информационных систем, поскольку стандартизирует связь между ними.

Список используемой литературы

- [1] Fanie Reynders. Modern API Design with ASP.NET Core 2: Building Cross-Platform Back-End Systems. – Odijk, The Netherlands: Apress, 2018. – 245 p.
- [2] Jim Webber, Savas Parastatidis, and Ian Robinson. REST in Practice. – Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2010. – 448 p.

- [3] Fernando Doglio. REST API Development with Node.js. – La Paz, Canelones, Uruguay: Apress, 2018. – 331 p.
- [4] Leonard Richardson, Mike Amundsen, Sam Ruby. RESTful Web APIs: Services for a Changing World (1st Edition). O'Reilly Media, 2013. – 406 p.
- [5] Brian Mulloy. Web API Design: Crafting Interfaces that Developers Love, 2012.
- [6] Working with Web APIs. Launch School, 2018. – URL: https://launchschool.com/books/working_with_apis
- [7] Thomas Erl, Benjamin Carlyle, Cesare Pautasso, Raj Balasubramanian. SOA with REST: Principles, Patterns & Constraints for Building Enterprise Solutions with REST. – Prentice Hall, 2013. – 624 p.
- [8] Sanjay Patni. Pro RESTful APIs: Design, Build and Integrate with REST, JSON, XML and JAX-RS. Apress, 2017. – 126 p.
- [9] Шапошников И.В. Web-сервисы Microsoft.NET. – БХВ-Петербург, 2002.
- [10] Вилдермьюс Шон. Практическое использование ADO.NET. Доступ к данным в Internet. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2003. – 288 с.
- [11] Платформа «1С: Предприятие 8». Глава 17 Механизмы интернет-сервисов. – [Электронный ресурс] URL: <https://master1c8.ru/category/platforma-1s-predpriyatie-8/rukovodstvo-razrabottchika/glava-17-mehanizm-internet-servisov/> (режим доступа: свободный).
- [12] Возможности технологии 1cFresh для интеграции с другими сервисами. Примеры использования. Использование сервиса OData // Информационно-технологическое сопровождение пользователей 1С: Предприятия. – [Электронный ресурс] URL: <https://its.1c.ru/db/fresh#content:19956692:hdoc> (режим доступа: платный, подписка ИТС).
- [13] Возможности технологии 1cFresh для интеграции с другими сервисами. Примеры использования. Интеграция с Интернет-банком // Информационно-технологическое сопровождение пользователей 1С: Предприятия. – [Электронный ресурс] URL: <https://its.1c.ru/db/fresh#content:19956687:hdoc> (режим доступа: платный, подписка ИТС).
- [14] Возможности технологии 1cFresh для интеграции с другими сервисами. Примеры использования. Предоставление доступа к API приложения // Информационно-технологическое сопровождение пользователей 1С: Предприятия. – [Электронный ресурс] URL: <https://its.1c.ru/db/fresh#content:19956690:hdoc> (режим доступа: платный, подписка ИТС).
- [15] Википедия. Свободная энциклопедия. – [Электронный ресурс] URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (режим доступа: свободный).

List of references

- [1] Fanie Reynders. Modern API Design with ASP.NET Core 2: Building Cross-Platform Back-End Systems. – Odijk, The Netherlands: Apress, 2018. – 245 p.

- [2] Jim Webber, Savas Parastatidis, and Ian Robinson. REST in Practice. – Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2010. – 448 p.
- [3] Fernando Doglio. REST API Development with Node.js. – La Paz, Canelones, Uruguay: Apress, 2018. – 331 p.
- [4] Leonard Richardson, Mike Amundsen, Sam Ruby. RESTful Web APIs: Services for a Changing World (1st Edition). O'Reilly Media, 2013. – 406 p.
- [5] Brian Mulloy. Web API Design: Crafting Interfaces that Developers Love, 2012.
- [6] Working with Web APIs. Launch School, 2018. – URL: https://launchschool.com/books/working_with_apis
- [7] Thomas Erl, Benjamin Carlyle, Cesare Pautasso, Raj Balasubramanian. SOA with REST: Principles, Patterns & Constraints for Building Enterprise Solutions with REST. – Prentice Hall, 2013. – 624 p.
- [8] Sanjay Patni. Pro RESTful APIs: Design, Build and Integrate with REST, JSON, XML and JAX-RS. Apress, 2017. – 126 p.
- [9] Shaposhnikov I.V. Web-сервисы Microsoft.NET. – BHV-Peterburg, 2002.
- [10] Wildermuth Sean. Practical use ADO.NET. Data access in Internet. - M.: Publishing house "William", 2003. – 288 p.
- [11] 1C: Enterprise 8 Platform. Chapter 17 Mechanisms of Internet services. – [Electronic resource] URL: <https://master1c8.ru/category/platforma-1s-predpriyatie-8/rukovodstvo-razrabottchika/glava-17-mehanizm-internet-servisov/> (access mode: free).
- [12] Features of 1cFresh technology for integration with other services. Example of use. Use of OData service // Information technology support of 1C: Enterprise users. – [Electronic resource] URL: <https://its.1c.ru/db/fresh#content:19956692:hdoc> (access mode: paid, ITS subscription).
- [13] Features of 1cFresh technology for integration with other services. Example of use. Integration with Internet Bank // Information technology support of 1C: Enterprise users. – [Electronic resource] URL: <https://its.1c.ru/db/fresh#content:19956687:hdoc> (access mode: paid, ITS subscription).
- [14] Features of 1cFresh technology for integration with other services. Example of use. Providing access to the API application // Information-technological support for users of 1C: Enterprise. – [Electronic resource] URL: <https://its.1c.ru/db/fresh#content:19956690:hdoc> (access mode: paid, ITS subscription).
- [15] Wikipedia. Free encyclopedia. – [Electronic resource] URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (access mode: free).

ВНЕДРЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ИГРОВЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

Гридчин В.С.¹
gridchin-vs@mail.ru

Орехов Я.В.¹
yaroslav.orehoff@gmail.com

Балаев В.А.¹
vlad-falcon@mail.ru

Николаев Е.И.¹
кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем и технологий
notdeveloper@gmail.com

¹ ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», Ставрополь, 355029, РФ

Аннотация

В работе рассматривается применение специализированных информационных технологий для внедрения подсистем искусственного интеллекта в игровые приложения. В работе приводится концепция применения технологии Navigation Mesh для управления неигровыми персонажами в сложной манере, недоступной классическим алгоритмам управления. В работе рассматривается применение технологий на базе фреймворка Unity.

Abstract

The paper discusses the use of specialized information technologies for the implementation of artificial intelligence subsystems in gaming applications. The paper presents the concept of using the Navigation Mesh technology to control non-player characters in a complex manner that is inaccessible to classical management algorithms. The paper discusses the use of technologies based on the Unity framework.

Ключевые слова: компьютерная графика, искусственный интеллект, Unity.

Keywords: computer graphics, artificial intelligence, Unity.

1 Введение

Развитие компьютерных технологий повлияло на все сферы жизни человека. В результате развития технической и программной среды появился огромный пласт программ, направленных не на решение отдельных технических задач, а на удовлетворение потребностей человека в сфере индустрии развлечений. Появление игровых программных продуктов, сильно повлияло как на всю культуру масс-медиа, так и на дальнейшее развитие рынка информационных товаров и услуг.

Результатом развития стало появление в компьютерных играх искусственного интеллекта, направленного на улучшения игрового процесса. Одновременно, с развитием игровой индустрии, происходит бурный рост внедрения систем искусственного интеллекта, в том числе в игровой индустрии.

2 Постановка задачи

Игровой искусственный интеллект (ИИ) – это набор программных средств, которые используются в компьютерных играх для создания иллюзии интеллекта в поведении персонажей, управляемых компьютером. Игровой ИИ, помимо методов традиционного искусственного интеллекта, включает также алгоритмы теории управления, робототехники, компьютерной графики и информатики в целом.

Игровой ИИ создается для «интеллектуальных агентов». В искусственном интеллекте под термином интеллектуальный агент понимаются сущности, получающие информацию через систему сенсоров о состоянии управляемых ими процессов и осуществляющие влияние на них через систему актуаторов, при этом их реакция рациональна в том смысле, что процессы, выполняемые ими, содействуют достижению определённых параметров. В игре агентом, действующим под управлением ИИ, обычно является НПС (неигровой персонаж, от англ. Non-Player Character) игры, но это так же может быть машина, робот или даже нечто более абстрактное – целая группа сущностей, страна или цивилизация. При создании разработчиками игрового ИИ они обычно принимают во внимание следующие ограничения:

- обычно он задается сразу с помощью кода, а не на основе самообучающейся нейронной сети;
- агенты должны вести себя «реалистично» чтобы игроки ощущали, что соревнуются с человекоподобными противниками;
- система должна зависеть от постигаемых в нее данных, а не быть статичной, что бы разработчики могли своевременно внести в нее изменения.

Примером одного из первых игровых ИИ удовлетворяющих перечисленные выше правила является ИИ платформы соперника в видеоигре «Понг». При игре против ИИ платформа под управлением системы двигалась по вертикали с вертикальной скоростью шарика. Такой подход давал игрокам ощущение того, что платформа противника управляется реальным человеком.

3 Разработка методики

Рассмотреть применение и работу искусственного интеллекта можно на примере межплатформенной среды разработки компьютерных игр Unity.

Система ИИ в данном игровом движке строится на технологии NavMesh (коротко от Navigation Mesh или навигационная сетка). Система навигации позволяет создавать неигровых персонажей или объекты под управлением ИИ, которые могут перемещаться по игровому миру. Данная технология дает НПС возможность понять, что им нужно делать: подниматься по лестнице, чтобы добраться до второго этажа, или прыгать, чтобы перебраться через канаву. Unity NavMesh система состоит из следующих частей: NavMesh, NavMesh Agent, Off-Mesh Link, NavMesh Obstacle. Каждый из данных компонентов отвечает за различные стадии поведения игровых персонажей в компьютерной игре.

NavMesh – это структура данных, которая описывает персонажу поверхность игрового мира и позволяет найти путь от одной точки до другой в игровом мире. Структура данных создается автоматически из геометрии уровня. Компонент NavMesh Agent помогает создавать персонажи, которые избегают друг друга, двигаясь к своей цели. Агенты рассуждают о игровом мире, используя NavMesh, и они знают, как избежать друг друга, а также перемещаться через препятствия. Компонент «Off-Mesh Link» позволяет включать ярлыки навигации, которые невозможно представить с помощью подвижной поверхности. Например, перепрыгивая через канаву или забор, или открывать дверь перед тем, как пройти через нее, это все можно описать как Off-mesh-ссылки. Компонент «NavMesh Obstacle» позволяет описывать движущиеся препятствия, которые НПС должны избегать при навигации по миру. Хорошим примером препятствия может являться ящик, который подчиняется законам физики. Пока препятствие движется, агенты делают все возможное, чтобы избежать его, но как только препятствие становится неподвижным, агенты ищут пути обхода, либо возможность переместить объект закрывающий проход.

Внутри системы NavMesh заложена сложная система навигации, но, если разработчик хочет, чтобы агенты передвигались логично, ему нужно решить две проблемы: проблему рассуждения об уровне, чтобы найти пункт назначения, а затем, как до этого пункта двигаться. Эти две проблемы тесно связаны, но совершенно разные по своей природе. Проблема рассуждения об уровне более глобальна и статична, поскольку она учитывает всю сцену. Переход к месту назначения более локальный и динамический, он учитывает только направление движения и способы предотвращения столкновений с другими движущимися агентами.

Навигационная система нуждается в собственных данных, чтобы представлять доступные области в игровой сцене. Область свободного перемещения определяет места в сцене, где агент имеет возможность свободно стоять или двигаться. В Unity агентам присваиваются свойства какой-либо примитивной геометрической фигуры наиболее схожей с геометрией агента для того чтобы системе не приходилось просчитывать сложную геометрию, её взаимодействие с навигационной сеткой. Такой подход позволяет избежать возникновения ошибок, связанных с взаимодействием агента и объектов игровой сцены. Для нахождения естественного местоположения агента на игровой сцене система просчитывает для каждого

объекта управляемого ИИ пространство игровой сцены, где агент, описанный фигурой, может находиться не пересекаясь с другими объектами сцены, после чего система находит пересечение игрового ландшафта и пространства свободного перемещения агента в результате получая так называемую навигационную сетку или NavMesh.

Система сохраняет эту поверхность как выпуклые многоугольники. Выпуклые многоугольники являются полезным представлением, поскольку между любыми двумя точками внутри многоугольника нет препятствий. В дополнение к границам многоугольников сохраняется информация о том, какие полигоны являются соседними друг с другом. Это позволяет рассуждать о всей области свободного перемещения агента.

4 Результаты

Чтобы найти путь между двумя точками в сцене, сначала нужно сопоставить место с которого начинается передвижение и место, в котором оно заканчивается с их ближайшими полигонами. Затем начинается поиск пути с начальной точки, с перемещением по всем соседним многоугольникам, пока не будет достигнута финальная точка. Отслеживание посещенных полигонов позволяет нам найти последовательность полигонов, которая будет проходить от начала до места назначения.

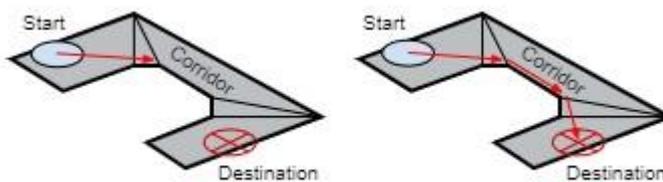


Рисунок 1. Следование по пути

Последовательность многоугольников, которые описывают путь от начала до целевого многоугольника, называется коридором. Агент достигает пункта назначения, всегда направляясь к следующему видимому углу коридора. Если в игре содержится всего один агент, перемещающийся в сцене, можно найти все углы коридора и сделать персонажа более «живым» давая ему возможность перемещаться по линии соединяющей углы коридора.

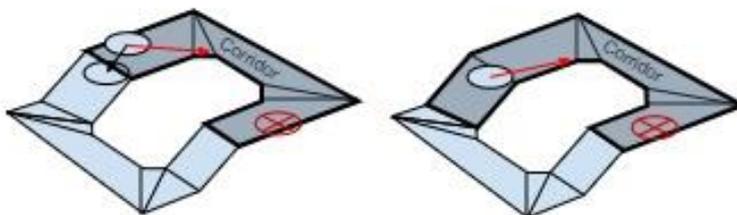


Рисунок 2. Движение нескольких агентов

Когда вы работаете с несколькими агентами, движущимися в одно и то же время, им нужно будет отклоняться от исходного пути, избегая друг друга. Попытка исправить такие отклонения с использованием пути, состоящего из сегментов линии, скоро станет очень сложной и подверженной ошибкам.

Благодаря логике направления агент занимает положение следующего угла и на основании этого определяет желаемое направление и скорость, необходимую для достижения цели. Использование заданной скорости для перемещения может привести к столкновению с другими агентами.

Логика уклонения от препятствий выбирает новую скорость, которая балансирует между движением в нужном направлении и краями навигационной сетки, и предотвращает столкновения с другими агентами. После настройки логик направления и предотвращения столкновений с препятствиями вычисляется конечная скорость. В Unity агенты моделируются с использованием простой динамической модели, которая учитывает ускорение, чтобы обеспечить более естественное и плавное движение.

Когда персонаж перемещен, местоположение моделируемого агента изменяется и привязывается к NavMesh. Этот последний небольшой шаг важен для надежной навигации.

Одна из самых важных вещей, которые нужно понимать в навигации, - это разница между глобальной и локальной навигацией. Глобальная навигация используется для поиска коридора по всему миру. Поиск пути по всему миру - дорогостоящая операция, требующая довольно большой вычислительной мощности и памяти.

5 Обсуждение

Линейный список полигонов, описывающих путь, представляет собой гибкую структуру данных для рулевого управления, и ее можно локально корректировать по мере перемещения позиции агента. Локальная навигация пытается выяснить, как эффективно перейти к следующему углу, не сталкиваясь с другими агентами или движущимися объектами.

Благодаря переключению между глобальной и линейной навигацией агент может самостоятельно решить, как обойти то или иное препятствие будь оно статичным или движущимся.

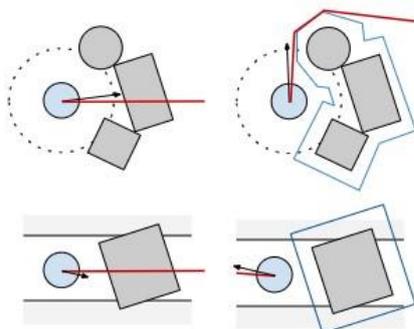


Рисунок 3. Преодоление препятствия

Когда препятствие движется, его лучше всего обрабатывать, используя локальную навигацию. Таким образом, агент может прогностически избежать препятствия. Когда препятствие становится неподвижным и блокирует путь всем агентам, оно должно влиять на глобальную навигацию.

Сам процесс создания навигационной сетки в Unity называется «выпеканием». Процесс собирает сетки и ландшафт всех игровых объектов, которые помечены как «Навигация по статике», а затем обрабатывает их для создания навигационной сетки.

Создание навигационной сетки состоит из четырех шагов:

1. Выберите геометрию сцены, которая должна повлиять на навигационные поверхности и препятствия.
2. Включить статическую навигацию, чтобы объекты были добавлены в процесс «выпечки».
3. Провести регулировку параметров в соответствии с параметрами агента (высоту, наклон, шаг).
4. Провести «выпечку».

В результате на сцену будет наложена навигационная сетка в виде синего полотна. Сгенерированная сетка всегда уже доступной области, так как она представляет собой область в которой передвигается центр агента.

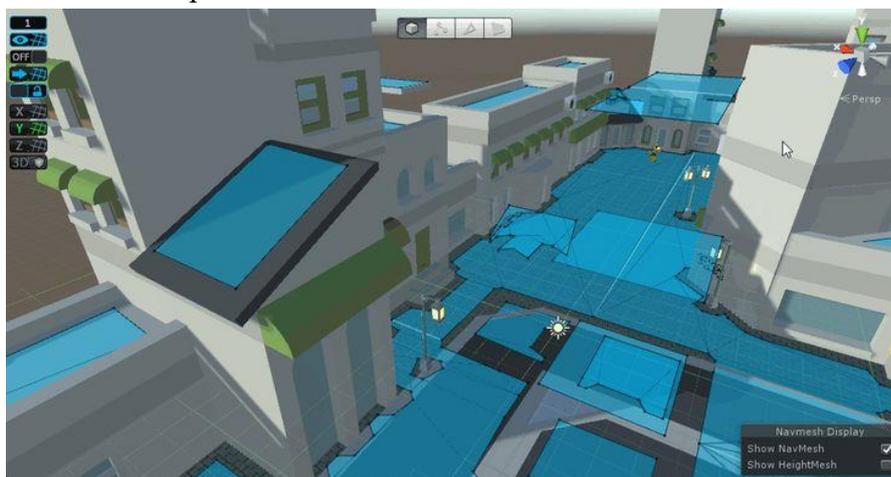


Рисунок 4. Навигационная сетка

Полезной функцией системы NavMesh является Off-Mesh Links, которая позволяет задавать маршрут с помощью ссылок. Два наиболее распространенных момента, когда применяются ссылки – это падение агента с платформы, так называемый Drop-Down, и момент, когда персонажу необходимо перепрыгнуть через какое-либо препятствие (Jump-Across).

6 Заключение

В работе рассмотрены принципы применения Navigation Mesh – специализированной подсистемы Unity для придания интеллектуального поведения неигровых персонажей. Область применения данной технологии обширна: построение систем дополненной и

виртуальной реальности для производственных процессов; игровые приложения; построение эффективных информационных систем в образовательной сфере.

Применение NavMesh позволяет существенно сократить затраты на внедрение искусственного интеллекта в системы с развитыми средствами визуализации.

Список используемой литературы

- [1] Документация игрового движка Unity // <https://docs.unity3d.com/Manual/Navigation.html>
- [2] Как создать игровой ИИ: гайд для начинающих // <https://habr.com/company/pixonix/blog/428892/>
- [3] The Total Beginner's Guide to Game AI // <https://www.gamedev.net/articles/programming/artificial-intelligence/the-total-beginners-guide-to-game-ai-r4942/>
- [4] Реализация поиска путей для ИИ-агентов с помощью NavMesh // <https://habr.com/post/414453/>
- [5] Georgios N. Yannakakis and Julian Togelius. Artificial Intelligence and Games – Лондон: 2018. – 337 с.
- [6] David Bourg, Glenn Seemann AI for Game Developers – Бостон: Изд-во O'Reilly 2004. – 400 с.
- [7] Обзор техник реализации игрового ИИ // <https://habr.com/post/420219/>
- [8] Rabin Steve (ed.) Game AI Pro. Collected Wisdom of Game AI Professionals – Изд-во CRC Press, 2013. — 626 с.
- [9] Implementing Pathfinding for AI agents with NavMesh in Unity // <https://www.gamedev.net/articles/programming/artificial-intelligence/implementing-pathfinding-for-ai-agents-with-navmesh-in-unity-r4903/>
- [10] Navigation Meshes and Pathfinding // <https://www.gamedev.net/articles/programming/artificial-intelligence/navigation-meshes-and-pathfinding-r4880/>

List of references

- [1] Unity game engine documentation // <https://docs.unity3d.com/Manual/Navigation.html>
- [2] How to create a game AI: guide for beginners // <https://habr.com/company/pixonix/blog/428892/>
- [3] The Total Beginner's Guide to Game AI // <https://www.gamedev.net/articles/programming/artificial-intelligence/the-total-beginners-guide-to-game-ai-r4942/>
- [4] Implementing search paths for AI agents using NavMesh // <https://habr.com/post/414453/>

- [5] Georgios N. Yannakakis and Julian Togelius. Artificial Intelligence and Games London: 2018. – 337 p.
- [6] David Bourg, Glenn Seemann AI for Game Developers – Boston: O'Reilly Publ., 2004. – 400 p.
- [7] Overview of Techniques for Implementing a Game AI // <https://habr.com/post/420219/>
- [8] Rabin Steve (ed.) Game AI Pro. Collected Wisdom of Game AI Professionals – CRC Publ., Press, 2013. — 626 p.
- [9] Implementing Pathfinding for AI agents with NavMesh in Unity // <https://www.gamedev.net/articles/programming/artificial-intelligence/implementing-pathfinding-for-ai-agents-with-navmesh-in-unity-r4903/>
- [10] Navigation Meshes and Pathfinding // <https://www.gamedev.net/articles/programming/artificial-intelligence/navigation-meshes-and-pathfinding-r4880/>

ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ПРИ РЕШЕНИИ ТРАНСПОРТНЫХ ЗАДАЧ

Гавришова С.А.
svetagawr@mail.ru

Авакова К.А.
tlkinisto@gmail.com

Новикова Е.Н.
кандидат физико-математических наук, доцент
novikovaelena_nik@mail.ru

Северо-Кавказский федеральный университет, СКФО, Ставропольский край, г.
Ставрополь, 355000, Российская Федерация

Аннотация

Целью работы является обобщение результатов исследований, касающихся применения генетических алгоритмов при проектировании и планировании транспортных сетей. В связи с большим количеством параметров системы проектирование и планирование транспортной сети с помощью традиционных методов оптимизации является очень сложной задачей. Для преодоления этих проблем большинство исследователей применяли генетические алгоритмы. После обзора различных исследований для решения транспортных задач с использованием генетического алгоритма, был сделан вывод о том, что данный способ является эффективным методом оптимизации.

Abstract

The aim of this work is to summarize the results of research concerning the use of genetic algorithms in the design and planning of transport networks. Due to the large number of system parameters, the design and planning of the transport network using traditional optimization methods is a very difficult task. To overcome these problems, most researchers

used genetic algorithms to design and plan the transport network. After reviewing various studies to solve transport problems using a genetic algorithm, it was concluded that the genetic algorithm is an effective optimization method.

Ключевые слова: генетический алгоритм, транспортная задача, методы оптимизации.

Keywords: genetic algorithm, transport problem, optimization technique.

1 Введение

На сегодняшний день в развивающихся странах существует довольно много проблем с транспортом. Одними из основных являются заторы, медленная скорость транспортных средств и низкий уровень обслуживания. Кроме того, стремительными темпами растет количество автомобилей на дорогах. Для решения данных проблем необходимо эффективное планирование и проектирование системы общественного транспорта. Транспортная система эффективна, если маршруты и графики работы дорожно-транспортной сети эффективны. С точки зрения пользователя, система эффективна, если она обеспечивает недорогое и качественное обслуживание пассажира. С точки зрения оператора, система эффективна, если она приносит как можно больше прибыли. Основной задачей в таком планировании является нахождение баланса между этими противоречивыми целями, таким образом, в игру вступают методы оптимизации [4]. Среди различных методов оптимизации генетический алгоритм предлагает новую стратегию с огромным потенциалом для многих задач в планировании и проектировании транспортной сети. В данной области наглядно видно, как генетические алгоритмы могут компенсировать недостатки обычных методов оптимизации.

Задачами данного исследования являются:

- изучение методов реализации оптимизации транспортных задач посредством генетических алгоритмов;
- выявление основных принципов описания генетических алгоритмов в задачах оптимизации в области управления транспортом;
- формулирование рекомендаций по построению математической модели генетического алгоритма для решения транспортной проблемы.

С учетом ограниченного числа транспортных средств и персонала наиболее важными вопросами являются: планирование оптимальных маршрутов городского транспорта, определение частоты рейсов и распределение транспортных средств [1]. Фактически, каждая из этих проблем является сложной задачей оптимизации, но обычно для их решения часто используются некоторые подпрограммы без математических рассуждений [2]. Первые попытки строгого подхода к этим вопросам датируются первой половиной двадцатого века, более совершенные работы проводились в 80-х годах, что связано со значительным увеличением производительности, так как формально, проблема проектирования маршрутов

и составления расписания принадлежит к классу NP-трудных задач, поэтому использование строгих алгоритмов в данном случае практически невозможно из-за больших затрат времени на поиск решения. Следовательно, необходимо использовать приближенные методы, которые не гарантируют получение оптимального решения, но приводят к хорошим решениям в приемлемое время. Особенно полезными здесь являются методы искусственного интеллекта, вдохновленные коллективным поведением живых организмов или основанные на эволюционных концепциях.

Среди различных методов оптимизации генетический алгоритм (ГА) предлагает новую стратегию с огромным потенциалом для многих задач планирования и проектирования транспортной сети. В данной области наглядно просматривается, как генетические алгоритмы могут устранить недостаток традиционных методов оптимизации.

В данной статье была предпринята попытка изучить применение генетического алгоритма в маршрутизации транспортных потоков и планировании расписания движения транспорта.

2 Генетический алгоритм

Генетический алгоритм — это алгоритм поиска, основанный на концепциях естественного отбора и естественной генетики. Является разновидностью эволюционных вычислений, используется для решения задач оптимизации и моделирования путем последовательного подбора, комбинирования и вариации искомых параметров. Метод генетического алгоритма отличается от других методов поиска тем, что ищет среди популяции точек и работает с кодированием параметров, а не самим значением параметра. Отличительной особенностью генетического алгоритма является акцент на использование оператора «скрещивания», реализующего операцию рекомбинации решений-кандидатов, роль которой аналогична роли скрещивания в живой природе.[3].

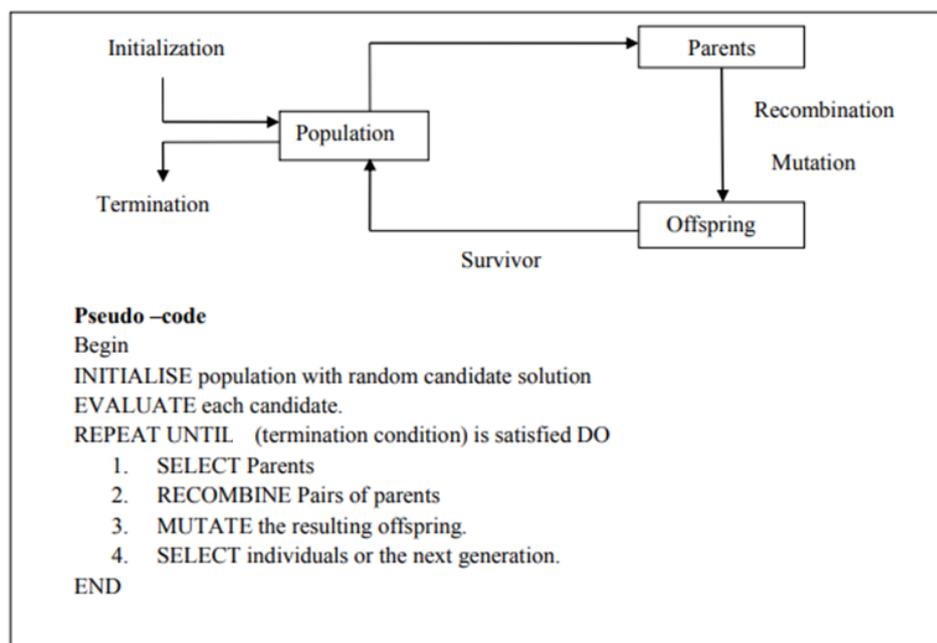


Рисунок 1. Общая схема эволюционного процесса.

3 Обзор генетических алгоритмов в проектировании и планировании транспортной сети

Проектирование и планирование транспортной сети с использованием ГА состоит из четырех этапов: маршрутизация транспортных потоков, планирование расписания движения транспорта, комбинирование маршрутизации и планирования, интеграция составленного плана. В данной работе представлен обзор подходов к маршрутизации транспортных потоков и планированию расписания движения городского пассажирского транспорта.

3.1 Форматирование названия, заголовков и подзаголовков статьи

Разработка маршрута — важный шаг в планировании транспортной системы. Автобус и маршрутное такси занимают основную долю спроса на общественный транспорт. Однако, в большинстве случаев зоны обслуживания и распределение пассажирских перевозок не являются однородными, поэтому выбранный подход к маршрутизации может быть экономически неэффективным с точки зрения оператора или пассажира. Для лучшей доступности транспорта и экономии затрат должна быть проведена реконструкция маршрута и связанная с ним периодичность поездок с учетом спроса.

Набор маршрутов эффективен, если он удовлетворяет транспортному спросу всех пассажиров и занимает минимальное количество времени в пути.

В исследовании, посвящённом оптимизации сети автобусных маршрутов, авторы фокусировались на новом методе вычисления значений функции приспособленности в генетическом алгоритме. Каждый набор был оценен путем вычисления ряда показателей

эффективности, полученных с помощью анализа и направленных на достижение наилучшей автобусной сети, удовлетворяющей как спрос пассажиров, так и предложение транспорта. Алгоритм использовался для генерации итерационно нового набора автобусных сетей [7].

С. Нгамчай и Д. Дж. Ловелл предложили новую модель для оптимизации автобусного маршрута, которая включает уникальную настройку частоты для каждого маршрута с использованием генетических алгоритмов. Модель автобусного маршрута включала три этапа: во-первых создавался начальный набор приемлемых маршрутов. Во-вторых, была назначена частота обслуживания на каждом маршруте и применены методы координации движения путем ранжирования спроса на рейс. Наконец, существующий маршрут был изменен для определения кратчайших путей между пунктами отправления и назначения. Эффективность модели проверялась путем ее применения на эталонной сети. Результат работы показывает, что предложенная модель лучше двоичного генетического алгоритма [8].

В работе, представленной в 2010 году, авторы описали структуру, использующую генетические алгоритмы для решения проблемы маршрутизации городского транспорта. Основной целью исследования являлась минимизация стоимости перевозки пассажиров. Для выполнения генетической операции были предложены маршрут-кроссовер и идентично-точечная мутация. Для проведения вычислительного эксперимента использовался набор контрольных данных Mandl. Результат показывает, что предлагаемый алгоритм работает более эффективно по сравнению с другими исследователями [9].

3.2 Подходы к планированию

Тщательный и подробный расчет расписания является чрезвычайно важным аспектам работы транспортной системы. Он влияет на эффективность и экономичность работы, регулярность и надежность обслуживания. Хорошее планирование рассчитывает расстояние между транспортными средствами через соответствующие интервалы времени в течение дня для поддержания надлежащего уровня обслуживания. Таким образом, планирование расписания минимизирует время ожидания пассажиров, а также время трансфера с одного маршрута на другой, что обеспечивает более высокий уровень обслуживания пассажиров без каких-либо дополнительных затрат. Выдвигаются следующие ограничения, связанные с ресурсами и услугами:

1. Минимальный размер парка: количество доступных автобусов должно быть конечным для движения по разным маршрутам;
2. Минимальная пропускная способность автобуса: вместительность автобуса должна быть фиксированной;
3. Ограничения по времени остановки: автобусы не могут останавливаться на очень короткое или очень долгое время;
4. Должен поддерживаться минимальный уровень частоты рейсов на данном маршруте;
5. Максимальное время перевозки: время трансфера для пассажира не должно быть слишком большим.

Деб К. и Чакраборти П. привели задачу планирования времени транзитной системы к смешанной задаче целочисленного нелинейного программирования (MINLP), рассматривая большое количество ресурсов и связанных с обслуживанием ограничений, таких как размер автобусного парка, время остановки и движения. Минимизация общего времени ожидания (начальное время ожидания + время трансфера) пассажира является основной задачей MINLP. Для решения задачи планирования транспорта по мере роста трудностей при использовании традиционных методов оптимизации был выбран подход, основанный на генетическом алгоритме. Это исследование показывает, что такой подход с наименьшими изменениями может обрабатывать различные проблемы планирования транспорта, такие как минимальная и максимальная пропускная способность, статическое и динамическое время прибытия, а также одиночные и множественные остановки для посадки и высадки пассажиров. Результат показывает, что генетические алгоритмы способны найти оптимальные результаты [11].

В статье о формировании городской транспортной политики на основе расчета объективных показателей качества перевозок отмечается высокая значимость грамотно составленного расписания для функционирования дорожно-транспортной сети города. В данной работе отмечены факторы, влияющие на составления расписания:

- спрос на транспортное обслуживание определяет интервалы движения по периодам суток;
- требования к межмаршрутной координации определяют пассажирские расписания;
- дорожная ситуация как основа времён пробега по периодам суток и требования КЗОТ влияют на графики выхода подвижного состава.

Далее в работе уточняют, что для эффективного функционирования транспортной системы необходимо правильно выбирать время пробега от начальной до конечной остановки маршрута. Зачастую именно неверно выбранное время пробега вызывает несоблюдение расписания движения транспортных средств. Предлагается выбирать оптимальным такое время пробега, за которое определенный процент ТС проедет по маршруту [5].

Подобный способ описан в работе [12], где представлена двухуровневая модель оптимизации для задачи планирования расписания. Возможность загрузки была определена для каждого маршрута индивидуально и путем добавления количества автобусов по каждому маршруту был определен размер парка. На втором уровне, используя генетические алгоритмы, размер парка, полученный на первом уровне, был уменьшен. Модель применена к реальной сети и на основе полученного результата сделан вывод, что предложенный алгоритм дает значительную экономию для транспортной сети с повторением маршрутов.

Несколькими годами позже в работе, посвящённой проектированию линий общественного транспорта, был представлен упрощенный метод вычисления функции приспособленности, что обеспечивает относительно короткое время вычисления даже для больших заданий. Несмотря на введенные упрощения, качество результатов не ухудшается. Предлагаемый алгоритм был применен к реальной, очень сложной сети общественного транспорта, была показана возможность значительного повышения ее эффективности.

Полученные результаты дают надежду, что после некоторых улучшений представленная модель может стать основой научного метода и в результате дальнейшего развития найдёт практическое применение [10].

4 Вывод

В результате исследования и сравнения генетических алгоритмов для решения транспортных задач, а именно задач маршрутизации транспортных потоков и планирования расписания движения транспорта, мы пришли к выводу, что существует большое количество разнообразных подходов к решению данных задач. В зависимости от условий конкретной задачи выбирается тот или иной набор критериев для разработки генетического алгоритма.

Большинство предложенных ГА для проектирования линий связи и расписания транспорта основываются на более ранних работах. Главной целью таких модификаций является адаптация алгоритмов под условие задачи, поставленной для конкретной местности. Поэтому для корректной работы ГА перед началом его разработки необходимо провести некоторый анализ, учесть все особенности исходных данных:

- рассмотреть интересы всех участников транспортной системы;
- сформулировать показатели эффективности транспортной системы в целом;
- определить дополнительные ограничения, которые необходимо учитывать при оптимизации транспортных маршрутов;
- учесть требования к соблюдению режима и условий труда водителей и кондукторов;
- учитывать особенности местности (плотность населения районов, культурные центры города и проч.)
- верно подобрать критерии оптимизации [6].

Также следует учитывать, что решение сложных задач с использованием ГА эффективно, если эффективна функция приспособленности. Но достоверно оценить её эффективность — это одна из самых сложных задач, которой стоит уделить особое внимание.

5 Заключение

В данной работе мы представили обзор исследований по проектированию и планированию дорожно-транспортной сети с использованием ГА. Было обнаружено, что проблема, связанная с проектированием и планированием транспортной сети, является сложной, нелинейной и трудно решаемой с помощью классического программирования. Метод оптимизации на основе ГА является более результативным с точки зрения вычислительной эффективности для решения задачи, требующей большого количества ресурсов и связанных с ними ограничений. ГА имеют преимущество перед традиционными методами оптимизации, поскольку:

- работают с кластерами точек, а не с одной точкой;
- применяют вероятностные правила выбора, а не детерминированные;

- используют только целевую функцию.

Поэтому ГА являются полезным инструментом, помогающим решить проблему оптимизации, в том числе с большим пространством поиска, и показывают многообещающие результаты.

Список используемой литературы

- [1] Седер А. Вилсон Н. Х. М. Дизайн сети автобусов, Исследования транспорта, 1986, 331- 344 (in English)
- [2] Quak С. В. Планирование линии автобуса. Магистерская диссертация, Делфтский технологический университет, Нидерланды, 2006. (in English)
- [3] Профессиональный информационно-аналитический ресурс, посвященный машинному обучению, распознаванию образов и интеллектуальному анализу данных URL: <http://www.machinelearning.ru/> (дата обращения: 25.11.2018).
- [4] Guihaire, V. and H, J.-К., Проектирование и планирование транспортной сети: глобальный обзор. Исследование транспорта Часть А, 2008, 42, 1251-1273 (in English)
- [5] Морозов А.С., Таубкин Г.В., Черников А.А. Формирование городской транспортной политики на основе расчета объективных показателей качества перевозок // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике, 2014. №4 (53).
- [6] Кочегурова Е. А., Мартынова Ю. А. Оптимизация составления маршрутов общественного транспорта при создании автоматизированной системы поддержки принятия решений // Известия ТПУ. 2013. №5.
- [7] Биэлли, М., Карамия, М. и Каротенуто П. Генетический алгоритм в оптимизации сети автобусов. Исследование транспорта Часть С, 19-34, 2002. (in English)
- [8] Нгамчай С. и Ловелл Д. Дж. Оптимальная передача времени в сети маршрутизации транзитных маршрутов с использованием генетического алгоритма. Journal of Transportation Engineering, ASCE, 510-521, 2003. (in English)
- [9] Wang, J.-Y. и Lin, С.-М., Массовая маршрутная сеть с использованием генетического алгоритма. Журнал Китайского института инженеров, 33 (2), 301-315, 2010. (in English)
- [10] Александр Круль А. Проектирование линий общественного транспорта с использованием быстрого генетического алгоритма, 2015. (in English)
- [11] Деб, К. и Чакроборт, Р. Расписание времени транзитной системы с учетом переноса с использованием генетического алгоритма. Журнал эволюционных вычислений, 1-24 (1998) (in English)
- [12] Кидвай, Ф. Ахмад, М.Р., Деб, К. и Карим, М.Р., Модель планирования маршрута на основе генетического алгоритма для транзитной сети. Труды

Восточноазиатского общества транспортных исследований, 477 – 489, 2005. (in English)

List of references

- [1] Ceder A., Wilson N. H. M., 1986, Bus network design, *Transportation Research*, B 20, 331- 344
- [2] Quak C. B., 2003, Bus line planning. Master's Thesis, Delft University of Technology, The Netherlands.
- [3] Professional information and analytical resource dedicated to machine learning, pattern recognition and data mining URL: <http://www.machinelearning.ru/> (access date: 25.11.2018). (In Russian)
- [4] Guihaire, V. and Hao, J.-K., Transit Network Design and Scheduling: A Global Review. *Transportation Research Part A*, 2008, 42, 1251-1273
- [5] Morozov A.S., Taubkin G.V., Chernikov A.A. Formation of urban transport policy based on the calculation of objective indicators of the quality of transportation // *Transport of the Russian Federation. Journal of science, practice, economics*. 2014. №4 (53). (In Russian)
- [6] Kochegurova Ye. A., Martynova Yu. A. Optimization of the compilation of public transport routes when creating an automated decision support system // *Izvestiya TPU*. 2013. №5. (In Russian)
- [7] Bielli, M., Caramia, M. and Carotenuto, P., Genetic Algorithm in Bus Network Optimization. *Transportation Research Part C*, 10, 19-34 (2002).
- [8] Ngamchai, S. and Lovell, D.J., Optimal Time Transfer in Bus Transit Route Network Design Using a Genetic Algorithm. *Journal of Transportation Engineering, ASCE*, 129 (5), 510-521 (2003)
- [9] Wang, J.-Y. and Lin, C.-M., Mass Transit Route Network Design Using Genetic Algorithm. *Journal of Chinese Institute of Engineers*, 33 (2), 301-315 (2010)
- [10] Aleksander Król A., The design of the public transport lines with the use of the fast genetic algorithm (2015).
- [11] Deb, K. and Chakroborty, P., Time Scheduling of Transit System with Transfer Consideration Using Genetic Algorithm. *Journal of Evolutionary Computation*, 1, 1-24 (1998).
- [12] Kidwai, F. Ahmad, M. R., Deb, K. and Karim, M. R., A Genetic Algorithm Based Bus Scheduling Model for Transit Network. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 5, 477 – 489 (2005).

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ САХАРНОГО ДИАБЕТА

Телятицкий А.Г.¹
snegirevnews@gmail.com

Стативко Р.У.¹
stativko1@mail.ru

Старченко Д.Н.¹
Доцент
crovin@mail.ru

¹ Белгородский государственный технологический университет имени В. Г. Шухова,
Белгород, 308012, Россия

Аннотация

За последние десятилетия использование нейронных сетей получило широкое развитие во всех сферах жизнедеятельности человека, в частности в области медицины. Основной целью данного исследования было разработать систему ранней диагностики сахарного диабета обследуемого пациента использующая аппарат искусственных нейронных сетей. Сделан вывод о том, что нейронные сети могут быть эффективно использованы во всех областях медицинских наук. В частности, с точки зрения огромного количества диабетиков во всем мире, системы на основе аппарата искусственных нейронных сетей может быть очень полезной для пациентов. Эти пациенты во многих случаях не знают о своем заболевании и о том, как его контролировать. Кроме того, некоторые из этих пациентов не обращаются к врачам вовремя. Поэтому такая система может предоставить необходимую информацию о показаниях диагностики. Поскольку такая система собирает знания у нескольких медицинских специалистов, система имеет более широкий охват и может быть более полезной для пациентов-по сравнению с одним врачом.

Abstract

During the recent decades, using neural networks has been developed in a vast level in all sectors of human being life, in particular in the field of medicine. The main objective of this research was to create a system for early diagnosis of diabetes patients using the device of artificial neural networks. It has been concluded here the neural network can be use defectively in all areas of medical sciences. In particular, in terms of vast number diabetics throughout the world, the device of artificial neural networks can be highly helpful for the patients. These patients in many cases are not aware of their disease and how to control it. In addition, some of these patients do not access to the physicians during necessary times. Therefore, such a system can provide necessary information about the indication sand diagnosis. Since this expert system gathers its knowledge from several medical specialists, the system has a broader scope and can be more helpful to the patients --in comparison to just one physician.

Ключевые слова: сахарный диабет, искусственная нейронная сеть, компьютерная диагностика, специфичность, чувствительность, классификация данных, многослойный перцептрон, обратное распространение ошибки, сеть прямого распространения, обучение с учителем

Keywords: diabetes, artificial neural network, computer diagnostics, specificity, sensitivity, data classification, multilayer perceptron, back propagation of error, direct distribution network, training with teacher.

1 Введение

За последние десять лет заболеваемость диабетом в мире удвоилась

Сегодня, согласно статистике Международной федерации диабета, в мире насчитывается 230 миллионов диабетиков, в настоящее время 80 процентов из них проживают в развивающихся странах. До 2025 года число диабетиков достигнет 380 миллионов [1].

Диабет является дефектом в способности организма преобразовывать глюкозу (сахар) в энергию. Глюкоза является основным источником топлива для нашего организма. Диабет развивается, когда поджелудочная железа не вырабатывает достаточное количество инсулина — это диабет I типа или вырабатываемый инсулин является дефектным и не может переместить глюкозу в клетки- диабет II типа [2].

Существует три типа диабета. Диабет I типа, Диабет II типа и гестационный диабет.

Опишем кратко каждый из них:

- **Диабет I типа.**

Ранее он назывался инсулинозависимым сахарным диабетом (ИЗСД). Диабет I типа может составлять от 5% до 10% всех диагностированных случаев диабета. Генетические и экологические факторы вовлечены в развитии этого типа диабета [2].

- **Диабет II типа.**

Его ранее называли инсулиннезависимым сахарным диабетом (ИНСД). Диабет II типа может составлять от 90% до 95% всех диагностированных случаев диабета. Факторы риска развития диабета II типа включают пожилой возраст, ожирение, семейный анамнез диабета, предшествующий гестационный диабет, нарушение толерантности к глюкозе, отсутствие физической активности и расовую/этническую принадлежность [3].

- **Гестационный диабет.**

Он развивается от 2% до 5% всех беременностей, но обычно исчезает, когда беременность закончится. У беременных достаточно инсулина, но действие инсулина частично блокируется множеством других гормонов, вырабатываемых в плаценте. Это состояние называется инсулинорезистентностью [2,3].

У человека, долго страдающего различными заболеваниями и при наличии соответствующих факторов, удается диагностировать данное заболевание и в этом случае предлагается лечение и соответствующий контроль. Но, из-за отсутствия симптомов, пациент в течение долгого времени не знает о своем диагнозе и это может угрожать его жизни. [3]

2 Постановка задачи

Предложена архитектура искусственной нейронной сети, которую врачи могут использовать в качестве модели, помогающей прогнозировать диабет. В данном исследовании изучена взаимосвязь между осложнениями у больных сахарным диабетом и их свойствами, такими как уровень глюкозы в крови, артериальное давление, рост, вес, а также гемоглобин и индекс массы тела пациентов. Целью данного исследования является прогнозирование осложнений на основе их симптомов.

3 Разработка методики

Искусственные нейронные сети – мощный и одновременно гибкий метод имитации процессов и явлений. Современные искусственные нейронные сети представляют собой программно-аппаратные средства создания специализированных моделей и устройств и позволяют решать широкий круг задач диагностики на основе применения алгоритмов теории распознавания образов [4].

Отличительное свойство нейронных сетей состоит в их способности обучаться на основе экспериментальных данных предметной области. Применительно к медицинской тематике экспериментальные данные представляются в виде множества исходных признаков или параметров объекта и поставленного на основе них диагноза. Обучение нейронной сети представляет собой интерактивный процесс, в ходе которого нейронная сеть находит скрытые нелинейные зависимости между исходными параметрами и конечным диагнозом, а также

оптимальную комбинацию весовых коэффициентов нейронов, соединяющих соседние слои, при которой погрешность определения класса образа стремится к минимуму [5].

К достоинствам нейронных сетей следует отнести их относительную простоту, нелинейность, работу с нечеткой информацией, не критичность к исходным данным, способность обучаться на материале конкретных примеров. В процессе обучения на вход нейронной сети подается последовательность исходных параметров наряду с диагнозами, которые эти параметры характеризуют [6].

Для прогнозирования наступления заболевания были рассмотрены признаки сахарного диабета, которые сгруппированы в 3 таблицы.

Таблица 1. Таблица симптомов.

Симптомы \ Диагноз	Здоров	Предрасположенность к диабету
Головные боли	Нет	Да
Расплывчатое зрение	Нет	Да
Чрезмерное мочеиспускание	Нет	Да
Боли в животе	Нет	Да
Чрезмерная жажда	Нет	Да
Одышка	Нет	Да
Потеря сознания	Нет	Да
Тошнота	Нет	Да
Чувство голода	Нет	Да
Усталость	Нет	Да
Потеря веса без причины	Нет	Да
Долгое заживление ран	Нет	Да
Частое инфекционное заболевание	Нет	Да
Потеря чувствительности в руках и ногах	Нет	Да
Плохое дыхание	Нет	Да
Падение сахара в крови ночью с холодным потом	Нет	Да

По таблице 1 определяется начальная ситуация пациента, путем анкетирования его на наличие тех или иных симптомов заболевания.

Таблица 2. Таблица факторов.

Фактор \ Диагноз	Здоров	В группе риска
Избыточный вес	Нет	Да
Возраст	<25	>=25
Кровяное давление	< 140/90 мм рт. ст	>= 140/90 мм рт. ст
Наличие диабета у родителей или родственников	Нет	Да
Уровень триглицеридов	< 200	>= < 200
Аборт	Нет	Да
Гестационный диабет или рождение ребенка с весом более 4 кг	Нет	Да
Низкая физическая активность (менее 3 раз в неделю)	Нет	Да
Нарушение толерантности к глюкозе в предыдущих тестах	Нет	Да
Уровень сахара в крови натощак между 110 и 125	Нет	Да
Наличие сосудистых заболеваний	Нет	Да
Синдром яичников или многочисленные кисты	Нет	Да

В таблице 2, относящейся к факторам, описывается состояние здоровья пациента или группы риска, основанное на 12 правилах.

В таблице 3 продемонстрированы необходимые отчеты о тестах, включая: беременность, уровень сахара в крови натощак (FBS1), повторный замер уровня сахара в крови натощак (FBS2), гликированный гемоглобин (HBA1C) и, наконец, решение о состоянии пациента [7,8].

Таблица 3. Таблица тестов крови.

Беременность	FBS1	FBS2	HBA1C	Результат
---	< 126	>= 126	>= 6%	Не здоров
---	< 126	< 126	< 6%	Здоров
Женщина и не беременна	>= 126	>= 126	---	Не здоров

Продолжение таблицы 3

Женщина и беременна	≥ 126	≥ 126	$\geq 6\%$	Не здоров
Женщина и беременна	≥ 126	≥ 126	$< 6\%$	Не здоров (гестационный)
---	≥ 126	≥ 126	---	Не здоров
---	< 126	≥ 126	$< 6\%$	Здоров
---	≥ 126	< 126	$< 6\%$	Здоров
---	≥ 126	< 126	$\geq 6\%$	Не здоров
---	< 126	< 126	$\geq 6\%$	В группе риска
Женщина и не беременна	< 126	≥ 126	$< 6\%$	Здоров
Женщина и беременна	< 126	≥ 126	$< 6\%$	В группе риска
Женщина и не беременна	≥ 126	< 126	$< 6\%$	Здоров
Женщина и беременна	≥ 126	< 126	$< 6\%$	В группе риска

Итоговая таблица (см. таблица 4) — это таблица решений диагноза, которая показывает различные комбинации ситуации пациента, возраста пациента, симптомов, эффективных факторов и тестов, и их анализ обеспечивает окончательную постановку диагноза [9].

Таблица 4. Таблица решений диагнозов.

Результат теста	Пол и наличие беременности	Возраст пациента	Результат проверки симптомов	Результат наличия факторов риска	Диагноз
Здоров	---	---	Здоров	Здоров	Здоров
Здоров	---	---	Здоров	В группе риска	В группе риска
Здоров	---	---	Предрасположенность к диабету	В группе риска	В группе риска
Здоров	---	---	Предрасположенность к диабету	Здоров	В группе риска
Не здоров	Мужчина	< 20	Предрасположенность к диабету	---	Диабет I типа
Не здоров	Мужчина	≥ 20	Предрасположенность к диабету	---	Диабет II типа

Продолжение таблицы 4.

Не здоров	Женщина и не беременна	<20	Предрасположенность к диабету	---	Диабет I типа
Не здоров (гестационный)	Женщина и беременна	---	Предрасположенность к диабету	---	Гестационный диабет
Не здоров	Женщина и беременна	>= 20	Предрасположенность к диабету	---	Диабет II типа
Не здоров	Женщина и беременна	<20	---	---	В группе риска
Не здоров	---	---	Здоров	---	В группе риска
Не здоров	Женщина и не беременна	>= 20	Предрасположенность к диабету	---	Диабет II типа
Не здоров (гестационный)	Женщина и беременна	---	Здоров	---	В группе риска
В группе риска	---	---	---	---	В группе риска

4 Результаты

Результатом определения признаков наличия сахарного диабета, а также возможных диагностических исходов, позволило нам получить архитектуру искусственной нейронной сети для диагностики сахарного диабета у пациентов.

Искусственная нейронная сеть содержала входной слой, один скрытый слой и выходной слой. Входной слой, нейронной сети, имеет 33 нейрона, выходной слой имеет четыре нейрона (см. рис. 1).

Функция активации последнего слоя – SoftMax. Ее удобно применять для решения задач классификации. Она позволяет трактовать выходные значения нейронов как вероятность принадлежности данному классу.

При обучении нейронной сети, в качестве функции потерь используется перекрестная энтропия. Минимизация потерь данным методом обеспечивает уверенность в определении принадлежности состояния здоровья пациента к одному из диагнозов.

Обучение производилось с использованием алгоритма обратного распространения ошибки. Алгоритм обратного распространения ошибки предполагает вычисление ошибки, как выходного слоя, так и каждого нейрона обучаемой сети, а также коррекцию весов нейронов в соответствии с их текущими значениями.

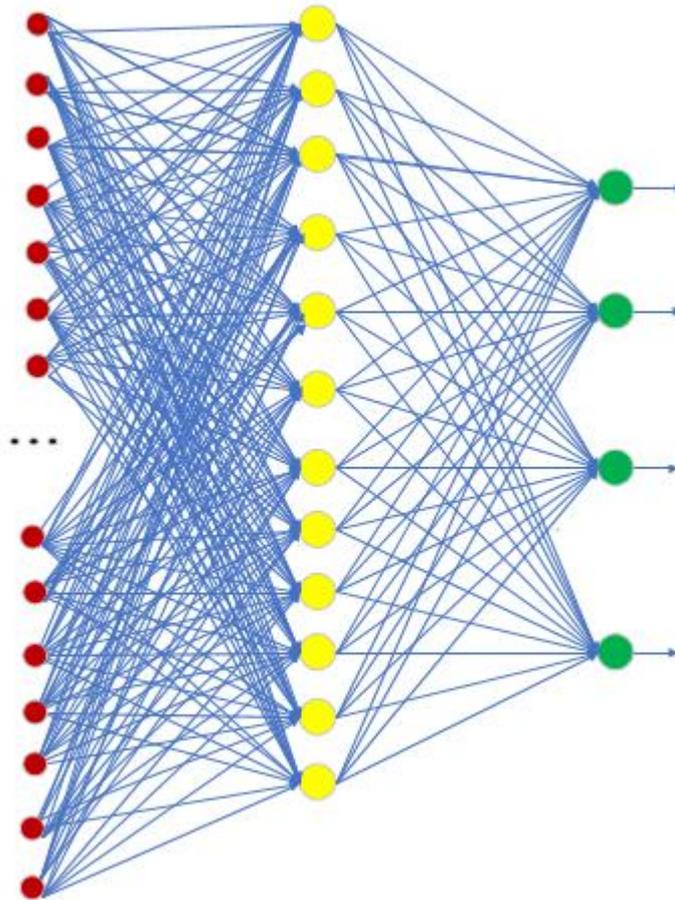


Рисунок 1. Структура искусственной нейронной сети

База обучающих и тестовых данных содержала 768 записей о пациентах. 500 записей использовались как тренировочный набор, остальные – для тестирования. Чувствительность разработанной нейросетевой модели составила 89.5%, специфичность 87.2%.

5 Обсуждение

Для прогнозирования развития сахарного диабета было использовано несколько алгоритмов, результат которых недостаточно хорош для той области, для которой разрабатывается данная архитектура. Но, как показали результаты, искусственные нейронные сети, обученные с использованием алгоритма обратного распространения ошибки (BPNN), имеют большой потенциал на ранней стадии диагностирования диабета.

Искусственная нейронная сеть, обученная по данному алгоритму, дала 89% правильной постановки диагнозов.

Для сравнения, рассмотрим другую архитектуру нейронной сети, которая также используется для диагностики риска заболевания сахарным диабетом на основе состояния больного. В качестве экспериментальных данных используются медицинские измерения в популяции американских индейцев племени Пима, у которых отмечается высокая встречаемость диабета.

Искусственная нейронная сеть имеет 8 входов, соответствующих количеству признаков, 2 скрытых слоя, имеющих 48 и 32 нейрона и один выход. Обучение производилось с использованием алгоритма обратного распространения ошибки. Точность данной модели достигала 82%, что явно ниже, чем представленная в данной статье разработка.

6 Вывод

Сахарный диабет является одним из сложных заболеваний, классификация которого имеет важное значение в медицинской области. Важнейшей целью всех исследователей, врачей и пациентов является наилучшая и точная классификация данного заболевания для того, чтобы избежать ситуаций, когда здоровому пациенту будет поставлен положительный диагноз, что может привести к назначению ему неверного или вообще ненужного лечения, или ситуации, когда пациенту с сахарным диабетом будет поставлен отрицательный диагноз, что приведет к серьезной опасности жизни больного.

Ранняя диагностика данного заболевания не только даст пациенту, у которого диагностировали сахарный диабет, возможность воздействовать на болезнь, с точки зрения принятия необходимых лекарств, назначенных врачом, выполнять необходимые упражнения и предписания, поменять свой рацион, согласно предписаниям диетолога, нежели, если данное заболевание будет выявлено в поздней стадии, что может привести к преждевременной смерти, заболеванию почек, нервным заболеваниям, заболеваниям глаз, что может привести к слепоте.

Для прогнозирования развития сахарного диабета, на основе входных атрибутов, была разработана архитектура искусственной нейронной сети.

Результаты обучения и проверки работоспособности спроектированной нейронной сети показывают её успешное применение для решения поставленных задач и способность находить сложные закономерности и взаимосвязи между различными характеристиками объекта.

7 Список используемой литературы

- [1] Бондарь Т. П. Лабораторно-клиническая диагностика сахарного диабета и его осложнений / Татьяна Петровна Бондарь, Геннадий Иванович Козинец. – М. : Медицинское информационное агентство, 2003. – 87 с. : табл. - Библиогр.: с.83 - 87.
- [2] Богданович, В.Л. Интенсивная и неотложная терапия в эндокринологии: рук. для врачей / В. Л. Богданович. – Н. Новгород: Новгородская гос. мед.акад., 2000. – 324 с.
- [3] Аметов А.С. Сахарный диабет 2 типа. Проблемы и решения: Т. 1 / Александр Сергеевич Аметов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2015. – 350 с.
- [4] Chavey, A., Kioon, M., Bailbé, D., "programming of beta-cell disorders and intergenerational risk of type 2 diabetes Diabetes", Maternal Diabetes, Vol.40, No.5, pp. 323-30, 2014.

- [5] Temurtas, H., Yumusak, N., Temurtas, F., "A comparative study on diabetes disease diagnosis using neural networks", *Expert Syst*, Vol. 36, pp. 8610–15, 2009.
- [6] Круглов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В.В. Круглов, В.В. Борисов.- М.: Горячая линия – Телеком, 2002. 382 с
- [7] Akter, Morium. Shorif Uddin, Mohammad. Haque, Aminul. (2009), *Diagnosis and Management of Diabetes Mellitus through a Knowledge-Based System*, Chwee Teck Lim, James C.H. Goh (Eds.), 23, 1000–1003.
- [8] Fazel-Zarandi, M.H. et al. (2010), *A Fuzzy Rule-Based Expert System for Diagnosing Asthma*, *Transaction E: Industrial Engineering*, Vol. 17, No. 2, 129-142.
- [9] Baldassarre, D., Grossi, E., Buscema, M., Intraligi, M. et al. *Recognition of patients with disease by artificial neural networks//Ann. med.- 2004.-Vol. 36, No 8.-P. 630-640*
- [10] Mohamed, E. I., Linde, R., Perriello, G., Di Daniele, N., Pöpl, S. J., De Lorenzo, A., "Predicting type 2 diabetes using an electronic nose-based artificial neural network analysis", *Diabetes nutrition & metabolism* Vol.15, No.4, pp.222-215, 2002

List of references

- [1] Bondar T.P. *Laboratory and clinical diagnosis of diabetes and its complications* / Tatyana Petrovna Bondar, Gennady Ivanovich Kozinets. - Moscow: Medical news Agency, 2003. - 87 p.: table. - Bibliogr.: p. 83-87.
- [2] Bogdanovich, V. L. *Intensive and emergency therapy in endocrinology: hands. for doctors* / V. L. Bogdanovich. - N. Novgorod: Novgorod state honey. Akad., 2000. - 324 p.
- [3] Ametov A.S. *Diabetes mellitus type 2. Problems and solutions: Vol .1* / Alexander Ametov. - 3rd ed., pererab. I DOP. - Moscow: GEOTAR-Media, 2015. - 350 p.
- [4] Chavey, A., Kioon, M., Bailbé, D., "programming of beta-cell disorders and intergenerational risk of type 2 diabetes Diabetes", *Maternal Diabetes*, Vol.40, No.5, pp. 323-30, 2014.
- [5] Temurtas, H., Yumusak, N., Temurtas, F., "A comparative study on diabetes disease diagnosis using neural networks", *Expert Syst*, Vol. 36, pp. 8610–15, 2009.
- [6] Kruglov V. V. *Artificial neural networks. Theory and practice* / V. V. Kruglov, V. V. Borisov. - M.: Hot line – Telecom, 2002. 382 p.
- [7] Akter, Morium. Shorif Uddin, Mohammad. Haque, Aminul. (2009), *Diagnosis and Management of Diabetes Mellitus through a Knowledge-Based System*, Chwee Teck Lim, James C.H. Goh (Eds.), 23, 1000–1003.
- [8] Fazel-Zarandi, M.H. et al. (2010), *A Fuzzy Rule-Based Expert System for Diagnosing Asthma*, *Transaction E: Industrial Engineering*, Vol. 17, No. 2, 129-142.
- [9] Baldassarre, D., Grossi, E., Buscema, M., Intraligi, M. et al. *Recognition of patients with cardiovascular disease by artificial neural networks//Ann. med.- 2004.-Vol. 36, No 8.-P. 630-640*

- [10] Mohamed, E. I., Linde,r R., Perriello, G., Di Daniele, N., Pöpl, S. J., De Lorenzo, A., "Predicting type 2 diabetes using an electronic nose-based artificial neural network analysis", *Diabetes nutrition & metabolism* Vol.15, No.4, pp.222-215, 2002

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ПЕРСОНАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРОВ.

Эркенова Ф.А.
didimoke@mail.ru

Тамбиева Дж.А.
доктор экономических наук
профессор
tamjannet@mail.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо - Кавказская государственная академия», г. Черкесск, 369001, Россия.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо - Кавказская государственная академия», г. Черкесск, 369001, Россия.

Аннотация

В данной статье рассматривается проблема учета информационных ресурсов (программного и аппаратного обеспечения) предприятия, необходимость проведения инвентаризации. Рассмотрены виды инвентаризации и их характерные особенности (плюсы и минусы). Дан краткий обзор наиболее часто используемых программ, формирующих сводную информацию о техническом состоянии оборудования, конфигурации рабочих станций, наличии запасных комплектующих. Обоснованы причины, целесообразности разработки оригинального решения указанной проблемы для конкретного предприятия. В работе представлена специализированная программа для инвентаризации ИТ-оборудования предприятия, в контексте статистики имеющегося оборудования и регистрации материально ответственных лиц.

Abstract

This article deals with the problem of accounting information resources (software and hardware) of the enterprise, the need for an inventory. The types of inventory and their characteristics (pros and cons) are considered. A brief review is given of the most frequently used programs that form a summary of the technical state of equipment, the configuration of workstations, and the availability of spare parts. The reasons for the expediency of developing the original solution of this problem for a particular enterprise are substantiated. The paper presents a specialized program for inventorying IT enterprise equipment, in the context of statistics of existing equipment and registration of materially responsible persons..

Ключевые слова: Идеальная инвентаризация, ручной инвентаризации, предприятие, инфраструктура, персональный компьютер, периферийные устройства, программа.

Keywords: Perfect inventory, manual inventory, company, infrastructure, personal computer, peripherals, program.

По последним данным в мире работает около миллиарда персональных компьютеров. Каждый десятый взрослый человек планеты использует компьютер постоянно. Во многих странах умение работать с компьютером считается уже не компьютерной грамотностью, а просто грамотностью.

Каждые два года происходит смена поколений аппаратных и программных средств вычислительной техники. Компьютерная революция, затронула все сферы социальной, культурной научной и производственной деятельности людей и не прошла мимо образовательных учреждений.

Исходя из этого каждое предприятие приходит к тому, что требуется навести полный порядок в ИТ - инфраструктуре предприятия, получить контроль над перемещениями техники, спланировать сервисные работы, заказы и закупки, списания и учет компьютеров. Необходима возможность в любой момент централизованно получать полную информацию о состоянии подотчетного ИТ - оборудования. Инвентаризация компьютеров становится важной составляющей ИТ- отдела.

Идеальная инвентаризация должна быть:

- Быстрой – процесс инвентаризации занимает неопределенное количество время от несколько часов до нескольких дней, все зависит от объемов инвентаризируемых единиц.
- Экономной – не нужно вкладывать на инвентаризацию дополнительные средства.
- Качественной – уверенность в полученных результатах.
- Правильной – количество остатков на складе должно сойтись с информацией в учетной системе.

Так выглядит идеал к которому стремятся все предприятия.

Рассмотрим, как выглядит ручная инвентаризация.

Один из самых распространенных способов проведения инвентаризации – это инвентаризация, проводимая в ручную. Ручной инвентаризацией пользуется большинство предприятий.

Такая инвентаризация сводится к ручному пересчету всех товарных единиц на складе. Следует отметить что саму технологию, систему, схему, каждое предприятие разрабатывает годами лично для себя. Большой минус ручной инвентаризации в том, что это опыт невозможно применить на другом предприятии.

Минусы инвентаризации в ручную:

- Затяжной характер – инвентаризация может занимать неделю, месяц, порой даже больше.
- Приостановка работы предприятия – чаще всего требуется полное закрытие склада или магазина, что неизменно ведет к потере потенциальной прибыли, а значит, к убыткам.
- Не экономичность – требует от владельца предприятия серьезных финансовых вложений, а именно оплата сверхурочных сотрудникам склада или возможно расширение персонала.
- Несоответствие результата инвентаризации от идеала – выявляются пересортица, недостача, излишки. Главное – отсутствие возможности полного доверия данным итогам, так как ручной режим работы неизбежно влечет за собой ошибки, вызванные человеческим фактором, вследствие чего появляются псевдопересортица, мнимые излишки, ошибочная недостача.

Рассмотренных выше недостатков ручной инвентаризации можно избежать, если использовать программы, позволяющие практически сразу получить информацию о технических характеристиках оборудования и установленного на нем программного обеспечения, узнать о наличии к ним запасных комплектующих в виде некоторой сводной таблицы. Такие программы уже существуют. Приведем краткий обзор известных программ инвентаризации.

«10-Страйк: Инвентаризация Компьютеров» разработана российской компанией «10-Strike Software» - программа для инвентаризации компьютеров в локальных сетях, позволяет администраторам сетей вести базу данных учета компьютеров. При наличии прав администратора позволяет по сети просматривать и отслеживать конфигурации аппаратного и программного обеспечения удаленных компьютеров. Программа устанавливается только на компьютер администратора и не требует установки дополнительного ПО на компьютерах пользователей. Осуществляет мониторинг состояния и температуры жестких дисков на ПК с помощью S.M.A.R.T (Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Time bound.) удаленно по сети.

«10-Страйк: Инвентаризация Компьютеров» содержит мощный генератор отчетов, позволяющий создавать отчеты в различных форматах, как по отдельным компьютерам, так и по нескольким сразу. Группы данных, включаемые в отчет, настраиваются. Для апробации предлагается 30-дневная тестовая версия.

Программа «IT Invent» позволяет проводить инвентаризацию компьютеров в сети online путем сканирования через интерфейсы WMI и SNMP. Возможность учета программного обеспечения как в ручном, так и в автоматическом режиме сбора информации сканируя сеть. Удобство программы — это работа с единой базой; права доступа разграничены. Так же, производится учет ремонтов и профилактического обслуживания оборудования и компьютеров, включая расходные материалы и

комплектующие запчасти. Присутствует отображение адресов объектов на онлайн-карте. Эту программу в ее бесплатной версии (ограничение – 200 учетных единиц) используют, как правило, небольшие организации. Разработчиком программы является российский программист- Кольцов Юрий Владимирович.

Система Total Network Inventory от Softinventive позволяет вести полный учет программного обеспечения, установленного на компьютере, а также осуществлять контроль аппаратной части компьютеров офисов, малых и больших корпоративных локальных сетей. Администратор имеет возможность дистанционно сканировать сеть и получить исчерпывающую информацию о каждом компьютере. Никаких предварительно установленных модулей не требуется — они устанавливаются автоматически. Программа позволяет сканировать сеть как в реальном времени (немедленно), так и используя скрипт, в момент подключения клиента к домену. Разработана компанией «Softinventive Lab». Бесплатная ознакомительная версия (действует 30 дней).

Программа «Учет компьютеров» позволяет фиксировать производимый ремонт, замену расходных материалов и частей, профилактические работы, установленное программное обеспечение. Так же программа «Учет компьютеров» предоставляет возможность закреплять объекты инвентаризации за определенными сотрудниками, и закрепление вышеуказанных сотрудников за определенными отделами. Присутствует возможность регистрации программного обеспечения. Программа разработана российской компанией «Простой Софт».

Современный рынок программных продуктов предлагает большой выбор таких программ.

Однако использование указанных выше программ для некоторых предприятий не всегда целесообразно. Предприятия, имеющие определенную специфику, зачастую предпочитают сами разрабатывать подобные приложения: как правило, это связано с требованиями безопасности передачи данных или с финансовыми ресурсами предприятия.

Приняв во внимание вышеупомянутые критерии была разработана программа «INVENTAR» для инвентаризации ПК. Сама база данных была создана в GUI IBEExpert, а пользовательский интерфейс в IDE Lazarus. В качестве используемой СУБД была выбрана Firebird 2.5.

Программа «INVENTAR» позволяет проводить инвентаризацию компьютеров в сети online путем сканирования через интерфейсы WMI и SNMP. Программное обеспечение компьютеров может быть получено в ручном и в автоматическом режимах при сканировании сети. Удобством программы является работа с единой базой; права доступа разграничены. Кроме того, производится учет ремонта и профилактического обслуживания оборудования и компьютеров, а также расходных материалов и комплектующих запчастей. В базе хранятся данные о месте нахождения того или иного оборудования и компьютеров, периферийных устройств, дополнительная информация о всех комплектующих. Также можно получать отчеты по отдельным устройствам, посмотреть статистику учета оборудования, получить информацию о материально ответственном лице.

Основной задачей при разработке такой программы является получение сведений о комплектующих компьютера и установленного программного обеспечения по запросу, производимому с сервера, а затем передача полученных результатов в определенном формате.

ПК													
Монитор Принтер Прочее Все Статистика													
Операционная система			Модель			Серийный номер			Память				
<input type="radio"/> XP <input checked="" type="radio"/> Windows 7 or newer			WDC WD5000AAEX-00ERMA0 ATA Device			WD-WCC2ER785867			488384				
Инвентарный номер	Аудитория	Корпус	Тип ПК	Сеть	Диагональ	Ремонт							
749990809	217	2	Стационарный	Глобальная	0,00	0							
Подразделение													
Институт прикладной математики и информационных технол													
Дата ввода в эксплуатацию													
Дата списания													
<input type="checkbox"/> Рек. к списанию													
<input type="button" value="Считать данные с компьютера и записать"/> <input type="button" value="Изменить"/> <input type="button" value="Удалить"/>													
№ инв-ий	Сеть	Аудитория	Корпус	Подразделение	RAM	ОС	Центральный процессор	Материнская плата	Имя	Тип ПК	Ремонт	Дата ввода	Дата спис
5628	Глобальная	232	2	ПМийИТ	1004780	Microsoft Windows XP Professional	Процессор Intel Pentium III Xeon	Gigabyte Technology Co, Ltd	HOME	Стационарный	0		
8606	Глобальная	211	2	ПМийИТ	1816692	Майкрософт Windows 10 Pro	AMD FX(tm)-4100 Quad-Core Processor	ASUSTeK Computer INC.	DESKTOP-TV	Стационарный	0		
8610	Глобальная	211	2	ПМийИТ	1833080	Microsoft Windows 7 Профессиональная	AMD Phenom(tm) II X4 925 Processor	ASUSTeK Computer INC.	1111-ПК	Стационарный	0		
8605	Глобальная	211	2	ПМийИТ	1816692	Майкрософт Windows 10 Pro	AMD FX(tm)-4100 Quad-Core Processor	ASUSTeK Computer INC.	DESKTOP-H	Стационарный	0		
749990836	Глобальная	218	2	ПМийИТ	3407092	Майкрософт Windows 10 Pro	AMD Athlon(tm) II X2 270 Processor	ASRock	PREM01	Стационарный	0		
749990821	Глобальная	215	2	ПМийИТ	4063188	Майкрософт Windows 10 Pro	Intel(R) Core(TM) i3-4130 CPU @ 3.40GHz	ASUSTeK COMPUTER INC.	DESKTOP-11	Стационарный	0		
749990812	Глобальная	217	2	ПМийИТ	2096372	Майкрософт Windows 10 Pro	AMD Athlon(tm) II X2 270 Processor	ASRock 960GM-G53 FX	PREM11	Стационарный	0		
749990829	Глобальная	217	2	ПМийИТ	1834228	Майкрософт Windows 10 Pro	AMD Athlon(tm) II X2 270 Processor	ASRock 960GM-G53 FX	PC03	Стационарный	0		
749990814	Глобальная	217	2	ПМийИТ	1834228	Майкрософт Windows 10 Pro	AMD Athlon(tm) II X2 270 Processor	ASRock 960GM-G53 FX	DESKTOP-U	Стационарный	0		
749990815	Глобальная	217	2	ПМийИТ	1834228	Майкрософт Windows 10 Pro	AMD Athlon(tm) II X2 270 Processor	ASRock 960GM-G53 FX	DESKTOP-FU	Стационарный	0		
749990901	Глобальная	217	2	ПМийИТ	1834228	Майкрософт Windows 10 Pro	AMD Athlon(tm) II X2 270 Processor	ASRock 960GM-G53 FX	DESKTOP-LE	Стационарный	0		
749990825	Глобальная	215	2	ПМийИТ	4063180	Майкрософт Windows 10 Pro (Registered Tr	Intel(R) Core(TM) i3-4130 CPU @ 3.40GHz	ASUSTeK COMPUTER INC.	DESKTOP-U	Стационарный	0		
749990830	Глобальная	217	2	ПМийИТ	1834228	Майкрософт Windows 10 Pro	AMD Athlon(tm) II X2 270 Processor	ASRock 960GM-G53 FX	PC05	Стационарный	0		
8604	Глобальная	217	2	ПМийИТ	2061364	Майкрософт Windows 10 Pro	Intel(R) Celeron(R) CPU E3200 @ 2.40GHz	ASUSTeK Computer INC. P5G	DESKTOP-JC	Стационарный	0		
749990826	Глобальная	215	2	ПМийИТ	4063464	Майкрософт Windows 10 Pro	Intel(R) Core(TM) i3-4130 CPU @ 3.40GHz	ASUSTeK COMPUTER INC.	ADMSTUDEI	Стационарный	0		
749990824	Глобальная	215	2	ПМийИТ	4063724	Майкрософт Windows 10 Pro	Intel(R) Core(TM) i3-4130 CPU @ 3.40GHz	ASUSTeK COMPUTER INC.	DESKTOP-R	Стационарный	0		
749990823	Глобальная	215	2	ПМийИТ	4063472	Microsoft Windows 10 Pro	Intel(R) Core(TM) i3-4130 CPU @ 3.40GHz	ASUSTeK COMPUTER INC.	DESKTOP-11	Стационарный	0		
749990822	Глобальная	215	2	ПМийИТ	4063724	Майкрософт Windows 10 Pro (Registered Tr	Intel(R) Core(TM) i3-4130 CPU @ 3.40GHz	ASUSTeK COMPUTER INC.	DESKTOP-6B	Стационарный	0		
749990819	Глобальная	215	2	ПМийИТ	4063188	Microsoft Windows 10 Pro	Intel(R) Core(TM) i3-4130 CPU @ 3.40GHz	ASUSTeK COMPUTER INC.	DESKTOP-GI	Стационарный	0		
749990820	Глобальная	215	2	ПМийИТ	4063188	Майкрософт Windows 10 Pro (Registered Tr	Intel(R) Core(TM) i3-4130 CPU @ 3.40GHz	ASUSTeK COMPUTER INC.	DESKTOP-AI	Стационарный	0		
749990818	Глобальная	215	2	ПМийИТ	4063188	Microsoft Windows 10 Pro	Intel(R) Core(TM) i3-4130 CPU @ 3.40GHz	ASUSTeK COMPUTER INC.	DESKTOP-PJ	Стационарный	0		
749990817	Глобальная	215	2	ПМийИТ	4063724	Майкрософт Windows 10 Pro	Intel(R) Core(TM) i3-4130 CPU @ 3.40GHz	ASUSTeK COMPUTER INC.	DESKTOP-J4	Стационарный	0		
749990816	Глобальная	215	2	ПМийИТ	4063472	Майкрософт Windows 10 Pro	Intel(R) Core(TM) i3-4130 CPU @ 3.40GHz	ASUSTeK COMPUTER INC.	DESKTOP-UJ	Стационарный	0		
749990814	Глобальная	215	2	ПМийИТ	4063472	Майкрософт Windows 10 Pro (Registered Tr	Intel(R) Core(TM) i3-4130 CPU @ 3.40GHz	ASUSTeK COMPUTER INC.	DESKTOP-UJ	Стационарный	0		
749990815	Глобальная	215	2	ПМийИТ	4063788	Майкрософт Windows 10 Pro	Intel(R) Core(TM) i3-4130 CPU @ 3.40GHz	ASUSTeK COMPUTER INC.	DESKTOP-UJ	Стационарный	0		
749990837	Глобальная	217	2	ПМийИТ	1834228	Майкрософт Windows 10 Pro	AMD Athlon(tm) II X2 270 Processor	ASRock 960GM-G53 FX	DESKTOP-61	Стационарный	0		
749990813	Глобальная	217	2	ПМийИТ	1834228	Майкрософт Windows 10 Pro	AMD Athlon(tm) II X2 270 Processor	ASRock 960GM-G53 FX	DESKTOP-61	Стационарный	0		
749990902	Глобальная	217	2	ПМийИТ	3407092	Майкрософт Windows 10 Pro	AMD Athlon(tm) II X2 270 Processor	ASRock 960GM-G53 FX	KAB-237-01	Стационарный	0		
749990835	Глобальная	217	2	ПМийИТ	3407092	Майкрософт Windows 10 Pro	AMD Athlon(tm) II X2 270 Processor	ASRock 960GM-G53 FX	DESKTOP-OJ	Стационарный	0		
749990809	Глобальная	217	2	ПМийИТ	1834228	Майкрософт Windows 10 Pro	AMD Athlon(tm) II X2 270 Processor	ASRock 960GM-G53 FX	PC06	Стационарный	0		

Рисунок1. Данные ПК.

Форма «ПК» (основная форма программы) служит для считывания данных с компьютера и записи информации в базу данных. При необходимости имеется возможность удаления и корректировки данных. На этой форме указывается дата ввода в эксплуатацию, дата списания и рекомендация к списанию компьютера. Эти характеристики являются немаловажными при эксплуатации ИТ-оборудования.

ПК		Монитор	Принтер	Прочее	Все	Статистика																																																																		
В подразделении						У пользователя																																																																		
Подразделение						Всего																																																																		
Институт прикладной математики и информатики						<table border="1"> <thead> <tr> <th>Тип устройства</th> <th>Количество</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Доска (проектор)</td><td>3</td></tr> <tr><td>ИБП</td><td>3</td></tr> <tr><td>Коммутатор</td><td>7</td></tr> <tr><td>Копир</td><td>1</td></tr> <tr><td>МФУ</td><td>3</td></tr> <tr><td>Монитор</td><td>73</td></tr> <tr><td>Ноутбук</td><td>3</td></tr> <tr><td>Принтер</td><td>2</td></tr> <tr><td>Проектор</td><td>3</td></tr> <tr><td>Стационарный ПК</td><td>72</td></tr> </tbody> </table>	Тип устройства	Количество	Доска (проектор)	3	ИБП	3	Коммутатор	7	Копир	1	МФУ	3	Монитор	73	Ноутбук	3	Принтер	2	Проектор	3	Стационарный ПК	72																																												
Тип устройства	Количество																																																																							
Доска (проектор)	3																																																																							
ИБП	3																																																																							
Коммутатор	7																																																																							
Копир	1																																																																							
МФУ	3																																																																							
Монитор	73																																																																							
Ноутбук	3																																																																							
Принтер	2																																																																							
Проектор	3																																																																							
Стационарный ПК	72																																																																							
						<table border="1"> <thead> <tr> <th>Тип устройства</th> <th>Количество</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>IP-телефон</td><td>3</td></tr> <tr><td>USB-модем</td><td>1</td></tr> <tr><td>VipNet Terminal</td><td>1</td></tr> <tr><td>Wi-Fi роутер</td><td>2</td></tr> <tr><td>Акустика</td><td>14</td></tr> <tr><td>Аппарат переплётный</td><td>1</td></tr> <tr><td>Веб-камера</td><td>8</td></tr> <tr><td>Видеоконтроллер</td><td>1</td></tr> <tr><td>Внешний HDD</td><td>6</td></tr> <tr><td>Внешний диковод</td><td>1</td></tr> <tr><td>Граф. планшет</td><td>10</td></tr> <tr><td>Доска (проектор)</td><td>57</td></tr> <tr><td>ИБП</td><td>14</td></tr> <tr><td>Коммутатор</td><td>72</td></tr> <tr><td>Конвертер</td><td>2</td></tr> <tr><td>Копир</td><td>15</td></tr> <tr><td>МФУ</td><td>197</td></tr> <tr><td>Маршрутизатор</td><td>3</td></tr> <tr><td>Микрофон</td><td>3</td></tr> <tr><td>Монитор</td><td>864</td></tr> <tr><td>Моноблок</td><td>24</td></tr> <tr><td>Ноутбук</td><td>71</td></tr> <tr><td>Планшет</td><td>1</td></tr> <tr><td>Плоттер</td><td>11</td></tr> <tr><td>Принтер</td><td>140</td></tr> <tr><td>Проектор</td><td>77</td></tr> <tr><td>Резак роликовый</td><td>1</td></tr> <tr><td>Сервер</td><td>8</td></tr> <tr><td>Сканер</td><td>12</td></tr> <tr><td>Смарт доска</td><td>28</td></tr> <tr><td>Стационарный ПК</td><td>818</td></tr> <tr><td>Тонкий клиент</td><td>31</td></tr> </tbody> </table>	Тип устройства	Количество	IP-телефон	3	USB-модем	1	VipNet Terminal	1	Wi-Fi роутер	2	Акустика	14	Аппарат переплётный	1	Веб-камера	8	Видеоконтроллер	1	Внешний HDD	6	Внешний диковод	1	Граф. планшет	10	Доска (проектор)	57	ИБП	14	Коммутатор	72	Конвертер	2	Копир	15	МФУ	197	Маршрутизатор	3	Микрофон	3	Монитор	864	Моноблок	24	Ноутбук	71	Планшет	1	Плоттер	11	Принтер	140	Проектор	77	Резак роликовый	1	Сервер	8	Сканер	12	Смарт доска	28	Стационарный ПК	818	Тонкий клиент	31
Тип устройства	Количество																																																																							
IP-телефон	3																																																																							
USB-модем	1																																																																							
VipNet Terminal	1																																																																							
Wi-Fi роутер	2																																																																							
Акустика	14																																																																							
Аппарат переплётный	1																																																																							
Веб-камера	8																																																																							
Видеоконтроллер	1																																																																							
Внешний HDD	6																																																																							
Внешний диковод	1																																																																							
Граф. планшет	10																																																																							
Доска (проектор)	57																																																																							
ИБП	14																																																																							
Коммутатор	72																																																																							
Конвертер	2																																																																							
Копир	15																																																																							
МФУ	197																																																																							
Маршрутизатор	3																																																																							
Микрофон	3																																																																							
Монитор	864																																																																							
Моноблок	24																																																																							
Ноутбук	71																																																																							
Планшет	1																																																																							
Плоттер	11																																																																							
Принтер	140																																																																							
Проектор	77																																																																							
Резак роликовый	1																																																																							
Сервер	8																																																																							
Сканер	12																																																																							
Смарт доска	28																																																																							
Стационарный ПК	818																																																																							
Тонкий клиент	31																																																																							
						<table border="1"> <thead> <tr> <th>Тип устройства</th> <th>Количество</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Внешний HDD</td><td>1</td></tr> <tr><td>Доска (проектор)</td><td>8</td></tr> <tr><td>ИБП</td><td>4</td></tr> <tr><td>Коммутатор</td><td>17</td></tr> <tr><td>Копир</td><td>1</td></tr> <tr><td>МФУ</td><td>9</td></tr> <tr><td>Маршрутизатор</td><td>1</td></tr> <tr><td>Монитор</td><td>147</td></tr> <tr><td>Ноутбук</td><td>8</td></tr> <tr><td>Планшет</td><td>1</td></tr> <tr><td>Принтер</td><td>6</td></tr> <tr><td>Проектор</td><td>9</td></tr> <tr><td>Сканер</td><td>3</td></tr> <tr><td>Смарт доска</td><td>3</td></tr> <tr><td>Стационарный ПК</td><td>143</td></tr> </tbody> </table>	Тип устройства	Количество	Внешний HDD	1	Доска (проектор)	8	ИБП	4	Коммутатор	17	Копир	1	МФУ	9	Маршрутизатор	1	Монитор	147	Ноутбук	8	Планшет	1	Принтер	6	Проектор	9	Сканер	3	Смарт доска	3	Стационарный ПК	143																																		
Тип устройства	Количество																																																																							
Внешний HDD	1																																																																							
Доска (проектор)	8																																																																							
ИБП	4																																																																							
Коммутатор	17																																																																							
Копир	1																																																																							
МФУ	9																																																																							
Маршрутизатор	1																																																																							
Монитор	147																																																																							
Ноутбук	8																																																																							
Планшет	1																																																																							
Принтер	6																																																																							
Проектор	9																																																																							
Сканер	3																																																																							
Смарт доска	3																																																																							
Стационарный ПК	143																																																																							

Рисунок 2.Статистика.

Форма «Статистика» служит для анализа имеющихся на предприятии ИТ-оборудования, расходных материалов и комплектующих запчастей. Имеется возможность получения статистики ИТ – оборудования предприятия: по подразделениям, по материально ответственным лицам, по предприятию в целом.

Фамилия	<input type="text"/>	<input type="button" value="Записать"/> <input type="button" value="Изменить"/> <input type="button" value="Удалить"/>
Имя	<input type="text"/>	
Отчество	<input type="text"/>	
Должность	<input type="text"/>	

Рисунок 3.Окно ввода материально ответственных лиц.

Форма «Окно ввода материально ответственных лиц» служит для регистрации сотрудников (материально ответственных лиц) для дальнейшего закрепления объектов инвентаризации за этими сотрудниками, и закрепление вышеуказанных сотрудников за определенными отделами.

Список используемой литературы

- [1] «10-Страйк: Инвентаризация Компьютеров» – Программа для учета ПК в сети предприятия [Электронный ресурс] / 10-Strike Software – URL: <http://www.10-strike.com/rus/networkinventoryexplorer/>
2006. – 20 с.
- [2] Firebird – википедия[Электронный ресурс] – 2012 – Режим доступа к: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Firebird>, свободный.
- [3] IBExpert – википедия[Электронный ресурс] – 2012 – Режим доступа к: <https://ru.wikipedia.org/wiki/IBExpert>, свободный.
- [4] Lazarus – Subreal Team[Электронный ресурс] – 2012 – Режим доступа к: <http://subreal-team.com/blog/2012/12/09/lazarus-runninggepard>, свободный.
- [5] Windows-1251 – википедия [Электронный ресурс] – 2012 – Режим доступа к: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Windows-1251>, свободный.
- [6] Инвентаризация, кто, когда, зачем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.sibnalog.ru/news/14_12_12_1.html
- [7] ИнфраМенеджер. Учет IT-имущества [Электронный ресурс] / ИнфраМенеджер – URL: <http://www.inframanager.ru/functionality/itam/>
- [8] Кийкова Е.В. Ресурсное обеспечение деятельности вуза. Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. С. 395.
- [9] Кийкова Е.В. Совершенствование деятельности обеспечивающих подсистем вуза на базе информационных технологий. Научные труды SWorld. 2012. Т. 31. №4. С. 29–32.
- [10] Наймушина О. Э. Особенность разработки приложений для машиностроительной отрасли/ О.Э. Наймушина, И.Н. Наймушин // Международный научно-исследовательский журнал. Часть 2. – 2016. – № 4(46). – С. 135-138.
- [11] Наймушина О. Э. Тестирование программ с учетом граничных условий и некорректности входных данных / О.Э. Наймушина // Международный научно-исследовательский журнал. Часть 4. – 2014. – № 3(22). – С. 32-34.
- [12] О.Ю. Василенко. Порядок и правила проведения инвентаризации в бюджетных учреждениях: учебно-методическое пособие. – Омск: Изд-во ОмГУ,
- [13] Овсянникова Г.Л., Кийкова Е.В. Организационное моделирование процесса управления закупками для нужд университета. Университетское управление: практика и анализ. 2012. № 5 (81). С. 96–105.
- [14] Орлова Е.В. Как правильно провести инвентаризацию / Е.В.Орлова.– М.: Налоговый вестник, 2012.– 239 с..
- [15] Рассел, Джесси Инвентаризация / Джесси Рассел. - М.: VSD, 2012. - 662 с.

List of references

- [1] “10-Strike: Computer Inventory” - Program for accounting PCs in an enterprise network [Electronic resource] / 10-Strike Software - URL: <http://www.10-strike.com/eng/networkinventoryexplorer/2006>. - 20 p.

- [2] Firebird - Wikipedia [Electronic resource] - 2012 - Access mode: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Firebird>, free.
- [3] IBExpert - Wikipedia [Electronic resource] - 2012 - The mode of access to: <https://ru.wikipedia.org/wiki/IBExpert>, free.
- [4] Lazarus - Subreal Team [Electronic resource] - 2012 - Mode of access to: <http://subreal-team.com/blog/2012/12/09/lazarus-runninggepard>, free.
- [5] Windows – 1251 - Wikipedia [Electronic resource] - 2012 - Access to: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Windows-1251>, free.
- [6] Inventory, who, when, why [Electronic resource]. - Access mode: http://www.sibnalog.ru/news/14_12_12_1.html
- [7] InfraManager. Accounting for IT-property [Electronic resource] / InfraManager - URL: <http://www.inframanager.ru/functionality/itam/>
- [8] Kiykova E.V. Resource support of the university. Modern problems of science and education. 2013. No. 6. P. 395.
- [9] Kiykova E.V. Improving the activities of providing subsystems of the university based on information technology. Scientific works SWorld. 2012. T. 31.№4. Pp. 29–32.
- [10] Naymushina O. E. Feature of developing applications for the engineering industry / O.E. Naimushin, I.N. Naimushin // International Research Journal. Part 2. - 2016. - № 4 (46). - p. 135-138.
- [11] O. Naymushina. Testing of programs taking into account boundary conditions and incorrect input data / O.E. Naimushin // International Scientific Research Journal. Part 4. - 2014. - № 3 (22). - p. 32-34.
- [12] O. Yu. Vasilenko. The procedure and rules of the inventory in budgetary institutions: a teaching aid. - Omsk: Omsk State University,
- [13] Ovsyannikova G.L., Kiykova E.V. Organizational modeling of the procurement process for the needs of the university. University management: practice and analysis. 2012. № 5 (81). Pp. 96–105.
- [14] Orlova E.V. How to make an inventory / EV Orlova. - M .: Tax Bulletin, 2012. – 239 p.
- [15] Russell, Jesse Inventory / Jesse Russell. - M .: VSD, 2012. - 662 c.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРАФОВЫХ СЕТЕЙ

THE USE OF CLUSTER ANALYSIS TECHNOLOGY FOR THE STUDY OF GRAPH NETWORKS

Ложечка В.И.¹
Lozhechka V.I.
loje4kavica@yandex.ru

Целых А.Н.¹
Tselykh A.N.
доктор технических наук, профессор
ant@sfedu.ru

¹ Южный федеральный университет, Институт компьютерных технологий и информационной безопасности, Таганрог, 347922, Россия

Аннотация

В настоящее время возросла актуальность применения технологий и методов кластерного анализа для решения проблемы Больших Данных. В статье приведены результаты исследований и экспериментов с использованием наиболее распространенных алгоритмов кластеризации, которые объединяют схожие объекты в группы (кластеры). Методы интеллектуального анализа данных получили широкое распространение для решения широкого круга практических задач. Кластеризация может применяться к различным видам данных. В данной статье мы рассматривали кластеризацию сетей, построенных на графах. На сегодняшний день известно большое число методов разбиения групп объектов на кластеры, поэтому были выбраны наиболее распространенные методы анализа графов. Цель исследования состояла в том, чтобы сравнить различные методы измерения сходства на основе показателя степени их модулярности и найти лучший среди них. В качестве методов исследования использовались анализ существующих алгоритмов, проведение вычислительного эксперимента и сравнение полученных результатов.

Исследование алгоритмов осуществлялось в среде Rstudio. Для эксперимента были выбраны реальные графы, находящиеся в открытом доступе. В результате проведенного анализа было выявлено преимущество алгоритмов Louvain и Walktrap перед другими исследуемыми алгоритмами.

Abstract

Currently the relevance of the use of technologies and methods of cluster analysis to solve the problem of Big Data has increased. The article presents the results of research and experiments using the most common clustering algorithms that combine similar objects into groups (clusters). Data mining methods are widely used to solve a wide range of practical problems. Clustering can be applied to different kinds of data. In this paper we consider the clustering of networks built on graphs. To date, a large number of methods of splitting groups of objects into clusters are known, so the most common methods of graph analysis have been chosen. The aim of the study was to compare different methods of similarity measurement by their degree of modularity and to find the best among them. The analysis of existing algorithms, computational experiment and comparison of the obtained results were used as research methods. Research algorithms implemented in the environment of Rstudio. For the experiment, real graphs that are in the public domain were chosen. The analysis reveals the advantage of the algorithms of Louvain and Waltrip over the other investigated algorithms.

Ключевые слова: интеллектуальный анализ данных, кластерный анализ, графовые сети, алгоритмы кластеризации, модулярность.

Keywords: data mining, cluster analysis, graph networks, clustering algorithms, modularity.

1 Введение

Научно-технический прогресс изменил все сферы жизни современного человека, привнес в них использование новых информационных технологий, значительно упрощающих деятельность в различных областях. Одной из таких технологий является интеллектуальный анализ данных.

Data Mining это аналитический процесс, предназначенный для изучения наборов данных, включающий в себя множество различных задач анализа данных. Кластеризация является одной из основных задач интеллектуального анализа.

Кластеризация является фундаментальной задачей автоматической обработки больших наборов данных в широком спектре приложений. Объединение объектов в классы по какому-либо подобию является наиболее распространенным интуитивным инструментом для организации данных.

Сложность этой проблемы состоит в том, что там не определено понятие "группы" или кластера не ясно, как определить, насколько хороша группа. В зависимости от ситуации мы можем интересоваться разделением объектов в сообщества, под которым каждая вершина определена точно в единственном сообществе или желаемые группы, могут иметь пересечения. Таким образом, проблема объединения в кластеры может быть сформулировано во многих отношениях.

2 Постановка задачи

Целью проведения данного исследования было изучение особенностей и основных различий таких алгоритмов кластеризации, как Edge-betweenness, Louvain, Walktrap, Infomap и Springlass. Помимо изучения работы указанных методов с теоретической точки зрения важной задачей проведенной работы является их практическое сравнение с наглядным представлением результатов.

В качестве средств для реализации поставленных задач был выбран язык программирования R и интерфейс RStudio для удобной работы.

3 Разработка методики

3.1 Алгоритм Edge-betweenness

Существует много способов поиска групп в графах. Одним из основных методов разделения сети на сообщества является поиск и удаление ребер, лежащих между сообществами. В этом и заключается основная идея алгоритма кластеризации Edge-betweenness.

Работа данного алгоритма заключается в нахождении сообществ заданной сети с максимальным значением модулярности. Алгоритм пытается найти сообщества сети с максимальным значением модулярности. Мера модулярности основана на формуле:

$$Q = \sum_{i=0}^m (e_{ii} - a_i^2),$$

где m это количество обнаруженных сообществ в сети, e_{ii} представляет количество ребер в графе, которые соединяют узлы в сообществе i , а a_i представляет собой количество ребер, которые соединяют два узла в данном сообществе. Алгоритм Edge-betweenness выполняет поиск групп в исходном наборе данных, представленном в виде графа, с наибольшим значением модулярности путем удаления ребер с большой важностью в сети. Рассмотрим работу алгоритма подробнее.

Пусть x и y две вершины в исходном графе, а $\sigma_{x,y}$ - общее число кратчайших путей между данными вершинами. Помимо этого, задана вершина v , которая находится на b кратчайших путей между изначальными вершинами. Из всех путей между x и y некоторые проходят через вершину v , а другие имеют альтернативный путь. Тогда число кратчайших путей из вершины x в вершину y обозначим как $\sigma_{x,y}(v)$. В итоге мы получаем формулу (1), которая описывает влияние вершины z на сообщество, возникающее в вершине x .

$$\sigma(v) = \sum_{y \in V | x \neq y} \frac{\sigma_{x,y}(v)}{\sigma_{x,y}}, \quad (1)$$

где $\sigma(v)$ это количество кратчайших путей, начинающихся в вершине x и следующих в v . Мера центральности вершины $v \in V$ представляет собой влияние, которое v оказывает на связь между всеми парами вершин.

3.2. Алгоритм Louvain

Louvain это один из наиболее эффективных алгоритмов максимизации модулярности, способный обрабатывать большой разреженный набор данных. Основная идея данного метода заключается в выполнении двух этапов:

1. Происходит локальная максимизация модулярности путем последовательного перемещения каждого узла к соседним сообществам. При этом для каждого узла анализируется изменение модулярности. Узел перемещается в то сообщество, где коэффициент модулярности максимален. Данный этап повторяется пока для каждого из узлов не будет найдено улучшение модулярности.
2. Объединение всех узлов одного и того же сообщества и построение нового графа, узлы которого являются сообществами из первого этапа.

После выполнения описанных этапов алгоритм применяется к новой сети. Первый этап останавливается при достижении локального максимума.

Коэффициент усиления модулярности ΔQ , полученный в результате перемещения изолированного узла i в сообщество C_j вычисляется по формуле:

$$\Delta Q = \left[\frac{\Sigma_{C_j, C_j} + \Sigma_{i, C_j}}{2m} - \left(\frac{\Sigma_{C_j} + \Sigma_i}{2m} \right)^2 \right] - \left[\frac{\Sigma_{C_j, C_j}}{2m} - \left(\frac{\Sigma_{C_j}}{2m} \right)^2 - \left(\frac{\Sigma_i}{2m} \right)^2 \right] = \frac{\Sigma_{i, C_j}}{2m} - \frac{\Sigma_{C_j} \Sigma_i}{2m},$$

где Σ_{C_j, C_j} представляет собой сумму весов ребер внутри сообщества C_j , Σ_{C_j} сумма весов ребер, инцидентных узлам в C_j , Σ_i это сумму весов ребер инцидентных узлу i , Σ_{i, C_j} - сумма весов ребер от узла i до узлов в C_j , а m - сумма весов всех ребер в сети.

Описанный алгоритм работает довольно эффективно на большом количестве данных, но на графиках с миллиардами ребер его работа занимает довольно много времени.

3.3 Алгоритм Walktrap

Данный алгоритм использует иерархический агломерационный метод обнаружения сообществ. Здесь расстояние между двумя узлами определяется в терминах процесса случайного блуждания. Основная идея состоит в том, что если два узла находятся в одном и

том же сообществе, вероятность попасть в третий узел k , расположенный в том же сообществе, через случайное блуждание не должна сильно отличаться для i и j . Расстояние строится путем суммирования этих различий по всем узлам с поправкой на степень.

Работа метода Waiktrap заключается в нахождении матрицы перехода процесса случайных блужданий, через которую можно получить вероятность следования из вершины i в вершину j как $(P^t)_{ij}$. Обозначив через d степень вершины, можем на вершинах ввести следующую метрику:

$$r(i, j) = \sqrt{\sum_{n=1}^N \frac{(P_{in}^2 - P_{jn}^2)^2}{d_n}}.$$

3.4 Алгоритм Infomar

Метод кластеризации Infomar применяется для измерения качества кластеризации путем оценки длины кода для путей графа через которые пройдет путник. Данный метод использует вероятностный поток случайных блужданий. В отличие от метода максимизации модулярности, рассмотренного в алгоритме Louvaine, фундаментальный подход кластеризации Infomar заключается в использовании потоков на графике.

Чтобы разделить заданную сеть на подгруппы, во-первых, каждое сообщество должно быть закодировано в соответствии с уровнем сообщества, а затем в каждом из них узлы будут закодированы на основе уровня узла. Объединяя эти два шага, кодирование одного узла подтверждается кодированием сообщества и кодированием узлов. Таким образом, проблема обнаружения сообщества сводится к проблеме сжатия кодирования. При оптимизации целевой функции алгоритм будет разделять узлы, которые тесно связаны друг с другом в одно и то же сообщество, поскольку целевая функция - это общая длина кодирования путей случайного блуждания. В этом случае лучший способ обнаружения сообщества получит максимальный объем сжатия кодирования.

Работа алгоритма выполняется с использованием следующей формулы:

$$Q(C) = \sum_{c \in C} \widehat{w}_c \log(\widehat{v}_c) \quad (2)$$

Объем $v_c = \sum_{i \in C} S_i = \sum_{i \in C} \sum_{j \in V} a_{ij}$ кластера C представляет собой сумму ребер a_{ij} , инцидентных данному узлу. Внутренний вес $w_c = \sum_{i, j \in C} a_{ij}$ является суммой всех весов кромок внутри кластера. Нормализованный вес $\widehat{w}_c = w_c / M$ и нормализованный объем $\widehat{v}_c = v_c / M$ кластера C используются для вычисления фактического значения.

Уравнение (2) состоит из суммы значений, характерным для каждого кластера, поэтому вычислить коэффициент усиления перемещения узла довольно легко, достаточно просто вычислить новые значения для кластера, из которого был удален узел, и кластера, в который он был перемещен.

В настоящее время Infomar считается одним из наиболее оптимальных алгоритмов обнаружения сообщества, но недостатком является то, что вычислимая сложность данного алгоритма высока.

3.5 Алгоритм Spinglass

Подход данного алгоритма основывается на такой идее поиска сообществ в сети как «нахождение основного состояния стеклянного вращения бесконечного диапазона». Стандартное состояние рассматривается как минимальная энергия или максимальная модульная конфигурация сообщества, и с ним же связаны некоторые характеристики, определяющие сообщество. Функцией алгоритмы Spinglas отличающей его от других является возможность определять, включает ли сообщество определенную вершину, при этом не находя другие сообщества. Данный метод может работать с ориентированными графами, но направления игнорируются, а при расчете берутся во внимание веса дуг.

Работа данного метода можно описать следующим образом. Пусть структура сообщества представлена спиновой конфигурацией $\{\sigma\}$. Каждое состояние спина представляет собой сообщество, а число спиновых состояний представляет собой количество сообществ графа. Таким образом, качество структуры сообщества можно представить через энергию спинового стекла. Упрощенный гамильтониан для измерения качества структуры сообщества:

$$\mathcal{H}(\{\sigma\}) = -\sum_{i \neq j} (A_{ij} - \gamma p_{ij}) \delta(\sigma_i, \sigma_j),$$

где $(A_{ij} - \gamma p_{ij})$ представляет собой связь между узлами i и j , а σ_i и σ_j обозначаются состояния данных узлов.

4 Результаты

Экспериментальное исследование работы описанных ранее алгоритмов производилось в среде RStudio. Для исследования были выбраны реальные графы, находящиеся в открытом доступе, для возможности сравнения полученных результатов кластеризации с уже существующими. Основные характеристики данных сетей приведены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики тестируемых графов

Граф	Кол-во вершин	Кол-во ребер	Плотность
Bali	17	63	0,4632353
Kapferer	39	158	0.2132254
Kapferer2	43	190	0.2104097
DHHS	54	447	0.312369
Moreno	33	46	0.08712121
PowerGrid	42	87	0.1010453
middleschool	37	179	0.1343844
ICTS_G10	493	1359	0.01120566
lhds	1283	2709	0.00329279

Графы намеренно были выбраны связные и не связные, что бы яснее проявились различия между используемыми алгоритмами кластеризации.

Одной из важных характеристик структуры сети является модулярность. Она описывает степень кластеризации узлов, когда внутри кластера много узлов, а между кластерами их

плотность низкая. В таблице 2 представлены значения модулярности полученные в результате кластеризации заданных сетей выбранными алгоритмами.

Таблица 2. Значения модулярности.

Граф	Edge-betweenness	Louvain	Walktrap	Infomap	Spinglass
Bali	0.2387251	0.2966742	0.2830688	0.2387251	0.2966742
Kapferer	0.2311729	0.3189994	0.2650216	0	0.3214829
Kapferer2	0.228518	0.3174377	0.3003047	0	0.3174377
DHNS	0.03580419	0.2091948	0.1653754	0	0.2107888
Moreno	0.6216919	0.629017	0.6181475	0.6285444	-
PowerGrid	0.4935262	0.4933941	0.5164487	0.5323028	0.5357379
ICTS_G10	0.6361758	0.6661921	0.625941	0.629517	-
lhds	0.914037	0.9115014	0.8957571	0.8502922	-

Таблица 3. Количество выделенных подгрупп.

Граф	Edge-betweenness	Louvain	Walktrap	Infomap	Spinglass
Bali	2	3	3	2	3
Kapferer	12	3	7	1	3
Kapferer2	9	3	5	1	4
DHNS	33	3	5	1	4
Moreno	6	6	6	7	-
PowerGrid	5	5	6	5	5
ICTS_G10	141	124	141	151	-
lhds	79	97	119	178	-

5 Обсуждение

В результате проделанных вычислений мы получили множество разделений графов на подгруппы. На рисунке 1 представлено разбиение сети Bali исследуемыми алгоритмами на кластеры.

Анализируя полученные результаты можно сказать, что только алгоритм Spinglass не может обрабатывать несвязные графы. Анализируя данные из таблицы 3 можно разделить все исследуемые графы на хорошо поддающиеся кластеризации и графы с несколько худшими показателями. К примеру, на графах Bali и DHNS разбиение на кластеры выполнилось хуже, чем на графе Moreno. Более наглядно это можно увидеть на рисунке 2.

Из всех описанных алгоритмов наилучшие результаты в ходе исследования показали алгоритмы Louvain и Walktrap. В то же время алгоритм Infomap вовсе не провел никакой кластеризации трех из анализируемых сетей.

Также, нужно упомянуть метод Edge-betweenness, который показал хорошие результаты на всех графах кроме DHNS. Возможно причиной этому послужила структура данной сети, которая затрудняет его работу.

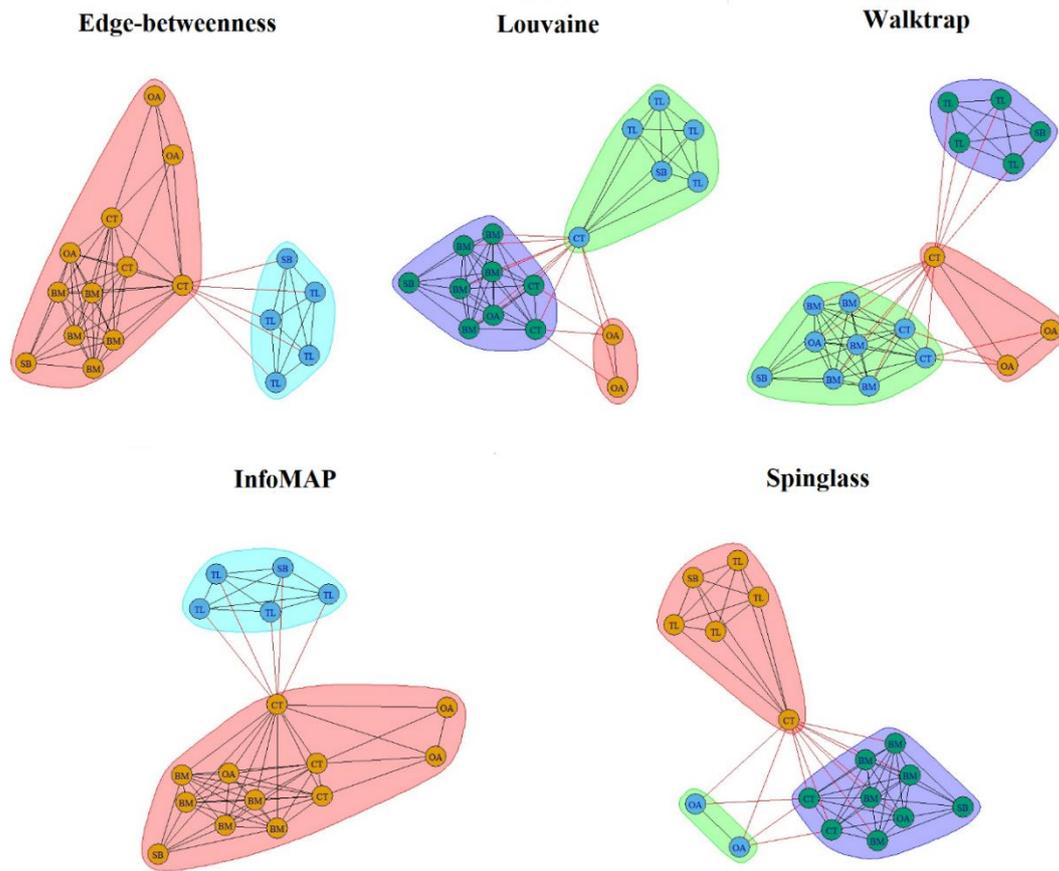


Рисунок 1. Разделение сети Bali на кластеры.

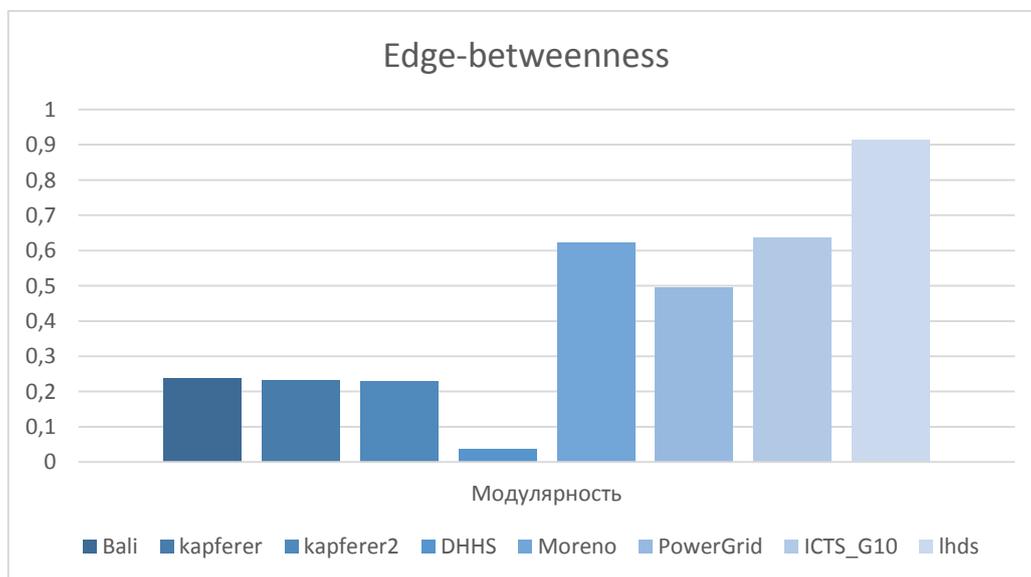


Рисунок 2. Диаграмма распределения модулярности для алгоритма Edge-betweenness. В целом большинство алгоритмов кластеризации справились с поставленной задачей и смогли разделить на сообщества, все выбранные нами графы.

6 Заключение

В данной статье были рассмотрены распространённые алгоритмы кластеризации сетей. Помимо исследования работы данных алгоритмов с теоретической точки зрения, мы изучили их работу в ходе экспериментального сравнения, которое было выполнено на реальных графах. Были проанализированы возможности алгоритмов по выявлению кластеров в графовых сетях и получены содержательные результаты.

Некоторые алгоритмы справились с поставленной задачей лучше других. Такими алгоритмами являются Louvain и Walktrap. Несколько хуже проявил себя алгоритм Edge-betweenness. Необходимо также отметить алгоритм Spinglass, хорошо справившийся с кластеризацией связных графов.

По результатам проведенного исследования можно сделать вывод о том, что алгоритм Edge-betweenness обладает большей трудоемкостью, что не позволяет использовать его для кластеризации графов с количеством ребер порядка 10^3 и вершин порядка 10^2 . Также хочется отметить, что работа алгоритма Spinglass в ходе проделанной работы была на порядок дольше, чем у других алгоритмов.

Считаем, что следует продолжить исследования данной проблемы, что обусловлено ее высокой значимостью.

7 Список используемой литературы

- [1] Дюк, В.А. Применение технологий интеллектуального анализа данных в естественнонаучных, технических и гуманитарных областях/ В. А. Дюк, А. В. Флегонтов, И. К. Фомина // Известия Российского государственного педагогического университета им. АИ Герцена.,2011 - № 138 - С. 77-84.
- [2] Славнов К.А. Анализ социальных графов: выпускная квалификационная работа// Московский гос. университет им. М. В. Ломоносова. - Москва, 2015,- с.14-16, 23-30.
- [3] Чернышова Г.Ю. Интеллектуальный анализ данных: Учебное пособие для студентов специальности 080801.65 «Прикладная информатика (в экономике)» направления подготовки 080500.62 «Бизнес-информатика» - Саратов, 2012.
- [4] Guha, S. CURE: an efficient clustering algorithm for large databases /S. Guha, R. Rastogi, K. Shim // Information Systems. - 2001 - V. 26, No. 1 - P. 35-58.
- [5] S. Fortunato. Community detection in graphs. Physics Reports (2010) Volume: 486, Issue: 3-5.
- [6] M.E.J. Newman and M. Girvan. Finding and evaluating community structure in networks // Physical Review E 69, 026113 (2004).
- [7] Erika Griechisch and András Pluhár. Community detection by using the extended modularity. Acta Cybernetica, - 2011.
- [8] Andrea Lancichinetti, Santo Fortunato, and Filippo Radicchi. Benchmark graphs for testing community detection algorithms. Physical review E, 78(4):046110, 2008.

- [9] Мартынов Н.Н., Хандарова О.В., Хандаров Ф.В. Кластеризация графов на основе оценок изменения модлярности// Известия Иркутского государственного университета, 2018. Т25. С. 63-78.
- [10] Рапаков Г.Г., Горбунов В.А. Экспериментальное сравнение методов анализа социальных сетей в задаче обнаружения сообществ. // Вестник ВГУ, серия: системный анализ и информационные технологии, №3// Вологодский государственный университет, 2017. С 94-103.

List of references

- [1] Duke, V. A. Application of data mining technology in scientific, technical and humanitarian fields/ *Izvestiya Rossiyskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. AI Gertsena*, 2011 - № 138. [Izvestia Russian state pedagogical University. AI Herzen., 2011 - № 138]. P.77-84. (In Russian)
- [2] Slavnov, K. A. (Russian: Russian). the analysis of social graphs: final qualifying work. *Moskovskiy gos. universitet im. M. V. Lomonosova*. - Moskva, 2015 [Moscow state University. M. V. Lomonosov. - Moscow, 2015]. - P. 14-30. (In Russian)
- [3] G. Chernyshova. Data Mining/ *Uchebnoye posobiye dlya studentov spetsial'nosti 080801.65 «Prikladnaya informatika (v ekonomike)» napravleniya podgotovki 080500.62 «Biznes-informatika» - Saratov, 2012*. [Textbook for students of the specialty 080801.65 "Applied Informatics (in Economics)" areas of training 080500.62 "Business Informatics"-Saratov, 2012]. (In Russian)
- [4] Guha, S. CURE: an efficient clustering algorithm for large databases /S. Guha, R. Rastogi, K. Shim // *Information Systems*. - 2001 - V. 26, No. 1 - P. 35-58.
- [5] S. Fortunato. Community detection in graphs. *Physics Reports* (2010) Volume: 486, Issue: 3-5.
- [6] M.E.J. Newman and M. Girvan. Finding and evaluating community structure in networks // *Physical Review E* 69, 026113 (2004).
- [7] Erika Griechisch and András Pluhár. Community detection by using the extended modularity. *Acta Cybernetica*, - 2011.
- [8] Andrea Lancichinetti, Santo Fortunato, and Filippo Radicchi. Benchmark graphs for testing community detection algorithms. *Physical review E*, 78(4):046110, 2008.
- [9] Martynov N. N., Jandarova O. V., F. V. Hontarov Clustering of graphs based on the assessments of changes of modernisti// *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2018. T25. [News of Irkutsk state University, 2018. T25]. P. 63-78. (In Russian)
- [10] Rubakov G. G., Gorbunov V. A. Experimental comparison of methods of social network analysis in the problem of detecting communities. *Vestnik VGU, seriya: sistemnyy analiz i informatsionnyye tekhnologii, №3// Vologodskiy gosudarstvennyy universitet, 2017* [Bulletin of VSU, series: system analysis and information technologies, №3//Vologda state University, 2017]. P. 94-103. (In Russian)

КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАНА КООГУЛЯТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИИ ГЛАЗНОГО ДНА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕЧЕНИЯ ДИАБЕТИЧЕСКОЙ РЕТИНОПАТИИ

Широканев А.С.^{1,2}
alexandrshirokanev@
gmail.com

Ильясова Н.Ю.^{1,2}
ilyasova@smr.ru

Золотарев А.В.³
undue_@mail.ru

Казанский Н.Л.^{1,2}
kazanskiy@ssau.ru

Ильясова Н.Ю.^{1,2}
д.т.н, доцент
ilyasova@smr.ru

¹ Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева,
г. Самара, 443086, Россия

² Институт систем обработки изображений РАН -

филиал ФНИЦ «кристаллография и фотоника» РАН, г. Самара, 443001, Россия

³ Самарский государственный медицинский университет, г. Самара, 443099, Россия

Аннотация

Диабетическая ретинопатия – часто встречающееся заболевание глазного дна у больных сахарным диабетом. Главным инструментом лечения диабетической ретинопатии является лазерная коагуляция, в ходе которой происходит нанесение серии дозированных микроожогов – лазерокоагулятов, в зоне отёка на сетчатке. Существующие в настоящее время системы ориентированы в первую очередь на использование заданного шаблона (паттерна) для формирования плана коагулятов. Следствием применения шаблонов становится неравномерность расстановки коагулятов по причине высокой вариабельности форм отёка и сосудистого русла. В настоящей работе предлагается компьютерная система автоматического формирования плана коагулятов на изображение глазного дна. Данную систему планируется использовать для более эффективного проведения лазерной

коагуляции. Результаты исследования показали, что эффективность заполнения коагулятами области интереса может быть увеличена на 44% по сравнению с шаблонным заполнением коагулятов.

Abstract

Diabetic retinopathy is a common ocular fundus disease has patients with diabetes. The main tool for the treatment of diabetic retinopathy is laser coagulation. A series of dosed microbirds is applied in the area of edema on the retina. The currently existing systems are focused primarily on applying of a given pattern (pattern) to form a coagulate plan. However, due to the complex form of edema and vascular bed, this approach leads to an uneven arrangement. This paper proposes a computer system for automatically forming a coagulate plan on the fundus image. This system will be used to carry out laser coagulation more efficiently. The results of presented study showed that the efficiency of auto filling of coagulates of the region of interest (ROI) can be increased by 44% compared with the template filling of coagulates.

Ключевые слова: глазное дно, диабетическая ретинопатия, коагулят, плотная упаковка шаров, критерий качества, область интереса, сегментация изображения, текстурные признаки.

Keywords: fundus, diabetic retinopathy, coagulum, sphere close-packing, quality criterion, region of interest, image segmentation, textural features.

1 Введение

Сахарный диабет является причиной многочисленных осложнений глаза. Одним из часто встречающихся осложнений сахарного диабета является диабетическая ретинопатия (ДРП). При ДРП поражаются все отделы сетчатки глаза, но именно изменения в центральных отделах в виде диабетического макулярного отёка приводят к наиболее быстрому и необратимому снижению зрения. Эффективное лечение ДРП осуществляется при своевременной диагностике заболевания. Точная и ранняя диагностика и правильное применение лечения может предотвратить слепоту в более чем 50% всех случаев [1]. Развитие ДРП приводит к необратимым последствиям, а лечение данного заболевания со временем становится всё более затруднительным [2,3].

Главным инструментом лечения диабетического макулярного отёка на сегодняшний день является лазеркоагуляция макулярной зоны сетчатки [1,2]. Процедура лазерного лечения представляет собой нанесение серии дозированных микроожогов – лазеркоагулятов, в зоне отёка на сетчатке. Наложение коагулятов происходит либо по одному, либо серией коагулятов [1,4], расположенных в виде заданной фигуры правильной формы – паттерна, либо с предварительным планированием расположения коагулятов с последующим наложением полученного плана на изображение сетчатки в режиме реального времени.

На рис. 1 представлены 2 основных варианта заполнения коагулятами глазного дна: поточечное и квадратными паттернами. На практике врачи обычно вручную заполняют область интереса маленькими паттернами коагулятов или расставляют коагуляты по одному. Вследствие сложности проведения данной процедуры ручную лечение диабетической ретинопатии является недостаточно эффективным.

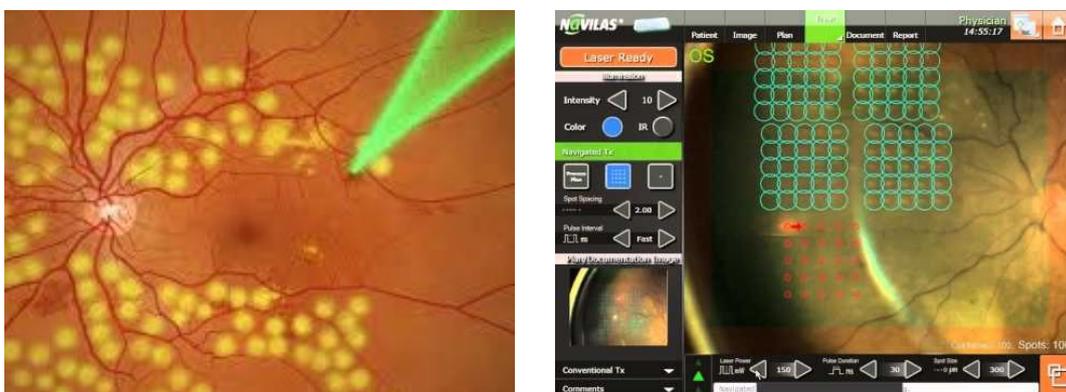


Рисунок 1. Способы формирования плана коагулятов: поточечное и шаблонное.

Предпочтительным считается оптимальное расположение коагулятов, то есть когда коагуляты находятся на максимально равных друг от друга расстояниях в зоне отёка с учётом исключения попадания их на сосуды, зрительный диск, зону макулы, экссудаты и слепое пятно. Нанесение коагулятов с предварительным планированием производится под контролем автоматической системы позиционирования луча лазера, что позволяет осуществлять лечение с высокой точностью. Основная проблема процедуры коагуляции заключается в необходимости ручного задания карты коагулятов. Указанный недостаток негативно влияет на качество проводимой терапии вследствие неоптимальности расстановки коагулятов или даже случайного попадания в запретную область глазного дна (зона макулы). Причиной тому может быть, как неопытность врача, так и нежелательное движение глаза пациента во время процедуры. Кроме того, ручная расстановка коагулятов значительно увеличивает длительность проведения операции.

Существующие в настоящее время программные пакеты ориентированы в первую очередь на использование заданного шаблона (паттерна) для расстановки коагулятов [1,4,5,6]. В результате, качество заполнения коагулятами области отёка приносится в жертву скорости выполнения операции. Следствием применения шаблонов становится

неравномерность расстановки коагулятов по причине высокой вариабельности форм отёка и сосудистого русла. Таким образом, задача оптимальной расстановки коагулятов при условии минимального времени выполнения алгоритма до сих пор является актуальной.

2 Постановка задачи автоматического формирования плана коагулятов на изображении глазного дна

Для автоматического формирования плана коагулятов на изображении глазного дна на первом этапе необходимо выделить объекты исходного изображения, то есть произвести сегментацию изображения. Результаты исследований показали, что для сегментации изображения глазного дна наиболее эффективными являются текстурные признаки [7].

Задача сегментации включает 2 этапа:

1. вычисление текстурных признаков;
2. классификация.

Первый этап выражается в виде вычисления вектора признаков для каждого пикселя, вокруг которого строится окрестность заданного радиуса. В результате осуществления первого этапа формируется набор векторов признаков. На втором этапе по сформированному набору производится классификация. Будем использовать алгоритм k-means.

Результат сегментации преобразовывается в изображение с выделенной областью интереса, в которую будут расставлены коагуляты. Одним из решений расстановки коагулятов является плотная упаковка шаров [8-11]. Алгоритмы плотной упаковки шаров обладают чрезмерно высокой вычислительной сложностью. Необходимо применять методы, позволяющие с достаточной эффективностью заполнять область интереса, но при этом обладающие не высокой вычислительной сложностью.

3 Разработка системы автоматического формирования плана коагулятов на изображении глазного дна

Компьютерная система будет подсказывать врачу как проводить операцию, то есть как наносить коагуляты на глазное дно. Система включает 2 основных этапа:

1. выделение области интереса на основе сегментации;
2. заполнение области интереса коагулятами.

Выделение области интереса будет осуществляться на основе сегментации изображения. На изображении глазного дна выделяются 4 основных объекта: тонкие сосуды, толстые сосуды, экссудаты и фон. Лазер не должен попадать в зону сосудов и экссудатов. Области, соответствующие этим классам, необходимо исключить из разрешённой области, в которую может попадать лазер.

На рис. 2 представлен результат сегментации изображения глазного дна. На рис. 1б видно чёткое выделение сосудов и экссудатов в результате сегментации. Алгоритм сегментации обычно зрительный диск воспринимает за экссудат, поскольку зрительный диск имеет желтоватый цвет и кругловатую форму, как и экссудаты. Зрительный диск и слепое

пятно обычно выделяются другими методами [12]. В таком случае сегментация проводится не по всему изображению, а по области за вычетом выделенных областей.

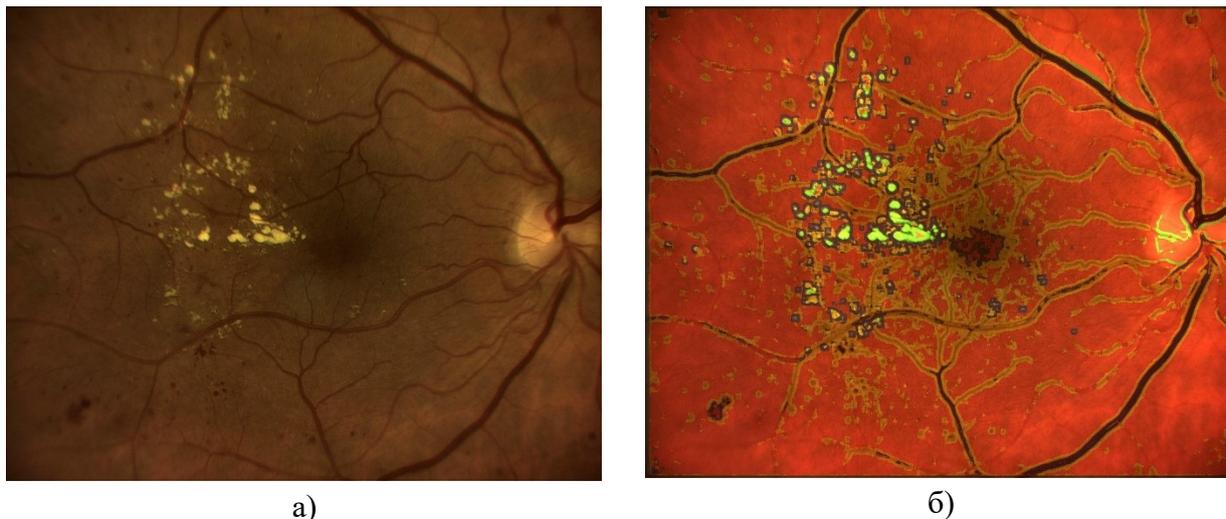


Рисунок 2. Сегментация изображения глазного дна: а) исходное изображение; б) результат сегментации исходного изображения.

Для повышения эффективности метода сегментации предлагается проводить анализ пространства признаков. Схематически процедура отбора эффективных текстурных признаков представлена на рис. 3. Система, представленная на рис. 3, позволяет выбирать наиболее информативное цветовое подпространство, выбирать оптимальные параметры классификации и отбирать наиболее информативные признаки. Математически данную систему можно представить в виде задачи оптимизации ошибки кластеризации по параметрам системы. Оптимальные параметры будут использоваться непосредственно для сегментации изображений.

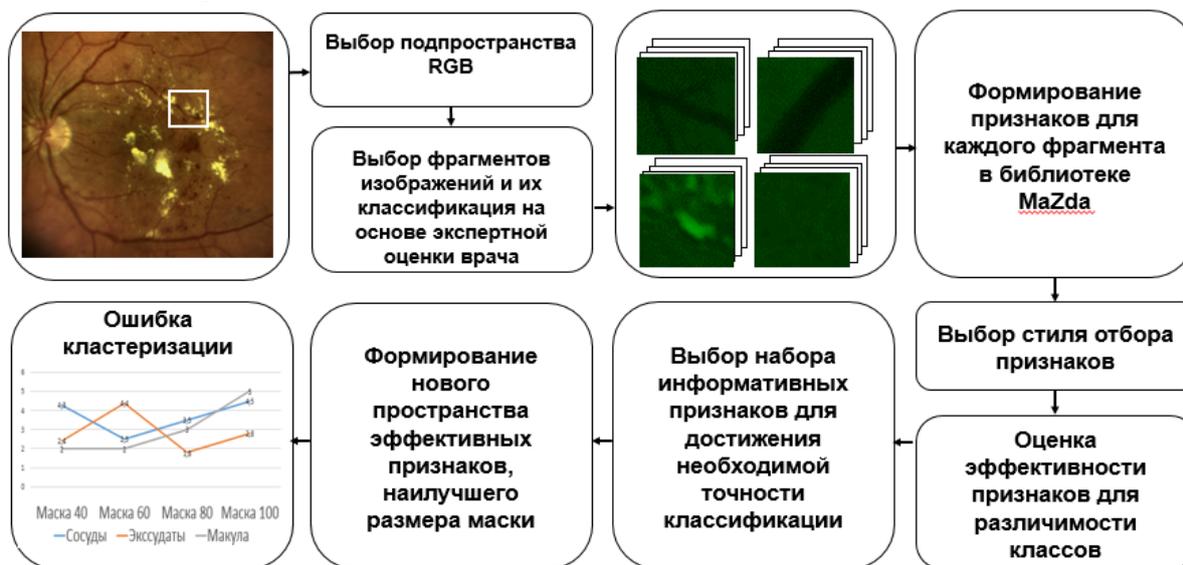


Рисунок 3. Система отбора информативных признаков для сегментации изображений глазного дна.

После сегментации на изображении выделяется область интереса, в которую будут расставляться коагуляты. В работе [13] были предложены 7 алгоритмов расстановки коагулятов в заданную область интереса, различающимися формируемыми картами коагулятов: квадратная, гексагональная, волновая, упорядоченная, граничная, адаптивно граничная, случайная. Квадратная карта является близким аналогом заполнения области интереса коагулятами на основе квадратных паттернов. Адаптивно-граничная карта обладает высокой вычислительной сложностью. Самой низкой вычислительной сложностью обладает упорядоченная карта [13]. Программная система позволяет в интерактивном режиме выбирать нужный алгоритм расстановки коагулятов из предложенных 7.

На рис. 4 представлен интерфейс программного комплекса, обеспечивающий автоматическое формирование карты коагулятов на изображении глазного дна. Программный комплекс позволяет учитывать данные ОКТ сетчатки пациента и на основе этих данных выделять область интереса, в которую затем расставляются коагуляты.

Система будет интегрироваться с технологией дополненной реальности, чтобы помочь врачу эффективно осуществлять операцию.

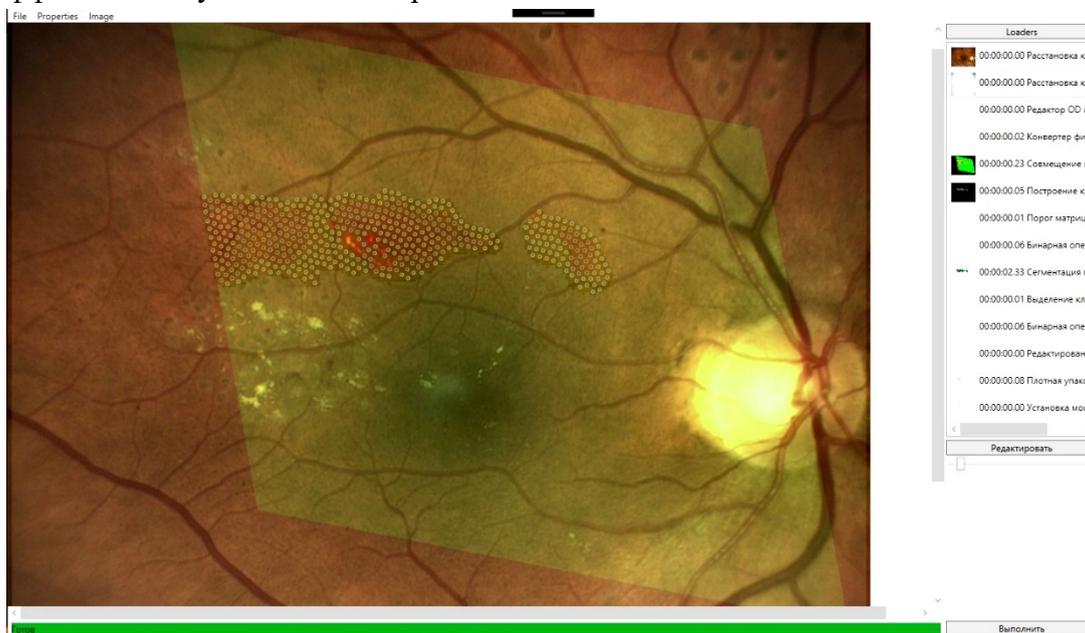


Рисунок 4. Интерфейс программного комплекса для автоматического формирования плана коагулятов.

4 Экспериментальное исследование метода формирования плана коагулятов на изображении глазного дна

Эффективность лечения зависит от точности сегментации и плотности и формы заполнения коагулятами области интереса. Алгоритм сегментации обеспечивает достаточную точность для изображений глазного дна хорошего качества. При этом программный комплекс позволяет корректировать вычисленную область. Визуально можно добиться максимальной эффективности выделения области интереса.

Сложнее вручную расставлять коагуляты в сформированную область. Расстановка коагулятов должна обеспечивать максимальное покрытие области интереса. Рассмотрим основные критерии качества алгоритма расстановки коагулятов: количество сформированных коагулятов, дисперсия; а также основной критерий упорядоченности плана коагулятов: медиана (табл. 1).

Таблица 1. Критерии качества для различных карт коагулятов.

Карта	Дисперсия	Медиана	Количество
Случайная	6,32	31,62	223
Квадратная	6,09	30,00	220
Гексагональная	7,68	30,00	248
Волновая	0,95	30,08	311
Граничная	0,90	30,08	305
Адаптивная граничная	0,70	30,07	315
Упорядоченная	0,19	30,08	312

По критерию «количество упакованных коагулятов» наилучшим является адаптивно граничная карта. Однако наименьшей дисперсией обладает упорядоченная карта, которая обладает самой низкой вычислительной сложностью, а по количеству упакованных шаров не сильно отстаёт от адаптивной граничной карты. По критерию «медиана» определяется степень упорядоченности карт коагулятов, сформированных предложенными алгоритмами. Наиболее упорядоченными оказались квадратная и гексагональная карта. Данные алгоритмы представляют собой способ заполнения области интереса на основе подбора регулярной сетки, в узлах которых размещаются коагуляты. Используемая сетка образует упорядоченность расставленных коагулятов.

По сравнению с квадратной картой упорядоченная карта увеличивает эффективность заполнения по критерию «количество упакованных шаров» на 42%, адаптивно-граничная на 44%; по критерию «дисперсия» упорядоченная карта эффективнее в 32 раза, адаптивно-граничная в 9 раз.

5 Обсуждение

На мировом рынке в решении задачи эффективного лечения диабетической ретинопатии на основе лазерной коагуляции лидирует система NAVILAS, которая предполагает ручное формирование плана коагулятов на изображение глазного дна. По данному плану на следующем этапе производится лазерная коагуляция, но лазер наводится автоматически.

Несмотря на сложность современной системы эффективность лечения не является достаточной: после операции больше половины пациентов возвращается на повторную операцию в связи с возникшими деформациями на сетчатке. Нарушения возникают вследствие недостаточно эффективного формирования плана коагулятов. При ручном заполнении план коагулятов не может быть плотным на достаточном уровне. Предлагаемая система ориентирована на устранение данного недостатка. Использование самого простого

алгоритма заполнения коагулятов уже может привести к существенному повышению эффективности лечения диабетической ретинопатии, что позволит значительно сократить количество повторных операций.

Проведённый анализ предложенных методов формирования плана коагулятов показал, что простейший алгоритм позволяет повысить плотность заполнения коагулятами уже на 42%. В 32 раза сокращается дисперсия, являющаяся ключевой характеристикой для врачей. При внедрении данной методики в применение и интеграции с дешёвой системой по сравнению с системой NAVILAS удастся снизить количество повторных операций более чем на 20%.

6 Заключение

Была разработана компьютерная система, ориентированная на повышение эффективности лечения диабетической ретинопатии. Эффективной системы зависит от эффективности двух, включенных в систему, ключевых этапов: сегментация и расстановка коагулятов. Были проанализированы разработанные алгоритмы заполнения коагулятами области интереса изображения глазного дна, предназначенные для повышения эффективности лазерной коагуляции.

Для врачей ключевым критерием эффективности является степень разброса расстояний между коагулятами – дисперсия. Вторым важным критерием качества является количество расставленных коагулятов. Наилучшую дисперсию демонстрирует алгоритм, основанный на упорядоченной карте: в 32 раза лучше шаблонного алгоритма (квадратная карта). Но по площади заполнения области коагулятами, напрямую зависящей от количества упакованных шаров, данный алгоритм уступает алгоритму, основанному на адаптивной граничной карте. По данному критерию упорядоченная карта на 42% эффективнее шаблонного алгоритма, а адаптивно-граничная карта – на 44%. В зависимости от исходного изображения глазного дна может быть выбран один из выделенных алгоритмов.

По критерию «медиана» выделены алгоритмы, основанные на квадратной и гексагональной картах, поскольку обладают наибольшей упорядоченностью. Несмотря на заинтересованность врачей в упорядоченных картах, данные алгоритмы обеспечивают низкую эффективность. Рекомендуемым является применение неупорядоченных алгоритмов.

7 Список используемой литературы

- [1] Замыцкий, Е.А. Лазерное лечение диабетического макулярного отека // Аспирантский вестник Поволжья. – Самара, 2015 - № 2 – 79 с.
- [2] Дога, А.В. Современные аспекты диагностики и лечения диабетического макулярного отека / А.В. Дога, Г.Ф. Качалина, Е.К. Педанова, Д.А. Буряков // ФГБУ Межотраслевой научно-технический комплекс «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова, Москва, 2014. – Т. 4. – С. 51-59.

- [3] Issa, P.C. Macular telangiectasia type 2 / P.C. Issa, M.C. Gilliesb, E.Y. Chewc, A.C. Birdd, Tjebo F.C. Heerena, T. Petod, F.G. Holza, Hendrik P.N. Scholl // *Progress in Retinal and Eye Research*, 2013. – V. 34. – P. 49–77.
- [4] Clarkson, D.McG. Determination of pulse profile characteristics of multi spot retinal photocoagulation lasers / D.McG. Clarkson, O. Makhzoumb, J. Blackburn // *Medical Engineering & Physics*, 2015. – V. 37, I. 10. – P. 1027–1031.
- [5] Syeda, A.M. Automated diagnosis of macular edema and central serous retinopathy through robust reconstruction of 3D retinal surfaces / A.M. Syeda, T. Hassanb, M.U. Akramc, S. Nazc, S. Khalid // *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 2016. – V. 137. – P. 1–10.
- [6] Chhablani, J. A novel navigated laser system brings new efficacy to the treatment of retinovascular disorders / J. Chhablani, I. Kozak, G. Barteselli, S. El-E. Oman // *Journal of Ophthalmology*, 2013. – V. 6, I. 1. – P. 18-22.
- [7] Piyasova N., Paringer R., Kupriyanov A. Regions of interest in a fundus image selection technique using the discriminative analysis methods, *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, V. 9972, pp. 408-417, 2016.
- [8] Galiev, S.I. Linear models for the approximate solution of the problem of packing equal circles into a given domain [Text] / S.I. Galiev, M.S. Lisafina // *European Journal of Operational Research*, 2013. – V. 230. – P. 505–514.
- [9] Казаков, А.Л. Алгоритмы построения оптимальных упаковок для компактных множеств на плоскости [Текст] / А.Л. Казаков, П.Д. Лебедев // *Вычислительные методы и программирование*, 2015. – Т. 16. – С. 307–317.
- [10] Казаков, А.Л. Об одном алгоритме построения упаковки конгруэнтных кругов в неодносвязное множество с неевклидовой метрикой [Текст] / А.Л. Казаков, А.А. Лемперт, Г.Л. Нгуен // *Вычислительные методы и программирование*, 2016. – Т. 17. – С. 177–188.
- [11] Яськов, Г.Н. Метод решения задачи упаковки разных кругов с выбором перспективных начальных точек [Текст] / Г.Н. Яськов // *Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины*. – С. 119–122.
- [12] Zhang, X. Exudate detection in color retinal images for mass screening of diabetic retinopathy [Text] / X. Zhang, G. Thibault, E. Decencière, B. Marcotegui, B. Laÿ, R. Danno, G. Cazuguel, G. Quellec, M. Lamard, P. Massin, A. Chabouis, Z. Victor, A. Erginay // *Medical Image Analysis*, 2015. – V. 18, Iss. 7. – P. 1026–1043.
- [13] Широканев, А.С. Исследование алгоритмов расстановки коагулятов на изображении глазного дна / А.С. Широканев, Д.В. Кириш, Н.Ю. Ильясова, А.В. Куприянов // *Компьютерная оптика*. – 2018. – Т. 42, № 4. – С. 712-721. – DOI: 10.18287/2412-6179-2018-42-4-712-721.

8 List of references

- [1] Zamyckij E.A. Laser treatment of diabetic macular edema. *Postgraduate Vestnik Volga* 2015; № 2: 79.
- [2] Doga A.V., Kachalina G.F., Pedanova E.K., Buryakov D.A. Modern diagnostic and treatment aspects of diabetic macular edema. *Ophthalmology, Diabetes* 2014; No.4: 51-59. DOI: 10.14341/DM2014451-59.
- [3] Issa, P.C. Macular telangiectasia type 2 / P.C. Issa, M.C. Gilliesb, E.Y. Chewc, A.C. Birdd, Tjebo F.C. Heerena, T. Petod, F.G. Holza, Hendrik P.N. Scholl // *Progress in Retinal and Eye Research*, 2013. – V. 34. – P. 49–77.
- [4] Clarkson, D.McG. Determination of pulse profile characteristics of multi spot retinal photocoagulation lasers / D.McG. Clarkson, O. Makhzoumb, J. Blackburn // *Medical Engineering & Physics*, 2015. – V. 37, I. 10. – P. 1027–1031.
- [5] Syeda, A.M. Automated diagnosis of macular edema and central serous retinopathy through robust reconstruction of 3D retinal surfaces / A.M. Syeda, T. Hassanb, M.U. Akramc, S. Nazc, S. Khalid // *Computer Methods and Pro-grams in Biomedicine*, 2016. – V. 137. – P. 1–10.
- [6] Chhablani, J. A novel navigated laser system brings new e_cacy to the treatment of retinovascular disorders / J. Chhablani, I. Kozak, G. Barteselli, S. El-E. Oman // *Journal of Ophthalmology*, 2013. – V. 6, I. 1. – P. 18-22.
- [7] Ilyasova N., Paringer R., Kupriyanov A. Regions of interest in a fundus image selection technique using the discriminative analysis methods, *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, V. 9972, pp. 408-417, 2016.
- [8] Galiev, S.I. Linear models for the approximate solution of the problem of packing equal circles into a given domain [Text] / S.I. Galiev, M.S. Lisafina // *European Journal of Operational Research*, 2013. – V. 230. – P. 505–514.
- [9] Kazakov A.L., Lebedev P.D. Algorithms of Optimal Packing Construction for Planar Compact Sets. *Computational methods and programming* 2015; 16: 307–317.
- [10] Kazakov A.L., Lempert A.A., Nguyen H.L. An Algorithm of Packing Congruent Circles in a Multiply Connected Set with Non-Euclidean Metrics. *Computational methods and programming* 2016; 17: 177–188. DOI: 10.18287/0134-2452-2015-39-5-787-94.
- [11] Yas'kov G.N. Method of decision of task of packing of different circles with choice of perspective initial points. *The A.N. Podgorny Institute for Mechanical Engineering Problems of the National Academy of Sciences of Ukraine*: 119–122.
- [12] Zhang, X. Exudate detection in color retinal images for mass screening of diabetic retinopathy [Text] / X. Zhang, G. Thibault, E. Decencière, B. Marcotegui, B. Laÿ, R. Danno, G. Cazuguel, G. Quelled, M. Lamard, P. Massin, A. Chabouis, Z. Victor, A. Erginay // *Medical Image Analysis*, 2015. – V. 18, Iss. 7. – P. 1026–1043.
- [13] Shirokanev AS, Kirsh DV, Ilyasova NYu, Kupriyanov AV. Investigation of coagulate arrangement algorithms on fundus images. *Computer Optics* 2018; 42(4): 712-721. DOI: 10.18287/2412-6179-2018-42-4-712-721.

СЕКЦИЯ 2.
**«ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ»**

IN THE QUESTION OF DELAYS REDUCTION IN COMPUTERS NETWORKS WITH APPLICATION OF THE RESIDUE NUMBER SYSTEM

D.H. Bikbaev
isgraddamir@mail.ru

V.V. Grankin
vta0@yandex.ru

G.I. Linets
Ph.D., professor
vta0@yandex.ru

North-Caucasus Federal University, Stavropol, 355009, Russian Federation

Аннотация

Проблема нехватки пропускной способности, а также больших задержек в вычислительных сетях типа Ethernet с применением существующих протоколов таких как tcp/ip в настоящее время является актуальной в связи с увеличивающейся степенью информатизации всех сфер человеческой деятельности. Растут объемы передаваемых данных, увеличивается нагрузка на коммутаторы и маршрутизаторы, существующая задержка передачи пакетов становится значительной и не удовлетворяющей настоящие потребности практики. Значительно растет кумулятивная задержка с увеличением числа элементов веб страниц, веб сервисов, веб приложений, что приводит к снижению эффективной пропускной способности сети и соответствующего снижению скорости работы веб сервисов, веб приложений. В данной статье сделана попытка анализа приложения научно-методического аппарата модулярной арифметики к задаче снижения задержек маршрутизации вычислительных сетей. Сделан вывод о целесообразности применения системы остаточных классов.

Abstract

The lack of bandwidth and large delays in computer networks such as Ethernet via protocols such as TCP / IP is an actual problem due to the increasing degree of informatization in all spheres of human activity. Nowadays volumes of transmitted data grows and switches and routers load increases. Packet transmission delays becomes significant and does not satisfy the actual needs in practice because of increasing in cumulative delays. Increasing in numbers of elements in web pages, web services, web applications, which leads to a decreasing in effective network bandwidth and a corresponding decreasing in web services and web applications responding. In this paper, we attempts to analyze application of the theory of the residue number system to the problem of delays reducing in problem of the computer networks routing. The conclusion drawn about the expediency using of the residue number system.

Ключевые слова: Система остаточных классов, СОК, модулярная система счисления, вычислительные сети, задержка, маршрутизация, ПЛИС, FPGA.

Keywords: Residue number system, RNS, modular arithmetic, computer networks, delays, routing, FPGA.

1 Introduction

Nowadays, packet-switched networks are widely used, in which devices named routers are used to determine of data transmission route. Known routing algorithms do not always provide the desired performance: packet delay, transmission rate, cost, reliability. Route selection, in turn, includes two tasks: determining the route and notifying the network about the selected route [1]. The message routing procedure includes rules for selecting a set of nodes through which a message passes through the network to a recipient. The route selection procedure is determined by an algorithm with following parameters: the place of origin and destination of the message, the priority of messages, the possibility of using certain channels, their overload or rejection of them. Four routing strategies are possible:

- the choice of a single path by the criterion of the minimum estimate of the path;
- the use of one or more routes with the same estimates, which are minimal for a given network;
- distribution of packets on possible routes between a given pair of nodes with a probability inversely proportional to the length of the selected route;
- distribution of data packets along the shortest routes with a probability inversely proportional to the length of the route.

This problem requires the search for new methods associated with the use of non-traditional number systems and arithmetic for representing and processing numbers. One of such arithmetic is modular arithmetic. Currently, in numerous studies, modular arithmetic has been used as a means of increasing speed in digital signal processing, cryptography, neural networks, and other fields. The modular number system is inherent in the possibility of deep parallelization of computations, the absence of information exchanges in the computation process. The disadvantages of this system are the difficulty of comparing, dividing, rounding numbers. The study of the residue number system has shown a new possibility of using modular arithmetic as a means of increasing the accuracy of calculations and weakening the dependence of computation time on accuracy, increasing the speed of modular calculations without a significant increase in hardware costs, against the background of increasing speed without a significant increase in hardware costs, it is also possible to reduce power consumption by the device. Thus, summarizing the above, we conclude that it is possible to increase the efficiency of processing data packets by switches and routers of computer networks without a significant increase in power consumption, and often with its decrease.

2 Problem statement

Nowadays Ethernet is the most common technology for local area networks. In a broad sense, this family of technologies includes the proprietary standard Ethernet DIX, IEEE 802.3 Ethernet 10 Mbit / S, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet and 10G Ethernet [1]. Ethernet technology uses datagram packet switching. The frame has a fixed format and, along with the data field, contains various service information. Ethernet address is a flat numeric address, hierarchy is not used. Ethernet adapters operate at a clock frequency of 20 MHz, transmitting to the medium rectangular pulses corresponding to zeros and units of a given computer. Frames are transmitted at a constant speed of 10 Mbit / S, which determines the throughput of Ethernet. To improve the reliability of data transmission, Ethernet uses checksum counting and transmits it at the end of a frame [1]

Consider five routers located in vertex graphs and servers at one and the other end of the network. Routers and servers use the default settings. To study the traditional network, we apply the OPNET program [2].

The selected network optimization criterion is influenced by a large number of parameters of various types. The most affected network load:

- used communication protocols and their parameters;
- the proportion and nature of the broadcast traffic generated by various protocols;
- network topology and used communication equipment;
- intensity of occurrence and nature of erroneous situations;
- configuration of software and hardware end nodes.

With a nominal bandwidth of 10 Mbps Ethernet, the bits inside the frame are transmitted at 0.1 μ S intervals; the transmission time of one frame of the minimum length is 57.6 μ S. The effective bandwidth of the Ethernet protocol when using minimum frame lengths is Mbit / C [2]. In the

simulation, 100 or 300 packets with an average packet length of 763 bytes are passed through the network. With 100 packets, the number of bits of information that passes through the network is calculated as a bit [2].

After analyzing the network with 100 packets, we see that its workload in all directions is quite small: in all areas it is almost the same, ranging from 3.3% to 13.4% (load differences occur due to different speed of transmission through the network). It can be concluded that with a small or medium load, the router works stably, that is, it manages to distribute packets over the network according to the routing table without collisions. Ethernet in this case works efficiently. Critical areas are not observed.

Increase the amount of information passing through the network to 300 packets. We use the formula $300 \cdot 763 \cdot 8 = 1831200$ bits. There are critical areas between nodes, where the load on the network reaches 95%. Basically, the load does not exceed 12% -40%. According to the simulation results, it is clear that the network is unstable. Packages begin to pile up in a "difficult lot. Although on all other parts of the network the work is stable and there is a significant margin in bandwidth. Should unload this section. The router forwards packets according to the routing table data, and therefore even on such a small network, under maximum load, destabilization occurs.

The research results show that the routing table does not always work efficiently, the network is loaded unevenly. The distribution of packets over the network is not always predictable and can be calculated. After studying the standard network with a minimum and maximum load, we can conclude:

firstly, at the maximum load, one section starts to work unstably, although all other nodes are loaded at 30 ... 40%;

secondly, the transmission of information does not take into account its importance.

3 RNS fundamentals

The development of high-performance and reliable computing systems, based on the ideas of creating computational tools with a parallel structure, using parallel representation and data processing. These include non-positional codes - codes based on modular arithmetic, that is, codes in which data are presented in the residue number system (RNS) [3].

If a fixed series of positive numbers m_i is called bases (modules) of RNS, then the residue number system is such a nonpositional number system in which any positive integer A is represented as a set of residues (deductions) from dividing the represented number by the chosen bases of the system:

$$\begin{aligned}
 A &\equiv a_1 \pmod{m_1}, \\
 A &\equiv a_2 \pmod{m_2}, \\
 &\dots, \\
 A &\equiv a_n \pmod{m_n},
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

where A – traditional representation of number, $\{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ – modulus set (mutually prime numbers), $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ – residue set. Range of RNS representation is $m = m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_n$.

According to the theory of the residue number system proved that (1) is the only one representation of given number A .

For range numbers represented as (1), arithmetic operations of addition, subtraction, and multiplication are performed with the residuals independently of each other according to simple rules. The advantages of such a representation and processing of numbers also include small residues, which makes it possible to effectively apply tabular processing methods. Computing systems built on basis of the RNS, have high performance and reliability. However, there are serious difficulties in the implementation of non-positional procedures, which include: finding the deduction (remainder) of the number; the definition of the sign of the number (in the RNS the sign of the number is presented implicitly);

comparing modular numbers; overflow detection; division operations, scaling, expansion, error correction, and others. The performance of these operations is quite problematic. Most RNS applications do not require the use of these operations. The fundamental operation here is a comparison of the magnitude of modular numbers, which can be used when detecting dynamic range overflow, determining the sign of numbers, correcting errors and others, the execution time of which can be reduced to the execution time of modular division along with addition, subtraction and multiplication, as well as scaling along with the extension. It should be noted that even in cases where the RNS is limited to applications in which the predominant operations are addition and subtraction, it does not make it possible to completely eliminate problematic operations. Thus, scaling is especially important in calculations, since in many applications, for which the RNS is especially good, operations can occur that lead to an increase in numbers, which, in turn, can lead to overflow. Therefore, in order to ensure that all the results in acceptable range, it is necessary to carry out controls in the process of the performed calculations. In this regard, it is necessary to quickly perform the above operations. In addition, the solution of virtually any control problem requires comparing, at the required time, the state of the controlled objects with the given states corresponding to the algorithm of the systems functioning.

The purpose of the comparison is to detect the fact of coincidence or discrepancy between the values of the quantities, equality or inequality of numbers greater or smaller than some values. The specific execution of the comparison operation can be determined by hardware or software. Comparing modular numbers is expensive [3, 4].

These methods were investigated in [5, 6], where it was shown that in any case, the necessary information about the magnitude of the number is extracted from the representation of residuals, which entails the complexity of both temporary and hardware.

4 Problem analysis

To implement routing algorithms such as: Flow-Based Routing, Multipath Routing, Link state routing; elementary data operations and computational operations are necessary. To perform

computational operations, it is necessary to have a mathematical structures with sufficient capabilities, in particular, sets of numbers are necessary (natural, integer, rational, real numbers, it is big deal if only fixed point are used), elementary operations are necessary: addition, subtraction, multiplication, division, comparison, more complex entities are also often needed such as elementary functions.

Elementary functions are calculated on a computer in various ways: tabular computation, approximation by polynomials, approximation by fractions (continued fractions, consistent), recurrence relations, special methods (digit by digit). However, in the RNS these calculus quite difficult.

The numbers comparison operation is not specified in the residue ring and, therefore, there is no direct possibility of conducting a binary search. A linear search is possible only when the table has the number of rows equal to the value of the representation of the largest number in the RNS (the number on the right edge of the range of representation of modular arithmetic with these bases), thereby imposing a significant restriction on the modules and the value of the largest number of RNS.

Another disadvantage of the tabular calculation of functions in the RNS is also associated with the lack of comparison operations in the residue ring; linear search can only be performed by comparing the equality of the value of the argument residues with the values of the residuals in the table. Comparison for equality is not a modular operation and requires the simultaneous receipt of all the residuals of a number on the calculator, which means the complexity of the schemes and the occurrence of delays associated with the expectation of signals from all lines to the calculator.

In the articles [7, 8], methods of implementing of hardware modular operations are shown, in article [9] non-modular. The article [10] demonstrated increase in calculus performance more than 2 times with a slight increase in hardware costs. Thus, conclude that the use of the modular arithmetic theory will increase the efficiency of the routing problem.

5 Conclusion

In conclusion, summarize that the task computer networks routing is important and relevant, it is necessary to reduce delays. To reduce the running time of the routing algorithms, this article proposes to investigate the use of modular arithmetic by implementing it on FPGA and comparing with the traditional approach to data processing. Since in the article [10] demonstrated performance increase more than 2 times with a slight increasing in hardware costs, it is possible to conclude that the use of modular arithmetic will increase the efficiency of the routing problem without a significant increase in hardware costs and power consumption.

Future research areas: implementation of routing algorithms with the RNS, the implementation of data algorithms for FPGA and comparison with the traditional approach.

Список используемой литературы

- [1] Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. / Олифер В.Г., Олифер Н.А. // СПб.: ПИТЕР, 2008. – 604 с.

- [2] Тарасов В.Н. Проектирование и моделирование сетей ЭВМ в системе OPNET Modeler / Тарасов В.Н, Бахарева Н.Ф, Кононов А.Л., Ушаков Ю.А. // Лабораторный практикум. Самара: ПГУТИ, 2008. – 132 с.
- [3] Грегори Р. Безошибочные вычисления. Методы и приложения. / Р. Грегори, Е. Кришнамурти // Пер. с англ. М.: «Мир», 1992 г. – 21 с.
- [4] Omondi A., Premkumar. Residue Number Systems. Theory and Implementation. London/ Omondi A., Premkumar // Imperial College Press, 2007. – 295 p.
- [5] Yates, R. Fixed-Point Arithmetic – An Introduction Representing and implementing fixed-point arithmetic in digital signal processing / R. Yates // Oxford: Clarendon Press. 2009. – 7 p.
- [6] Червяков Н.И. Методы и принципы построения модулярных нейрокомпьютеров / Червяков Н.И. // 50 лет модулярной арифметике. Сб. научных трудов. М.: ОАО «Ангстрем», МИЭТ, 2005. – 775 с.
- [7] Гранкин В.В. Особенности построения модулярных сумматоров при аппаратной реализации // НОВАЯ НАУКА: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ. Международное научное периодическое издание по итогам Международной научно-практической конференции. Часть 2. СТЕРЛИТАМАК, РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ. – 2016 г. – 155-160 с.
- [8] Гранкин В.В. Особенности построения модулярных умножителей при аппаратной реализации // НОВАЯ НАУКА: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ. Международное научное периодическое издание по итогам Международной научно-практической конференции. Часть 2. СТЕРЛИТАМАК, РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ. – 2016 г. – 160-163 с.
- [9] Червяков Н.И., Сахнюк П.А., Шапошников А.В., Макоха А.Н. Нейрокомпьютеры в остаточных классах / Червяков Н.И., Сахнюк П.А., Шапошников А.В., Макоха А.Н. // М.: Радиотехника, – 2003. – 272 с.
- [10] Grankin V. A Calculator Model for the Estimation of Noise Immunity of Trans-Ionospheric Communication Channels, Based on the Theory of Residue Number Systems / Vitaliy Grankin, Gennady Linets, Roman Taranov // Young Scientist's International Workshop on Trends in Information Processing, Dombai, Russian Federation, Vol-1837, urn:nbn:de:0074-1837-1, ISSN 1613-0073. 2017. pp. 75-84.

List of references

- [1] Olifer VG Computer networks. Principles, technologies, protocols. / Olifer V.G., Olifer N.A. // SPb.: PETER, 2008. – 604 p. (In Russian)
- [2] Tarasov V.N. Design and modeling of computer networks in the OPNET Modeler system / Tarasov V.N., Bakhareva N.F., Kononov A.L., Ushakov Yu.A. // Laboratory workshop. Samara: PGUTI, 2008. – 132 p. (In Russian)

- [3] Gregory R. Unmistakable calculations. Methods and applications. / R. Gregory, E. Krishnamurti / Trans. from English Moscow: Mir, 1992 – 21 p. (In Russian)
- [4] Omondi A., Premkumar. Residue Number Systems. Theory and Implementation. London / Omondi A., Premkumar // Imperial College Press, 2007. – 295 p.
- [5] Yates, R. Fixed-Point Arithmetic – An Introduction Representing and implementing fixed-point arithmetic in digital signal processing / R. Yates // Oxford: Clarendon Press. 2009. – 7 p.
- [6] N.I. Chervyakov Methods and principles of construction of modular neurocomputers / N.I. Chervyakov. // 50 years of modular arithmetic. Sat scientific papers. M .: OJSC Angstrom, MIET, 2005. – 775 p. (In Russian)
- [7] Grankin V.V. Features of the construction of modular adders for hardware implementation // NEW SCIENCE: PROBLEMS AND PROSPECTS. International scientific periodical on the results of the International scientific-practical conference. Part 2. STERLITAMAK, RUSSIAN FEDERATION. – 2016. – 155-160 p. (In Russian)
- [8] Grankin V.V. Features of the construction of modular multipliers for hardware implementation // NEW SCIENCE: PROBLEMS AND PROSPECTS. International scientific periodical on the results of the International scientific-practical conference. Part 2. STERLITAMAK, RUSSIAN FEDERATION. – 2016. – 160-163 p. (In Russian)
- [9] N.I. Chervyakov, P.A. Sakhnyuk, A.V. Shaposhnikov, A.N. Makokh Neurocomputers in residual classes / Chervyakov N.I., Sakhnyuk P.A., Shaposhnikov A.V., Makokha A.N. // M .: Radio Engineering, – 2003. – 272 p. (In Russian)
- [10] Grankin V. A Calculator Model for the Estimation of Noise Immunity of Trans-Ionospheric Communication Channels, Based on the Theory of Residue Number Systems / Vitaliy Grankin, Gennady Linets, Roman Taranov // Young Scientist's International Workshop on Trends in Information Processing, Dombai, Russian Federation, Vol-1837, urn:nbn:de:0074-1837-1, ISSN 1613-0073. 2017. pp. 75-84.

DEVELOPMENT OF SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX OF THE MANAGEMENT SYSTEM AND REMOTE MONITORING OF TECHNICAL CONDITION OF THE COMPANY

Dzhusupov Ruslan Alikhanovich¹
4saga@list.ru

Shagrova Galina Vyacheslavovna¹
doctor of physical and mathematical sciences, professor
shagrovagv@mail.ru

¹ North Caucasus Federal University, Stavropol, 355009, Russian Federation

Abstract

It includes: requirements for reliability, broad functionality, security and ease of maintenance of power supply equipment at communication facilities are constantly growing. And this is understandable: the slightest oversight is fraught with an emergency situation, as a result of which downtime of telecommunication systems begins, leading to serious material losses. Modern information and telecommunication networks transmit huge amount of traffic every day, and its structure is constantly changing due to various updates, technical issues, standards and any other situations. Engineering networks also require constant monitoring to ensure uninterrupted operation, the reliability of these systems, as well as collecting statistics on their failures and other characteristics. For this reason, it is necessary to continuously monitoring the state of the network as a whole, its individual objects, as well as the necessary resources connected to the network. To solve the above tasks for monitoring and testing network objects, a remote monitoring system is being developed.

Keywords: hardware and software system, monitoring and remote control system, development of high-load networks, analysis of statistical databases, cross-platform programming in object-oriented language Java, network engineering

1 Introduction

The large size of the service area does not allow personnel monitoring the condition of the power supply equipment to detect a malfunction in time. In order to increase its efficiency, it is necessary to implement remote monitoring systems that provide data on the power supply of any remote communication facility at the control station in real time and make it possible to promptly take measures to eliminate it in the event of a contingency situation. However, automated monitoring systems not only form a visual representation of the processes occurring at each operator's facility - they greatly facilitate the main power engineers of communications enterprises to plan routine maintenance, allow them to pay more attention to the prevention of emergency situations. That is why I am convinced that the need for such systems will always be.

The evolutionary development of technologies, the competition of telecommunications equipment manufacturers for dominating the market, and the import substitution in civil and especially military infrastructure that is actively developing in the Russian Federation leads to the fact that the infrastructure of communication networks becomes more and more heterogeneous year after year. The network is organized with the help of equipment belonging to different generations of technology development and possessing a wide, almost ad hoc, set of functions that is supplied by various manufacturers. In recent years, analogue equipment, digital stations and transmission systems have accumulated on existing communication networks, followed by IP networks, multimedia and signaling gateways, Softswitch, SON (Self-organizing Networks). Mobile technologies are also not lagging, developing from 3G to LTE, 5G and updating equipment to more modern ones. In addition to the improvement and the emergence of new types of technology, the heterogeneity of networks leads to the use of incompatible equipment of various manufacturers. Each of them seeks to incorporate into its products a maximum of various functionalities, the implementation of which, as a rule, implies the use of non-standard protocols and specialized software developed directly by the equipment vendor [1].

A significant number of manufacturers supply equipment complete with monitoring software, the cost of which is often included in the equipment, that is, the customer gets "free". One object - ten different software from different manufacturers. It is clear that it is impossible to use them "in placer", but they do not fit together. Communication protocols are not always the same. Such a situation may be caused not so much by insufficient qualifications of the designer (which occurs in our life) or the natural expansion of the system for a long time, as the lack of a complete set of necessary equipment in the line of one manufacturer. For example, the Irish company FG Wilson is the largest in Europe and one of the largest manufacturers of electric generators in the world. And only electric generators. It turns out that theoretically there is a free monitoring system for the generator, and practically the customer has no need for it, since he needs a single system for all equipment.

The set of devices we have considered compels the developer to use universal SCADA class software for building a unified system. In most cases, it is possible to include control of equipment from different manufacturers in such a system, but not always. SCADA may not have drivers for this or that protocol. Usually, the problem is solved due to the universality of the OPC technology and the availability of available OPC servers for common communication protocols. Automatics with private

communications protocols are usually bundled with an OPC server from the manufacturer, although there are still vendors that persist in their unwillingness to integrate with third-party software.

2 Formulation of the problem and analysis of existing monitoring systems

Currently there are dozens, and maybe even hundreds of different monitoring systems. Some systems allow you to monitor equipment of a particular type or manufacturer, others allow you to interact with resources in a specific way or through a unique protocol. There are also systems that strive for universality of the monitoring mechanism, regardless of the type or type of device. The classification of these systems is complex, let us consider a couple of basic classifiers - read only and collect data or provide real-time network management and maintenance, centralized and distributed systems.

The first class includes systems that are used to track the occurrence of faults and / or abnormal situations. After collecting information from data sources, a number of actions are possible, among which is displaying the received information to the operator, and in case of changing parameters beyond the limits defined as “normal”, taking certain steps to eliminate the situation and normalize the parameters. The format of the alert can be different: this is the construction of graphs, and the generation of messages in priority mode for a more rapid display to the operator and the like.

The second is characterized by the fact that certain events that occur, there is a predetermined action, which presumably leads to the solution of the problem. Thus, this type has feedback. These complex systems, which can be collectively referred to as intelligent systems, which, depending on the occurrence of activity events, generate response actions to restore the required indicators.

Having considered the main types of monitoring, let us proceed to a superficial study of existing civilian systems for its implementation. For the analysis, trend systems are currently selected, which are used on an industrial scale, when deploying complex and server-based architecture that requires trouble-free operation, as well as for monitoring corporate networks. Consider systems that are available under a free license and are open source. Among them:

- Zabbix;
- Nagios;
- Icinga 2.

Further, each of them should be considered in detail separately.

Zabbix [3] is a stable and reliable system for monitoring and tracking the statuses of various services of computer networks, servers and network equipment with a steady development rate. It has a huge community of users at different levels, so most of the questions that may arise when setting up this system are already answered or you can quickly get the right answer on many subject forums. Also, thanks to such a large and active community, the system has many plug-ins that add functionality to it, remove a large amount of routine work. Many plugins also have their own versions, they are stably updated, which allows using them with the latest Zabbix's version.

For storing monitoring data, statistics, etc. relational database such as MySQL, PostgreSQL, Oracle or SQLite is used. The server of the system is written in C ++, it follows from this that it may not run under all operating systems, in particular, it works only in the Unix family of systems. The

web interface is in PHP, and Zabbix agents are implemented for almost all known platforms, which allows you to receive data directly on the device using local tools.

Zabbix supports several types and methods of monitoring:

Simple checks - can check the availability and the response of devices and standard services, such as ICMP, SNMP HTTP, without installing any additional software on the monitored host.

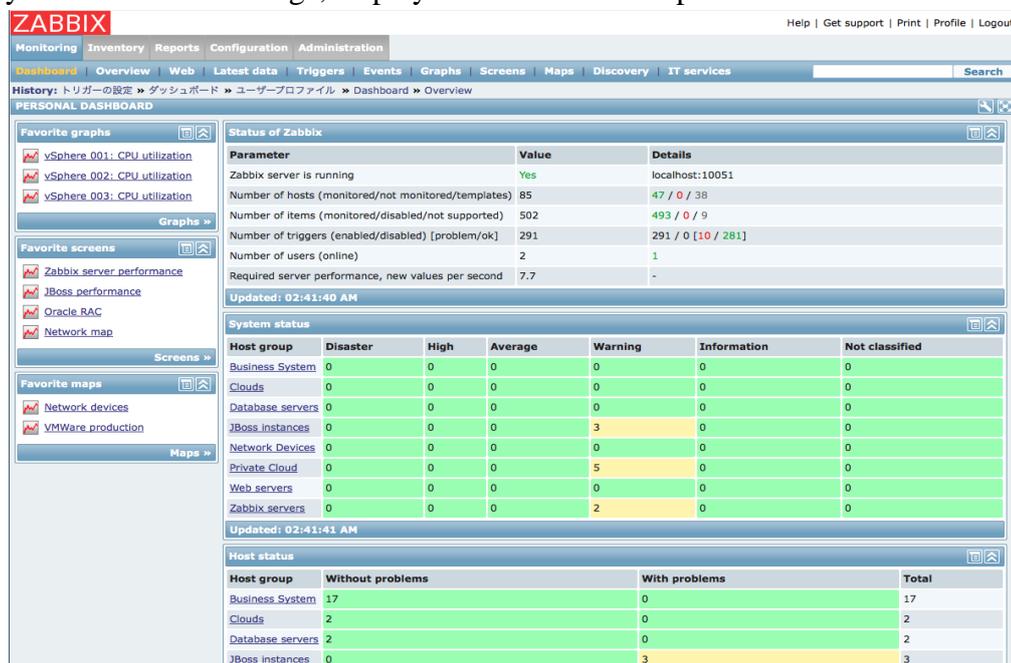
Zabbix agent - can be installed on almost any operating system: UNIX-like and Window of any version in order to obtain data on processor load, network usage, real-time disk space using system utilities, therefore agents are extremely effective for collecting data and sending them a pack on the server.

External checks — execute external scripts and programs without the need for an agent.

Zabbix server is the main part of the software, its core. The server performs all checks (simple checks and external checks), requests data from system agents, analyzes the received data, stores and manipulates it, if necessary, notifies administrators or other designated persons if problems arise with any monitored equipment or services monitored .

The web interface is a part of the service, used by administrators for setting up a Zabbix server, for informing and displaying monitoring statistics (picture 1).

Zabbix-proxy (proxy) is actually another Zabbix's server that allows you to unload the main server. It performs all the same checks on behalf of the zabbix server. Together with the proxy server, a separate database is deployed, where intermediate data is stored, which are subsequently transmitted to the Zabbix server. Zabbix-proxy is the ideal solution for centralized remote monitoring of a complex, fragmented network. For example, a network of companies with many branches. Also, the proxy can be used simply to distribute the load from the central server, where the proxy only collects data, and only the function of storage, display and notification is placed on the server.



Picture 1. Zabbix web interface page

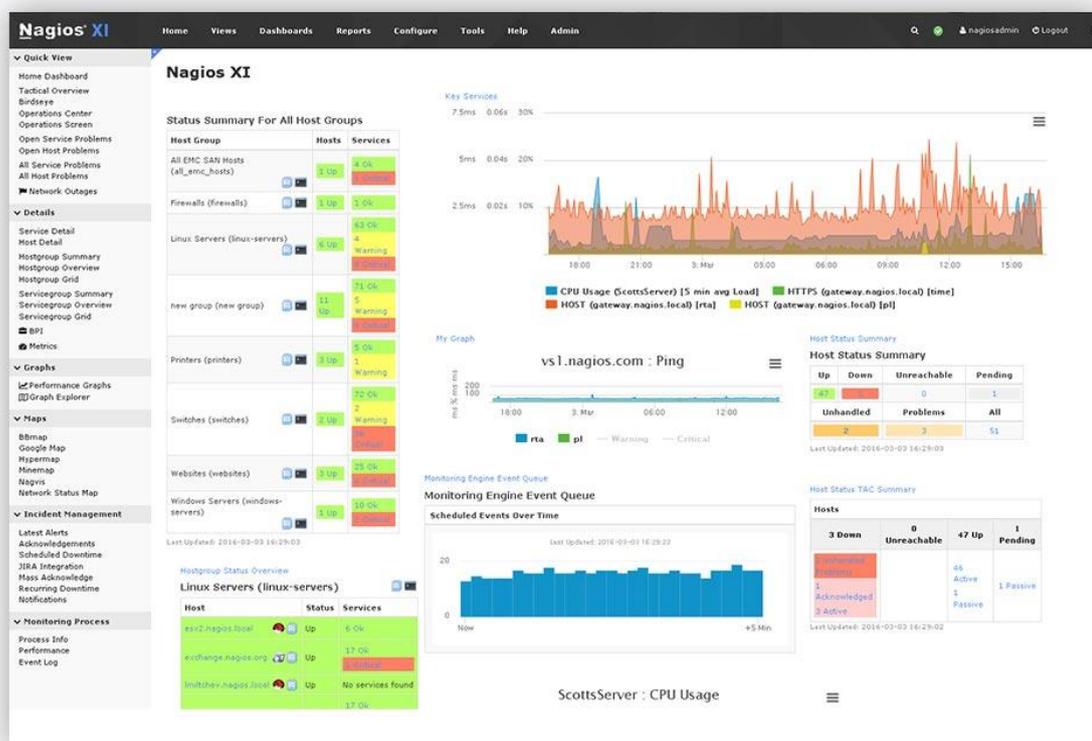
Nagios [4] is a software for monitoring computer systems and open source networks. Designed for monitoring, monitoring the status of computing nodes and services, notifies the administrator in the event that some of the services stop (or resume) their work.

Nagios is complicated in the initial setup, but convenient for later use. The Nagios interface is focused on the presence of an operator who monitors the status of system indicators. The data do not come in real time, but the polling time of the elements can be adjusted depending on the needs. Remote systems are polled via software interfaces. Accordingly, upon the occurrence of any events, the corresponding informational messages are displayed in the interface. This software product is focused on the triggering of certain events. The main features of the Nagios monitoring system are the storage of key parameters in configuration files, the ability to use plug-ins to control various equipment, and plug-in integration into the system architecture. The advantages of the system include the use of a simple configuration file format, which makes it easy to modify it using any utilities, which, in the long term, makes the system more universal. However, limited visualization tools, the difficulty of scaling without the use of plug-ins, the inability to monitor performance and configuration via a graphical interface predetermined a gradual transition to other, more flexible monitoring and control products (picture 2).

Nagios, originally created under the name Netsaint, was designed by Ethan Galstad. He also supports and develops the system today, together with a team of developers who are engaged in both official and unofficial plugins.

Originally, Nagios was designed to work under GNU / Linux, but it also works well under other Unix-like operating systems.

Nagios is distributed under the GNU General Public License Version 2.

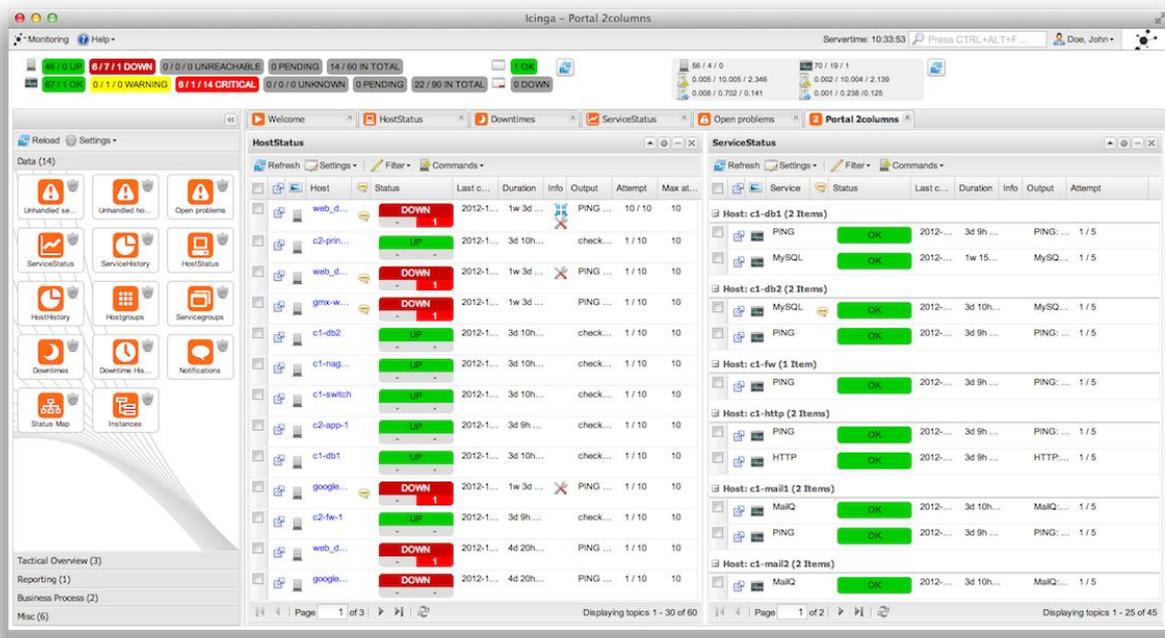


Picture 2. Nagios interface page

Icinga 2 [5] is an open source monitoring system based on Nagios. Therefore, it offers the same features as Nagios, but with its own additions. Icinga 2 is also compatible with Nagios plugin configuration and system. Among its features:

- monitoring of network services (SMTP, POP3, HTTP, NNTP, ICMP, SNMP);
- monitoring the status of hosts (CPU usage, disk usage, system logs);
- simple architecture of extension modules (plug-ins) compatible with Nagios;
- well-designed distributed monitoring scheme.

The main differences between Icinga and Nagios are own interface, more informative interface (picture 3).



Picture 3. Icinga 2 main page

Some details could not be taken into account as advantages or disadvantages of systems, since apply to most existing systems. Some functions can be considered both advantages and disadvantages. For example, the use of agents allows you to quickly and with minimal cost to obtain data from the device, but installing additional software on a controlled resource is inconvenient. Or another example - the use of a centralized database: all statistics lie in one place - a plus, but if you control a large amount of resources, it can become a bottleneck of the “bottleneck” of the entire system.

3 System requirements

After analyzing the features of the existing monitoring systems, as well as the requirements for the system being developed, a list of mandatory functions of the software model being developed was compiled:

- Storage of statistics and history of monitoring in the database;
- Alerts the user about the status of the network or individual devices for various triggers;
- Universal access via a web-interface with a PC on the network, where real-time monitoring data and measurement history should be displayed;
- Configuration - add and modify networks and subnets for monitoring, as well as individual devices.

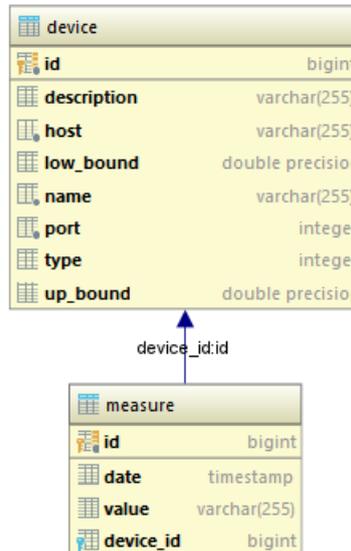
The basis for the system was chosen popular and widely used architecture of a web application, access to which is carried out by accessing the web page through any browser.

As the main development tools for the software system were selected:

- Java programming language of the latest version at the time of the start of development - JDK 8;
- currently, the popular Spring Java framework is used as the basis for Java-based web applications, which contains almost all the known convenient and productive functions that developers use when developing web applications. Therefore, Spring 4 was chosen.
- to create the user interface of the application, the freely distributed Vaadin framework was selected, which offers a server-oriented architecture. This architecture allows you to perform the main part of the logic on the server side, transferring to the client only the interactive part for user interaction. It uses the Google Web Toolkit to display user interface elements;
- in order not to independently implement the TCP / IP stack for the protocols required for interaction with network devices, freely distributed libraries were chosen that implement this interaction;
- the PostgreSQL database is selected as the data storage subsystem;
- for the development itself, the IntelliJ IDEA development environment was chosen as one of the modern and providing all the possibilities for convenient and fast management of its code.

4 Results

The following database structure was designed for data storage, which can be easily extended (picture 4).

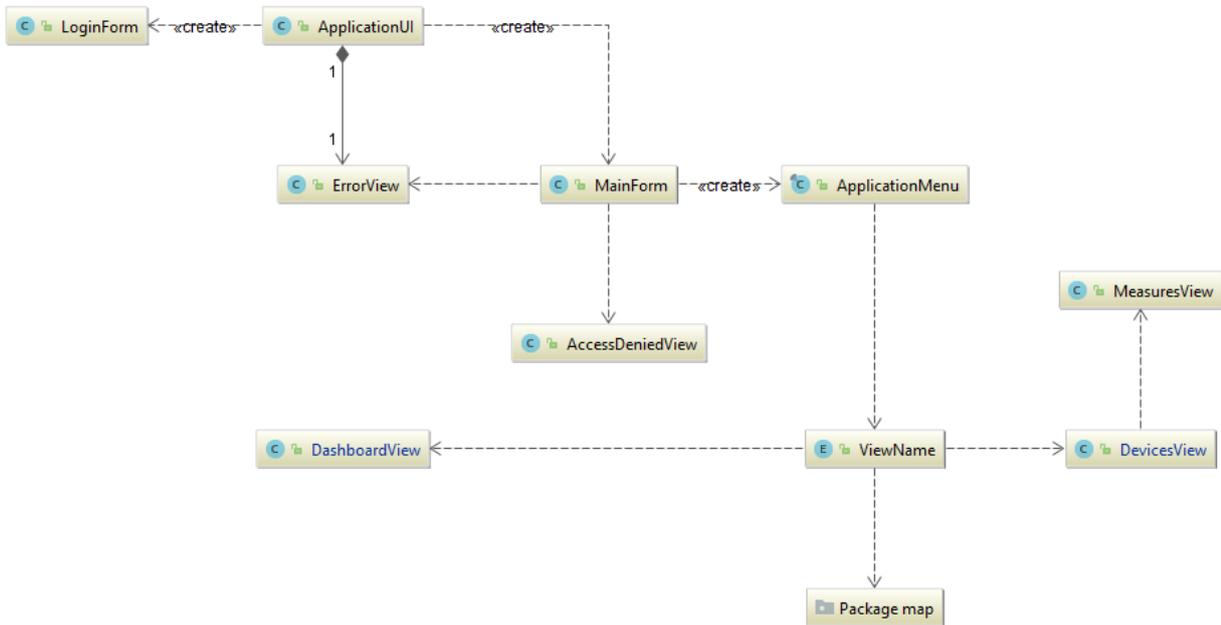


Picture 4. Database structure

The database stores data on existing devices. Device information contains basic data, such as the name and description, the method of connecting to it (address and port), the upper and lower limits of allowable values derived from it. For each device, the ability to save each of its measurements is

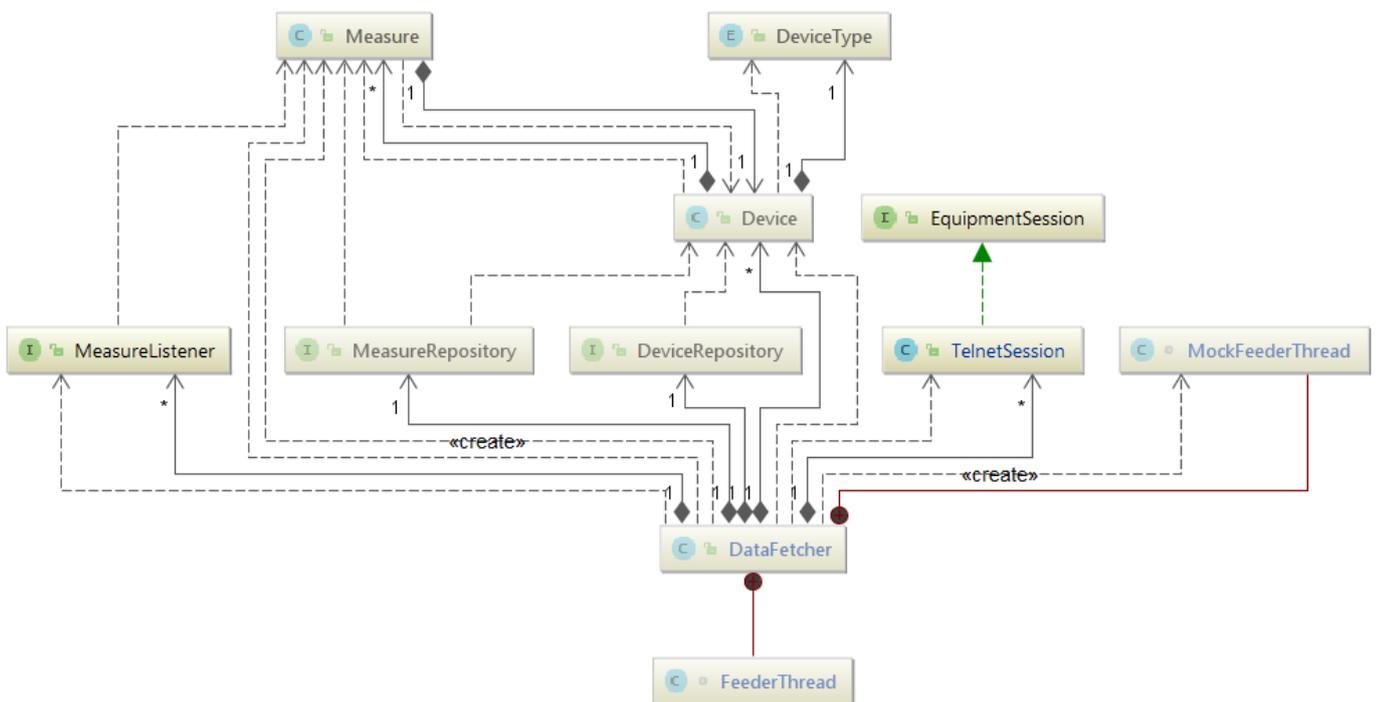
implemented, and in the future to receive all measurements or measurements for a certain period of time in one request.

Next, should show the structure of individual modules in the form of UML diagrams. The class diagram of the user interface is as follows (picture 5).



Picture 5. UI class diagram

The structure of the device polling module is as follows (picture 6).



Picture 6. Device polling module class diagram

5 Conclusion

In such conditions, it is extremely difficult for a telecom operator to unify interaction with network equipment and ensure control of the entire network as one unit. For this reason, there can be serious problems with information security in these networks. This is especially evident at the junction of technology.

In the course of the tasks, the following results were obtained. Designed software system for monitoring the technical state of energy supply and engineering systems, where implemented: device polling via Telnet, SNMP; the ability to display power charts in real time; display of statistics for a certain period.

6 List of references

- [1] Goldstein A.B. Multiservice network control devices: Softswitch - Communication Herald Magazine. - Moscow, 2014, №102, pp. 201-210.
- [2] Ermishyan A.G. Theoretical foundations of building communication systems in associations and formations. Part 1. – Saint-Petersburg: YOU, 2015, 740 p. (in Russian)
- [3] The official website of Zabbix [Electronic resource]. – URL: <https://www.zabbix.com> (Accessed 2 December 2018).
- [4] The official website of Nagios [Electronic resource]. – URL: <https://www.nagios.org> (Accessed 2 December 2018).
- [5] The official website of Icinga [Electronic resource]. – URL: <https://www.icinga.com/products/icinga-2> (Accessed 3 December 2018).
- [6] RFC 1157 Simple Network Management Protocol – URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc1157.txt> (Accessed 29 November 2018).
- [7] Kay S. Horstmann, Gary Cornell. Java Professional library. Volume 1. Basics, 2014, p. 864.
- [8] Kay S. Horstmann, Gary Cornell. Java Professional library. Volume 2. Advanced Programming Tools, 2016, p. 1008.
- [9] Bitner Victor., Bruce Eckel - The Java Philosophy - M .: Hotline-Telecom, 2011. p. 312.
- [10] Joshua Bloch - Java. Effective programming - typical problems and their solutions - Oracle Press, 2010, p. 405.

A BRIEF OVERVIEW OF METHODS FOR ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING ROAD TRANSPORT ACCIDENTS

Sorokin A.A.¹

sorokin0526@yandex.ru

Yakovlev S. V., Ph.D. (Tech.), Associate Professor¹

Yak0vlevSV@yandex.ru

¹ NCFU, Stavropol, 355001, Russia

Аннотация

В настоящее время, дорожно-транспортные происшествия являются достаточно серьезной проблемой, а безопасность дорожного движения стала основным направлением социального развития. Многие факторы оказывают влияние на дорожно-транспортные происшествия, такие как характеристика места аварии, период времени, самочувствие водителя, погодные условия и другие неопределенные сложные факторы. Результат возникновения дорожно-транспортных происшествий является нелинейным, поэтому необходимо изучить взаимосвязь данных с различными аспектами, чтобы избежать рисков связанных с дорожно-транспортными происшествиями. Для целей анализа данных необходимо рассмотрение методов их анализа. Конечной целью анализа данных является выбор наиболее точной модели, проверки модели, анализ характеристик данных и взаимосвязей между моделью и данными.

Abstract

Nowadays, road accidents are a rather serious problem, and road safety has become the mainstream of social development. Many factors influence traffic accidents, such as the characteristics of an accident site, a period of time, the driver's well-being, weather conditions and other uncertain complex factors. The result of the occurrence of road accidents is non-linear, so it is necessary to study the relationship of data with various aspects in order to avoid the risks associated with road accidents. For data analysis purposes, consideration of their analysis methods is

necessary. The ultimate goal of data analysis is to select the most accurate model, validate the model, analyze the characteristics of the data and the relationships between the model and the data.

Ключевые слова: Big Data, интеллектуальный анализ данных, классификация методов, факторы, переменные, дорожно-транспортные происшествия, подготовка данных.

Keywords: Big Data, data mining, classification of methods, factors, variables, traffic accidents, data preparation.

Traffic accidents are a serious problem. According to official statistics, death as a result of an accident is the third largest cause of death in Russia (Figure 1).

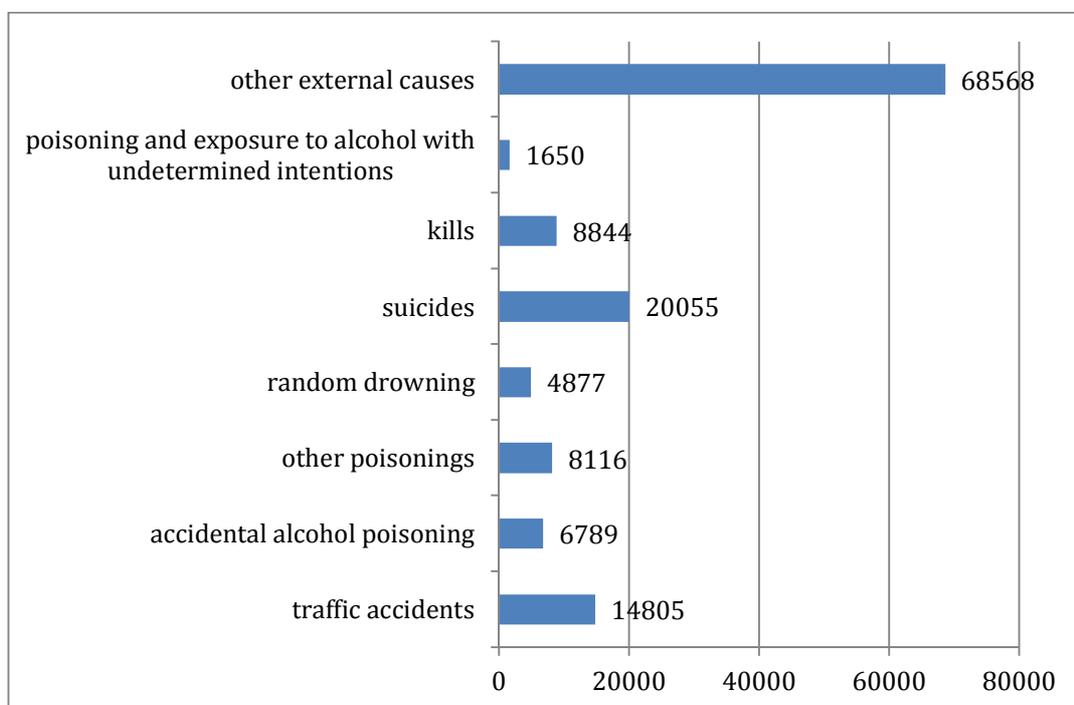


Figure 1 – External causes of death in Russia, pers. (data for 2017)

Almost every day there are accidents on the roads that entail the consequences of slowing road traffic and lane blocking. To reduce the number of accidents, we need to understand and analyze the data on road accidents.

Traffic accidents are uncertain and unpredictable incidents and their analysis requires knowledge of the affecting factors. Road and traffic accidents are defined by a set of variables that are mostly discrete. The main problem in the analysis of accident data is its heterogeneity. Thus, heterogeneity must be considered when analyzing data otherwise, some data relationship may remain hidden. The number

of factors of road accidents is large, it can be grouped into objective and subjective. The amount of information needed for this kind of analysis is significant.

Big Data is a variety of tools, approaches and methods for processing both structured and unstructured large data in order to use it for specific tasks and goals. Using Big Data provides the ability to store, manipulate, analyze large data on road accidents and may manage knowledge that can help decision makers reduce the number of accidents.

Big Data has led to an explosive growth in the popularity of broader data mining methods, in part because there is much more information, and by its very nature and content it becomes more diverse and extensive. The principles of data mining have been known for many years, but with the advent of big data, they are even more widely used. Indeed, with the explosive increase in the volume of information, a large amount of data is generated, which is associated with a number of problems, from which data processing creates a set of source data for subsequent analysis, which required hardware resources and took a lot of time to analyze them.

In essence, data mining is the information processing and the identification of patterns and trends in it that help make decisions.

Sometimes, a simple search and statistical analysis of data is not enough for the problem being solved, but more complex data mining is needed. In some cases, such an analysis of required data, which allows you to build a model to describe the information and ultimately leads to the creation of the resulting report.

We consider a few basic methods that are used for data mining and describe the type of analysis and data recovery operation.

An association (or relationship) is probably the most well-known, familiar, and simple data mining method. To identify models, a simple comparison of two or more elements is made, often of the same type.

Classification can be used to get an idea of the type of objects, describing several attributes to identify a particular class. In addition, the classification can be

used as input to other methods. For example, decision trees can be used to define a classification. Clustering allows the use of common attributes of various classifications in order to identify clusters.

Clustering allows exploring one or more attributes or classes, you can group individual data elements together to get a structured conclusion. At a simple level, clustering uses one or more attributes as a basis for defining a cluster of similar results. Clustering is useful in defining various information because it is correlated with other examples, so you can see where the similarities and ranges agree with each other.

In combination with other data mining methods, forecasting involves the analysis of trends, classification, comparison with the model and relationships. Analyzing past events or instances, we can predict the future.

Sequential models, which are often used to analyze long-term data, are a useful method for identifying trends, or regular repetitions of similar events.

The decision tree associated with most other methods (mainly classification and forecasting) can be used either within the framework of the selection criteria or to support the selection of certain data within the overall structure. A decision tree starts with a simple question that has two answers (sometimes more). Each answer leads to the next question, helping to classify and identify data or make predictions.

Decision trees are often used with property information classification systems and with forecasting systems, where different predictions can be based on past historical experience, which helps build a decision tree structure and get results.

Combinations of methods are quite common, since in practice only one of the methods is very rarely used. Classification and clustering are similar methods that are often used together. Using clustering to determine the nearest neighbors, you can further refine the classification. Decision trees are often used to build and identify classifications that can be traced over historical periods to determine sequences and patterns.

Data mining itself is based on building a suitable model and structure that can be used to process, identify and create the necessary information. Regardless of the

form and structure of the data source, information is structured and organized according to a format that allows you to perform data mining with the most efficient model.

You need to consider combinations of data mining requirements with the identification of existing variables and the creation of new variables that can be used to analyze data at the preparatory stage.

Analytical variables for data obtained from many different sources can be compiled into a single, defined structure.

Depending on the data source, it is important to choose the right way to build and transform this information, whatever of the final data analysis method. This step also leads to a more complex process of identifying, collecting, simplifying or expanding information in accordance with the input data.

Intelligent data analysis is not only the execution of some complex queries to data stored in a database. Regardless of whether you use SQL, document-based databases, or simple unstructured files, you must work with the data, format, or restructure it. It is required to determine the format of the information on which the method and analysis will be based. Then, when the information is in the right format, you can apply various methods (individually or in aggregate), independent of the desired basic data structure or data set.

Список используемой литературы

- [1] Application of Big Data Analysis with Decision Tree for Road Accident [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.indjst.org/index.php/indjst/article/view/117325>
- [2] A data mining framework to analyze road accident data [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://journalofbigdata.springeropen.com/articles/10.1186/s40537-015-0035-y>
- [3] Traffic Accidents Analyzer Using Big Data [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7424123>

References

- [1] Application of Big Data Analysis with Decision Tree for Road Accident [Electronic resource] – Access Mode: <http://www.indjst.org/index.php/indjst/article/view/117325>
- [2] A data mining framework to analyze road accident data [Electronic resource] – Access Mode: <https://journalofbigdata.springeropen.com/articles/10.1186/s40537-015-0035-y>

[3] Traffic Accidents Analyzer Using Big Data [Electronic resource] – Access Mode:
<https://ieeexplore.ieee.org/document/7424123>

СИСТЕМЫ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ FSO-ТЕХНОЛОГИЙ

Шишаков А. П.
starshish@mail.ru

Пуля С. А.
20p111@mail.ru

Бердник К. П.
Berdnik884@mail.ru

Бачурина В. С.
icomm@ncfu.ru

Мочалов В. П.
доктор технических наук, профессор
mochalov.valery2015@yandex.ru

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»,
г. Ставрополь, 355037, Россия

Аннотация

Сети подвижной связи в последние годы добились огромных успехов наряду с потребностью в большей полосе пропускания в растущей цифровой экономике. При использовании технологии RoF (Radio-over-Fiber) возникает возможность подключения к одной базовой станции до десятки/сотни тысяч недорогих устройств для реализации технологии Интернета Вещей. Это приводит к необходимости внедрения будущих сетей связи, характеризующихся множеством показателей управления сетью. Проведена классификация беспроводных оптических систем наземной и спутниковой связи на основе технологии FSO (Free-Space Optics). Для наземных FSO-систем определены уравнение связи и факторы ухудшающие производительность канала связи. Для межспутниковой космической FSO-системы определено уравнение связи. Рассмотрены принципы интеграции канал FSO с радиоканалом по технологии Ro-FSO (Radio over free space).

Abstract

Mobile networks in recent years have achieved tremendous success along with the need for more bandwidth in a growing digital economy. When using RoF technology, it becomes possible to connect to one base station up to tens / hundreds of thousands of low-cost devices for implementing the Internet of Things technology. This leads to the need to introduce future communication networks, characterized by a variety of network management indicators. Classification of wireless optical communication systems on FSO systems for terrestrial and satellite communications has been carried out. For ground-based FSO systems, a communication equation and factors degrading the performance of the communication channel are defined. For the inter-satellite FSO space system, the coupling equation is defined. The principles of FSO channel integration with a radio channel using Ro-FSO technology are considered.

Ключевые слова: сети подвижной связи, оптика свободного пространства, FSO-системы для наземной связи, FSO-системы для межспутниковой связи, затухание сигнала, FSO-системы для передачи радиосигналов.

Keywords: mobile networks, free-space optics, FSO systems for terrestrial communications, FSO systems for inter-satellite communications, signal attenuation, FSO systems for transmitting radio signals.

1 Введение

Сети подвижной связи в последние годы добились огромных успехов наряду с потребностью в большей полосе пропускания в растущей цифровой экономике. Быстрое увеличение трафика вызвало существенную нагрузку на сети мобильной радиосвязи. Необходимое выделение и перераспределение операторам ограниченного и дорогостоящего радиочастотного спектра, что представляет собой серьезную проблему. Работа в полосе частот миллиметрового диапазона позволит операторам сотовых сетей обеспечить обслуживание большего количества пользователей за счет уменьшения размера соты и, соответственно, увеличения количества базовых станций.

Для снижения стоимости системы связи может быть использована технология RoF (Radio-over-Fiber), реализующая передачу радиочастотного сигнала по волоконно-эфирной структуре [1–3]. Как правило, данные сети включают центральную станцию (ЦС), базовые станции (БС) и абонентские терминалы (АТ) (рис. 1). Базовые станции соединяются с центральной станцией и удаленным антенным модулем (RAU, Remote Antenna Unit) по волоконно-оптическим или оптоволоконным (ОВ) линиями связи. Абонентские терминалы взаимодействуют с RAU по радиоканалу.

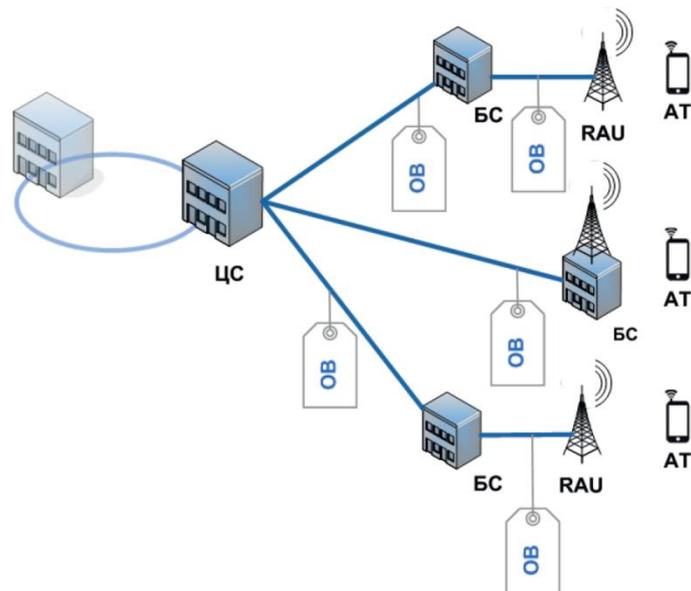


Рисунок 1. Структурная схема построения сети радиосвязи на базе технологии RoF [3].

Использование оптических волокон в системах RoF позволяет достигнуть высокую пропускную способность каналов, малые потери сигнала и устойчивость к электромагнитным помехам. Технология RoF предполагает совместное использование оборудования, отвечающего за кодирование-декодирование, мультиплексирование-демультиплексирование, преобразование с повышением частоты вниз от ЦС ко всем БС. Это приводит к снижению стоимости и сложности системы связи на базе технологии RoF. Возникает возможность подключения к одной базовой станции до десятки/сотни тысяч недорогих устройств для реализации технологии Интернета Вещей (Internet of Things, IoT) [4].

Количество разнообразных услуг и объектов, которыми необходимо управлять при реализации IoT-технологии постоянно растет. Это приводит к необходимости внедрения будущих сетей связи [5], характеризующихся множеством показателей управления сетью. Для обеспечения эффективного функционирования будущих сетей связи необходима качественная поддержка эксплуатационной деятельности операторов связи. Эти задачи можно решить при использовании автоматизированных систем эксплуатации и управления на основе применения рекомендаций отраслевой некоммерческой ассоциации TM Forum (Tele Management Forum) [6–11].

2 Классификация беспроводных оптических систем связи

Технология беспроводной оптики (WO, Wireless Optics) или оптика свободного пространства (FSO, Free-Space Optics) обеспечивает высокую емкость, низкое энергопотребление, низкую цену, небольшие размеры и легкий вес аппаратуры, а также безопасность передачи данных из-за малой вероятности перехвата при двухточечной системе связи. Беспроводные

оптические системы связи можно классифицировать на FSO-системы для наземной и спутниковой связи [12].

FSO-системы для наземной связи

Идея беспроводной оптической связи возникла за 800 лет до н. э., когда древние греки использовали огненные маяки для передачи информации. В 1880 году Александр Грэм Белл изобрел «фототелефон», где использовался солнечный свет для передачи голосовых сигналов через неуправляемый атмосферный канал на расстояние 200 м. В начале 1960-х годов изобретение лазеров произвело революцию в оптической связи. В 1970 году компания Nippon Electric Company (NEC) из Японии продемонстрировала первую дуплексную линию FSO длиной 14 км между городами Йокогама (Yokohama) и Тамагава (Tamagawa). Уравнение связи для FSO задается следующим уравнением [13]:

$$P_{res} = P_{trans} \frac{d_{res}^2}{(d_{trans} + \theta R)^2} 10^{-\alpha R/10}, \quad (1)$$

где P_{res} – мощность приемника;

P_{trans} – мощность передатчика;

d_{res} – диаметр апертуры приемника;

d_{trans} – диаметр апертуры передатчика;

θ – величина, определяющая степень расходимости луча;

R – протяженность линии связи;

α – величина, определяющая атмосферное затухание.

Для увеличения пропускной способности FSO-систем используют технологию спектрального уплотнения каналов (WDM, Wavelength Division Multiplexing). Метод мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM, Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) позволяет бороться с замиранием в режиме многолучевого распространения. Следовательно, использование OFDM в FSO-системах позволяет достигнуть увеличения скорости и дальности передачи сигнала [12]. Более поздней разработкой в FSO-системах является технология модового уплотнения каналов (MDM, Mode Division Multiplexing).

Рассмотрим факторы ухудшающие производительность FSO сетей. Наиболее доминирующим фактором являются атмосферные условия (туман, пыль, снег и дождь), которые могут привести к рассеянию, поглощению и отклонениям оптического сигнала.

Затухание в тумане

Затухание в атмосферном тумане описывается по закону Бера-Ламберта (Beer-Lambert), согласно которому ослабление оптического сигнала из-за тумана на расстоянии R определяется следующим соотношением:

$$A_{fog} = \frac{3,912}{V} \left(\frac{\lambda}{\lambda_0} \right)^{-q}, \quad (2)$$

где V – видимость в км;

λ – длина волны передаваемых сигналов;

λ_0 – эталон видимости в нм;

q – коэффициент распространения, зависящий от протяженности канала связи (для расчета значения q предлагается использовать модели, представленные в табл. 1) [14].

Затухание при дожде

Затухание в дожде тоже является важным параметром, который необходимо учитывать при проектировании FSO-линии. Уравнение [15] для удельного ослабления сигнала при дожде описывается следующим соотношением:

$$a_{rain} = 1,076 R^{0,67}, \quad (3)$$

где R – скорость выпадения осадков в мм/ч.

Таблица 1. Значения коэффициента распространения q .

Модель 1 (Kim model)	Модель 2 (Kruze model)
1,6 если $V > 50$ км	1,6 если $V > 50$ км
1,3 если $6 \text{ км} < V < 50 \text{ км}$	1,3 если $6 \text{ км} < V < 50 \text{ км}$
$0,16V + 0,34$ если $1 \text{ км} < V < 6 \text{ км}$	$0,585V^{1/3}$ если $V < 6 \text{ км}$
V если $0,5 \text{ км} < V < 1 \text{ км}$	

Затухание при снегопаде

Ослабление оптического сигнала при снегопаде описывается следующим соотношением [16]:

$$\lambda_{snow} = \alpha S^\beta, \quad (4)$$

где S – скорость выпадения снега в мм/ч.

α и β – коэффициенты определяются в соответствии с рекомендациями Международного союза электросвязи (МСЭ – ITU, International Telecommunication Union) (см. табл. 2).

Таблица 2. Значения коэффициентов α и β .

Тип снега	α	β
Сухой	1,38	$0,000102\lambda + 5,50$

Мокрый	0,72	$0,0000542\lambda + 3,79$
--------	------	---------------------------

Сцинтилляционный эффект

Свой вклад в ухудшение качества оптического канала вносят и так называемые сцинтилляции – временные и пространственные колебания интенсивности света, вызванные атмосферной турбулентностью. Причинами возникновения турбулентности могут быть ветер и температурные градиенты, при этом образуются области неоднородности с быстро изменяющимися плотностью и коэффициентом преломления, называемые воздушными карманами. Они действуют подобно призмам и линзам с изменяющимися во времени свойствами. Затухание сигнала, вызванное эффектом сцинтилляций, описывается следующим соотношением [12]:

$$A_{scintt} = 2\sqrt{23,17\left(\frac{2\pi}{\delta}10^6\right)^{7/6} \times c_n^2 \times l_6^{11}}, \quad (5)$$

где δ – длина волны в нм;

l – протяженность FSO-канала в м;

c_n^2 – параметр показателя преломления (для слабых турбулентностей имеет значение 10^{-16} , для умеренного значения турбулентности – 10^{-14} и для высоких турбулентностей – 10^{-12} [17]).

FSO-системы для межспутниковой связи

Технология FSO также играет важную роль в космических приложениях. В 1977 году Европейское космическое агентство (ESA, European Space Agency) запустило программу SILEX (Semiconductor laser Inter-satellite Link EXperiment) для реализации связи между спутниками в космосе [12]. Система SILEX основана на использовании двух платформ оптической связи: SPOT-4 и ARTEMIS. Космический аппарат дистанционного зондирования Земли SPOT-4 был спроектирован Национальным центром космических исследований Франции (CNES, Centre National d'Études Spatiales). Спутник связи Artemis построен ESA. Система связи SILEX позволила передавать данные по оптическому каналу с помощью полупроводниковых инжекционных лазерных диодов GaAlAs со скоростью 50 Мбит/с [12].

Основное уравнение связи [18] для межспутникового канала связи определяется следующим соотношением:

$$P_{res} = P_{trans} N_{trans} N_{res} \left(\frac{\lambda}{4\pi Z}\right)^2 G_{trans} G_{res} L_{trans} L_{res}, \quad (6)$$

где P_{res} – мощность приемника;

P_{trans} – мощность передатчика;

N_{res} – оптическая эффективность приемника

N_{trans} – оптическая эффективность передатчика;

λ – длина волны передаваемых сигналов;
 Z – расстояние между передатчиком и приемником в км;
 G_{res} – коэффициент усиления приемника
 G_{trans} – коэффициент усиления передатчика;
 L_{res} – коэффициент потерь наведения приемника
 L_{trans} – коэффициент потерь наведения передатчика.

FSO-системы для передачи радиосигналов

В настоящее время выделяют три основных подхода, реализующих передачу радиосигналов по волоконно-эфирной структуре [3]:

- радиочастота по волокну – RFoF (Radio Frequency over Fiber);
- промежуточная частота по волокну – IFoF (Intermediate Frequency over Fiber);
- основной сигнал по волокну – BBoF (BaseBand-over-Fiber).

Обобщенная структурная схема, поясняющая принцип действия каждого из перечисленных методов, представлена на рис. 2. Оптические волокна между БС и ЦС при развертывании RoF не всегда легко проложить, а модернизация структуры может быть сложной. Кроме того, новое оптоволоконное оборудование существенно увеличивает стоимость и задерживает развертывание RoF.

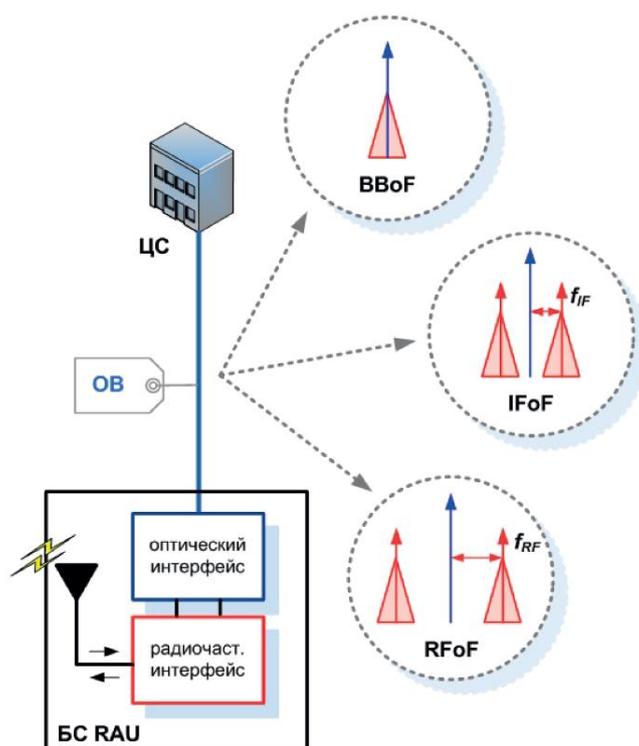


Рисунок 2. Структурная схема классификации систем передачи RoF [3].

Преимущества беспроводных оптических систем связи с точки зрения бесплатного лицензирования и высокой скорости передачи данных делают FSO-технологию хорошим кандидатом для будущих беспроводных сетей. Канал FSO может быть интегрирован с радиоканалом по технологии Radio over free space (Ro-FSO) для ускорения повсеместного развертывания сотовой архитектуры и беспроводных услуг. Методы Ro-FSO также можно использовать в сельской местности с низкой плотностью населения, в тех случаях, когда создание инфраструктуры радиосвязи может быть неэффективным. Интеграция радио- и FSO-технологий обеспечивает высокие скорости передачи оптических сигналов, большую гибкость в развертывании, позволяет избежать высокие начальные затраты и экономит время развертывания.

3 Заключение

Проведена классификация беспроводных оптических систем связи на FSO-системы для наземной и спутниковой связи. Для наземных FSO-систем определены уравнение связи и факторы, ухудшающие производительность канала связи. Для межспутниковой космической FSO-системы определено уравнение связи. Рассмотрены принципы интеграции канал FSO с радиоканалом по технологии Ro-FSO.

Список используемой литературы

- [1] Yadav J., Jaiswal A.K., Kumar M. Radio over fiber technology // IOSR Journal of Electronics and Communication Engineer-ing. Vol. 9, No. 3, 2014. – P. 83 – 87.
- [2] Karthikeyan R., Prakasam S. A survey on Radio over Fiber (RoF) for wireless broadband access technologies // International Journal of Computer Applications. Vol. 64, No. 12, 2013. – P. 14 – 19.
- [3] Нарышкин М. И. Концепция построения распределенной сети радиосвязи на базе технологии Radio-over-Fiber / М. И. Нарышкин // Инфокоммуникационные технологии. – 2015. – Т. 13. № 4. С. 432–439.
- [4] Рекомендация МСЭ-Т Y.2060: Сети последующих поколений – Структура и функциональные модели архитектуры. Обзор интернета вещей [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-I> (дата обращения: 05.12.2018).
- [5] Росляков А. В. Будущие сети (Future Networks) / А. В. Росляков, С. В. Ваняшин. – Самара: ПГУТИ, 2015. – 274 с.
- [6] Официальный сайт TM Forum. [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tmforum.org/> (дата обращения: 05.12.2018).
- [7] Слюсарев Г. В. Аналитическая модель системы обслуживания заказов оператора связи / Г. В. Слюсарев, В. П. Мочалов, С. В. Яковлев, С. В. Жубреев, А. А. Кульпинов, Д. В. Мочалов // Научно-технические технологии. – 2012. – Т. 13. № 7. – С. 71–76.

- [8] Мочалов В. П. Аналитическая модель для анализа состояния системы поддержки эксплуатации и бизнес-процессов оператора связи / В. П. Мочалов, С. В. Яковлев, Д. В. Мочалов // Теория и техника радиосвязи. – 2012. – № 1. – С. 45–49.
- [9] Мочалов В. П. Разработка процессно-ориентированной системы управления качеством инфокоммуникационных услуг на основе концепции NGOSS / В. П. Мочалов, Н. Ю. Братченко, Н. И. Червяков, С. В. Яковлев. – Ставрополь: СКФУ, 2013. – 180 с.
- [10] Mochalov V. P., Bratchenko N. Yu., Yakovlev S. V. Analytical model of object request broker based on Corba standard. *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1015, № 2, p. 022012, May 2018. DOI: 10.1088/1742-6596/1015/2/022012.
- [11] Mochalov V. P., Bratchenko N. Yu., Yakovlev S. V., Gosteva D. V. Distributed Management System for Infocommunication Networks Based on TM Forum Framework. REMS 2018: Russian Federation & Europe Multidisciplinary Symposium on Computer Science and ICT, NCFU – North-Caucasus Federal University Stavropol, Russia, October 2018 [accepted for publication].
- [12] Chaudhary S., Amphawan A. The role and challenges of free-space optical systems // *Journal of Optical Communications*. – 2014. – Т. 35. – №. 4. – P. 327–334. DOI: 10.1515/joc-2014-0004
- [13] Bloom S. et al. Understanding the performance of free-space optics // *Journal of optical Networking*. – 2003. – Vol. 2. – №. 6. – P. 178–200.
- [14] Kim I. I., McArthur B., Korevaar E. Comparison of laser beam propagation at 785 nm and 1550 nm in fog and haze for optical wireless communications. *Proc. SPIE 4214. Optical Wireless Communications III*, Boston, MA, USA, February 2001/ DOI: 10.1117/12.417512
- [15] Carbonneau T. H., Wisely D. R. Opportunities and challenges for optical wireless: the competitive advantage of free space telecommunications links in today's crowded marketplace // *Wireless Technologies and Systems: Millimeter-Wave and Optical*. – International Society for Optics and Photonics, 1998. – Vol. 3232. – P. 119–129. DOI: 10.1117/12.301022
- [16] Muhammad S. S., Kohldorfer P., Leitgeb E. Channel modeling for terrestrial free space optical links // *Transparent Optical Networks, 2005, Proceedings of 2005 7th International Conference*. – IEEE, 2005. – Vol. 1. – P. 407–410. DOI: 10.1109 / ICTON.2005.1505832
- [17] Ray P. S. Broadband complex refractive indices of ice and water // *Applied optics*. – 1972. – Vol. 11. – №. 8. – P. 1836–1844. DOI: 10.1364/AO.11.001836
- [18] Polishuk A., Arnon S. Optimization of a laser satellite communication system with an optical preamplifier // *JOSA A*. – 2004. – Vol. 21. – №. 7. – P. 1307–1315. DOI: 10.1364/JOSAA.21.001307

List of references

- [1] Yadav J., Jaiswal A.K., Kumar M. Radio over fiber technology // IOSR Journal of Electronics and Communication Engineer-ing. Vol. 9, No. 3, 2014. – P. 83 – 87.
- [2] Karthikeyan R., Prakasam S. A survey on Radio over Fiber (RoF) for wireless broadband access technologies // International Journal of Computer Applications. Vol. 64, No. 12, 2013. – P. 14 – 19.
- [3] Naryshkin M.I. The concept of building a distributed radio network based on the technology of Radio-over-Fiber / M. I. Naryshkin // Infokommunikatsionnyye tekhnologii. – 2015. – Vol. 13. № 4. P. 432–439. (In Russian)
- [4] Recommendation Y.4000/Y.2060 (06/12): Overview of the Internet of things [electronic resource]. – Access mode: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-I> (date of appeal: 05.12.2018).
- [5] Roslyakov A.V. Future Networks / A. V. Roslyakov, S. V. Vanyashin. – Samara: PGUTI, 2015. – 274 p. (In Russian)
- [6] TM Forum website [electronic resource] – Access mode: <https://www.tmforum.org/> (date of appeal: 05.12.2018).
- [7] Slyusarev G.V. Analytical model of the system service orders operator / G. V. Slyusarev, V. P. Mochalov, S. V. Yakovlev, S. V. Gureev, A. A. Chulpanov, D. V. Mochalov // high technologies. - 2012. – Vol.13. No. 7. - P. 71-76. (In Russian)
- [8] Mochalov V. P. Analytical model for analyzing the state of the operational support system and operator business processes / V. P. Mochalov, S. V. Yakovlev, D. V. Mochalov // Teoriya i tekhnika radiosvyazi. – 2012. – № 1. – P. 45–49. (In Russian)
- [9] Mochalov V. P. Development of a process-oriented quality management system for information and communication services based on the NGOSS concept / V. P. Mochalov, N. Yu. Bratchenko, N. I. Chervyakov, S. V. Yakovlev. – Stavropol: SCFU, 2013. – 180 p. (In Russian)
- [10] Mochalov V. P., Bratchenko N. Yu., Yakovlev S. V. Analytical model of object request broker based on Corba standard. Journal of Physics: Conference Series, vol. 1015, № 2, p. 022012, May 2018. DOI: 10.1088/1742-6596/1015/2/022012.
- [11] Mochalov V. P., Bratchenko N. Yu., Yakovlev S. V., Gosteva D. V. Distributed Management System for Infocommunication Networks Based on TM Forum Frameworx. REMS 2018: Russian Federation & Europe Multidisciplinary Symposium on Computer Science and ICT, NCFU – North-Caucasus Federal University Stavropol, Russia, October 2018 [accepted for publication].
- [12] Chaudhary S., Amphawan A. The role and challenges of free-space optical systems // Journal of Optical Communications. – 2014. – T. 35. – №. 4. – P. 327–334. DOI: 10.1515/joc-2014-0004
- [13] Bloom S. et al. Understanding the performance of free-space optics // Journal of optical Networking. – 2003. – Vol. 2. – №. 6. – P. 178–200.
- [14] Kim I. I., McArthur B., Korevaar E. Comparison of laser beam propagation at 785 nm and 1550 nm in fog and haze for optical wireless communications. Proc. SPIE 4214.

Optical Wireless Communications III, Boston, MA, USA, February 2001/ DOI: 10.1117/12.417512

- [15] Carbonneau T. H., Wisely D. R. Opportunities and challenges for optical wireless: the competitive advantage of free space telecommunications links in today's crowded marketplace //Wireless Technologies and Systems: Millimeter-Wave and Optical. – International Society for Optics and Photonics, 1998. – Vol. 3232. – P. 119–129. DOI: 10.1117/12.301022
- [16] Muhammad S. S., Kohldorfer P., Leitgeb E. Channel modeling for terrestrial free space optical links // Transparent Optical Networks, 2005, Proceedings of 2005 7th International Conference. – IEEE, 2005. – Vol. 1. – P. 407–410. DOI: 10.1109 / ICTON.2005.1505832
- [17] Ray P. S. Broadband complex refractive indices of ice and water // Applied optics. – 1972. – Vol. 11. – №. 8. – P. 1836–1844. DOI: 10.1364/AO.11.001836
- [18] Polishuk A., Arnon S. Optimization of a laser satellite communication system with an optical preamplifier // JOSA A. – 2004. – Vol. 21. – №. 7. – P. 1307–1315. DOI: 10.1364/JOSAA.21.001307

РАЗРАБОТКА ЛОКАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАНДАРТА BLUETOOTH

Каликулина З.В.¹
kalikulinaz@mail.ru

Борисов А. П.¹
Кандидат технических наук, доцент
alex.borisov84@gmail.com

¹ Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул,
656038, Российская Федерация.

Аннотация

Данное исследование посвящено разработке локальной системы позиционирования с использованием стандарта Bluetooth, эта тема на сегодняшний день популярна и является актуальной. Из проведенного анализа работы можно выделить проблемы данной темы, которая заключается в нарастающей заинтересованности общества к обеспечению контроля и безопасности, небольшого выбора оборудования на рынке и роста цен. Целью данного исследования является анализ, разработка, а также тестирование защищенной локальной системы позиционирования с использованием стандарта IEEE 802.15.1. В данном исследовании рассматриваются основные системы позиционирования. Выделяются самые популярные системы беспроводных технологий передачи данных. В ходе работы производим выбор оборудования для наиболее выгодного и удобного применения в получении качественного результата. Большое внимание уделяется разрабатываемой системе передачи данных, а также внимание уделяется разработке схемы связи. Для разработки системы используется модуль Bluetooth HC-05 и плата Arduino Nano. Рассматриваются функции

программного обеспечения модуля Bluetooth. Описывается настройка программного обеспечения для разработанной системы. В результате проведенного тестирования сделан вывод, что данная система обеспечивает безопасность передачи данных и контроль пользователей, находящихся в сети, что соответствует поставленной цели.

Abstract

This study is devoted to the development of a local positioning system using the Bluetooth standard; this topic is currently popular and relevant. From the analysis of the work, we can distinguish the problems of this topic, which is the growing interest of society to ensure control and security, a small selection of equipment on the market and rising prices. The purpose of this study is to analyze, develop, and test a secure local positioning system using the IEEE 802.15.1 standard. This study examines the main positioning systems. Highlight the most popular wireless data transmission systems. During the work we make the choice of equipment for the most profitable and convenient application in obtaining high-quality results. Much attention is paid to the developed data transmission system, and attention is paid to the development of a communication scheme. For the development of the system, the Bluetooth module HC-05 and the Arduino Nano board are used. The software features of the Bluetooth module are discussed. Describes the software configuration for the developed system. Because of the test, it was concluded that this system ensures the safety of data transmission and control of users who are on the network, which corresponds to the goal.

Ключевые слова: Позиционирование, глобальное позиционирование, локальное позиционирование, беспроводные технологии, контроль, безопасность, программного обеспечения, Bluetooth.

Keywords: Positioning, global positioning, local positioning, wireless technologies, control, security, software, Bluetooth.

1 Введение

В настоящее время большую популярность набирает система определения местоположения. С быстрым развитием беспроводных технологий наблюдается рост интереса к решению

задач определения местоположения различных объектов. Большая часть населения мира используют систему позиционирования на своих смартфонах, планшетах и навигационных устройствах. Позиционирование является процессом определения местоположения точки относительно других точек, местоположение которых уже известно. В повседневной жизни оно используется постоянно.

Самой распространённой системой позиционирования является система глобального позиционирования GPS. GPS определяет положение объекта в любой точке Земли. Но многие даже не задумываются о том, что можно определить и отследить положения объекта не только на карте Земли, но и в любом помещении, только это уже относится к другой системе, системе локального позиционирования. Её преимущество заключается именно в точности определения местоположения объекта в ограниченной территории, чего лишена система глобального позиционирования.

На сегодняшний день система локального позиционирования набирает популярность. Чаще всего её используют в сфере контроля и безопасности. В качестве примеров можно рассмотреть обнаружение местоположения объектов, находящихся на складе, отслеживание и предотвращение краж на заводах, обнаружение местоположения медицинского персонала, пожарных и так далее.

Наиболее популярными представляются системы определения местоположения, основанные на использовании беспроводных технологий передачи данных. В состав этих систем входят беспроводные локальные сети (Wireless Local Area Network, далее – WLAN), сети сотовой связи, беспроводные системы на базе сверх широкой полосы (Ultra-Wide Band, далее – UWB) системы с радиочастотной идентификацией (Radio Frequency ID identification, далее – RFID) и беспроводные сенсорные сети (Wireless Sensor Network, далее – WSN), которые обмениваются данными по беспроводной сети. Для расчета локации в качестве данных используются измерения времени распространения, амплитуды радиосигнала, угла приема и другие.

Современные беспроводные технологии предлагают недорогие решения, которые пригодны для массового применения. Они используют частотные диапазоны, в которых можно работать без получения специальных разрешений. При этом на объектах наблюдения размещают беспроводные цифровые приемопередатчики-метки, которые реализуют один из следующих методов измерения расстояния беспроводным способом:

- по уровню сигнала
- по фазе сигнала
- по времени распространения сигнала

Метод измерения расстояния по уровню радиосигнала является наиболее доступным, т.к. практически все беспроводные приемопередатчики измеряют уровень входного сигнала и возвращают параметр (Received Signal Strength Indicator, далее – RSSI). Как правило, они используют стандарты ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi и RFID. Самые простые методы расчета локации используют преобразование значения уровня сигнала между источником и приемником в расстояние. Данный метод позволяет определить местоположение устройства, основываясь на уровне силы сигнала, полученного от приемника.

2 Постановка задачи

Местонахождение беспроводной точки доступа — ключевая задача, от решения которой зависит качество покрытия сигналом территории, а также точность работы системы позиционирования в сети Bluetooth.

3 Разработка методики

3.1 Выбор модулей

В наши дни WI-FI покрытие есть почти у каждого корпоративного клиента и именно данное покрытие чаще всего используют для позиционирования. В тоже время Bluetooth является самым распространенным типом связи для коротких дистанций, который используется нами повседневно: в телефонной гарнитуре, принтерах, компьютерах и т.д. Установка систем позиционирования, работающих по Bluetooth, не потребует больших затрат ввиду их широкой распространенности.

Широкое распространение беспроводных сетей стандарта IEEE 802.15.1, а также устройств, поддерживающих работу с данным стандартом, предрасполагает к использованию нерегламентированных для данных сетей возможностей. Одной из таких возможностей является создание защищенной локальной системы позиционирования с использованием стандарта IEEE 802.15.1

Среди доступных компонентов для создания различных Bluetooth-устройств, модуль HC-05 подходит для создания специальных Bluetooth-меток, используемых в системе локального позиционирования. Данный модуль имеет широкий функционал, но при этом не высокую цену и малые габариты. Это тестовый вариант для малых помещений и его достаточно для определения местоположения, дальность связи такого модуля не превышает 10 метров. Для больших расстояний и большей точности необходимо использовать другие Bluetooth-устройства, например, Bluetooth 5.0.

3.2 Разработка системы

Разрабатываемая система получает данные об изменяющихся сигналах меток передаваемые с помощью своего модуля Bluetooth, а также содержит информацию о координатах всех точек доступа, производит статистический анализ и обработку этих данных, а затем выводит пользователю информацию о местоположении метки с определенной точностью в заданной системе координат.

Разработанная схема, состоящая из подключенных к питанию Arduino nano, и подключенных к ним модуле HC-05, представлена на рисунке 1.

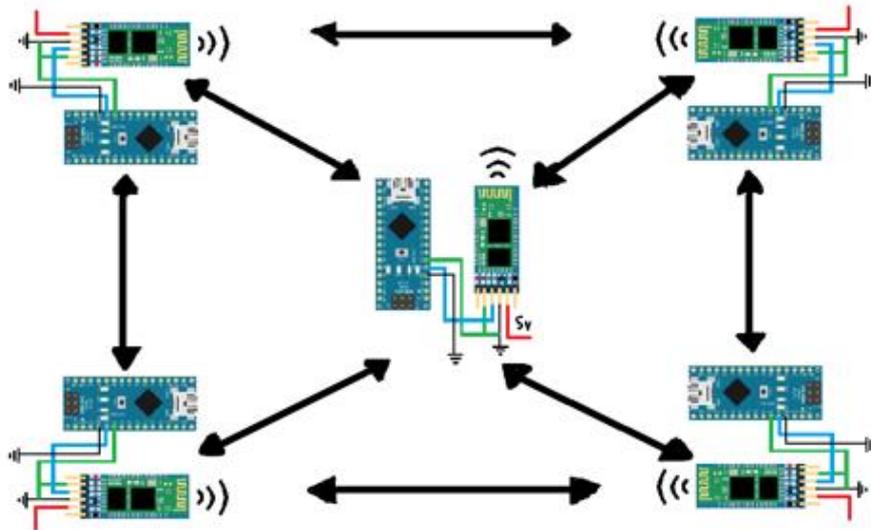


Рисунок 1. Схема связи Bluetooth HC-05 и Arduino Nano

Программное обеспечение модуля Bluetooth должно реализовывать следующие функции:

- Сканирование. То есть получение некоторой информации об окружающих метку и видимых для нее точках доступа Bluetooth, а именно уровень мощности принимаемого сигнала (RSSI).
- Подключение (к точке доступа). Подразумевает запуск режима клиента на Bluetooth-метке. После установки подключение сохраняется, не смотря на выполнение меткой других функций.
- Зашифровка данных перед отправкой. Производится шифрование по заданному алгоритму. Ключ шифрования загружается на каждую метку вместе с программным обеспечением. Благодаря шифрованию система может пересылать данные в открытых сетях, не опасаясь при этом за их конфиденциальность.
- Инкапсуляция. Формирование пакета данных перед отправкой на сервер.
- Отправка данных. Пересылка инкапсулированных данных на сервер, доступный для точки доступа, к которой подключена Bluetooth-метка.

В скетче модуля Bluetooth HC-05 обязательно присутствуют две функции:

- Функция `setup()`. Данная функция запускается один раз, после каждого включения питания или сброса платы. Используется, чтобы инициализировать переменные, установить режимы работы и т.д.
- Функция `loop()`. Эта функция в бесконечном цикле последовательно раз за разом выполняет команды и функции, описанные в ее теле. После каждого завершения функции снова происходит её вызов.

3.3 Программное обеспечение и его настройка

Для того что бы следить за объектом, потребуется использовать программу, которая управляет устройством.

Программное обеспечение управляющего устройства должна выполнять функции:

- Расшифровки данных, зашифрованных на Bluetooth-метке. Ключ шифрования выбирается в соответствии с идентификатором метки.
- Вычисление координат объекта с помощью метода ToF (time of flight)
- Вычисление характера движения объекта;
- Вывод на плане координат объекта и, в случае падения, вывод специального оповещения.

Для начала работы необходима начальная настройка программного обеспечения управляющего устройства. Затем, необходимо сформировать список используемых системой точек доступа, он представлен на рисунке 2.

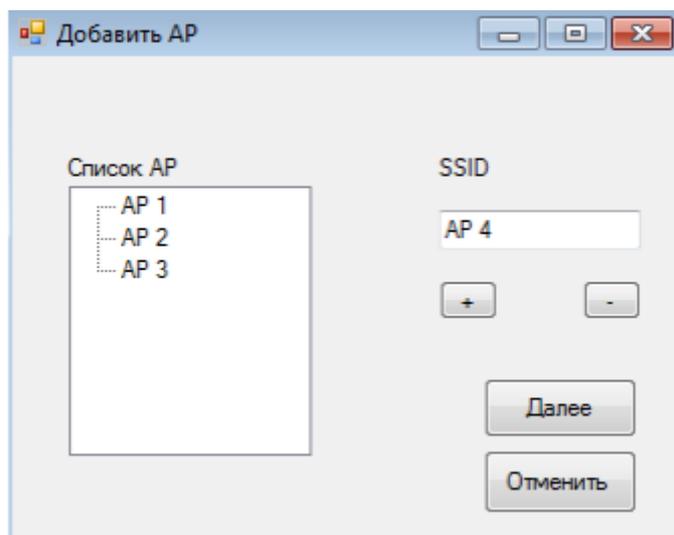


Рисунок 2. Создание списка точек доступа.

Далее необходимо отметить расположение точек доступа на плане местности, которое изображено на рисунке 3.

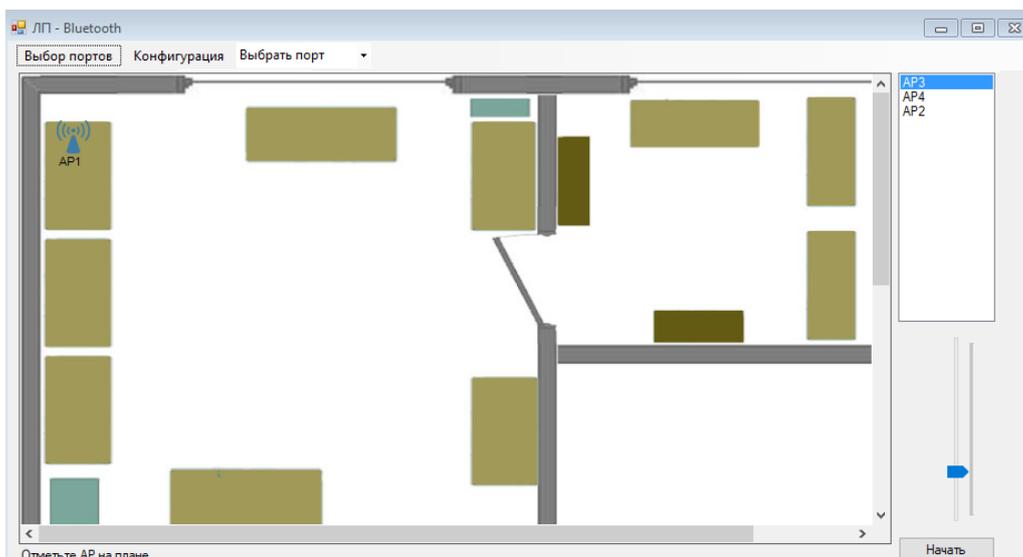


Рисунок 3. Расположение точек доступа на плане.

После всех выполненных действий можно запустить систему и провести тестирование.

3.4 Тестирование системы

Тестирование проводилось как на открытой площадке, так и в помещении. В помещении погрешность позиционирования будет зависеть от количества точек доступа и межкомнатных перегородок, чем больше точек доступа, тем меньше погрешность позиционирования. На открытой площадке распространению сигнала не мешали посторонние объекты, из-за этого точность позиционирования будет гораздо лучше.

О результатах тестирования можно сказать, что погрешность позиционирования в помещении будет больше, чем на открытой площадке из-за присутствия посторонних объектов.

4 Обсуждение

Данную разработанную систему можно использовать для достижения целого ряда целей:

- автоматизация учета и размещения объектов;
- контроль персонала и клиентов организации;
- обеспечение технической безопасности;
- навигация внутри здания;
- получение данных для информационно-аналитической работы;

В наше время большое количество общественных объединений, как частных, так и государственных заинтересованы в контроле и безопасности своих объединений. Каждый владелец, директор или начальник мечтают, не отходя от рабочего места, следить и контролировать сотрудников, их процесс работы в офисе, компании, больнице и т.д. Для

этого и разработано данное устройство, которое имеет большой потенциал практического применения.

5 Заключение

В ходе проделанной работы была выполнена основная задача этого исследования. Проанализированы теоретические данные и сделаны выводы о том, что создание защищенной локальной системы позиционирования с использованием стандарта IEEE 802.15.1 является актуальной задачей. Выполнена работа по разработке данной системы.

Сделаны выводы о работоспособности системы и возможности ее применения для решения ряда задач, таких как:

- Контроль персонала и клиентов общественного объединения;
- Контроль за имуществом;
- Обеспечение технической безопасности;
- Навигация

Список используемой литературы

- [1] Ремпель П.В., Борисов А.П. Использование развернутой сети WiFi для позиционирования внутри помещения // Измерение, контроль, информатизация: материалы XVIII международной научно-технической конференции. /под ред. Л.И. Сучковой. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2017. – с. 32-35
- [2] Ремпель П.В., Борисов А.П. Применение локальной системы позиционирования с использованием сетей wifi в образовательном процессе для студентов // Использование цифровых средств обучения и робототехники в общем и профессиональном образовании: опыт, проблемы, перспективы [Текст] : сборник научных статей III Международной научно-практической конференции, Барнаул, 2-3 ноября 2017 г. – Барнаул : Изд-во Алт. Ун-та, 2017. – с. 118-122
- [3] Ремпель П.В., Борисов А.П. Локальная система позиционирования в развернутой сети WiFi для обеспечения технической безопасности // Информационное пространство в аспекте гуманитарных и технических наук – 2017 / Статьи междисциплинарной межвузовской конференции аспирантов, магистрантов и студентов. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2017. – с. 54-57
- [4] Ремпель П.В., Борисов А.П. Разработка системы позиционирования и фиксирование падения объекта на основе беспроводной сети WiFi // Журнал "Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова" том 21 №2, 2018, с. 211-215
- [5] Игнатенко П.А. Разработка системы позиционирования в закрытых помещениях с использованием метода ангиляции источников Wi-Fi-сигнала / Ухтинский гос. техн. ун-т. – Ухта, 2016.
- [6] Аверин И.М., Семенов В.Ю. Позиционирование пользователей с использованием инфраструктуры локальных беспроводных сетей // IV Всероссийская

конференция «Радиолокация и радиосвязь» (ИРЭ РАН, 29 ноября – 3 декабря 2010 г.). — М., 2010. — С. 475–479.

List of references

- [1] Rempel P.V., Borisov A.P. Using the deployed WiFi network for indoor positioning // Measurement, control, informatization: materials of the XVIII international scientific and technical conference. / ed. L.I. Knots. - Barnaul: Publishing house AltGTU, 2017. - p. 32-35. (In Russian)
- [2] Rempel P.V., Borisov A.P. Application of local positioning system using wifi networks in the educational process for students // Use of digital teaching aids and robotics in general and vocational education: experience, problems and prospects [Text]: collection of scientific articles of the III International Scientific and Practical Conference, Barnaul, 2 November 3, 2017 - Barnaul: Publishing House Alt. University, 2017. - p. 118-122. (In Russian)
- [3] Rempel P.V., Borisov A.P. Local positioning system in the expanded WIFI network for ensuring technical security // Information space in the aspect of humanitarian and technical sciences - 2017 / Articles of the interdisciplinary intercollegiate conference of graduate students, undergraduates and students. - Barnaul: Publishing house Alt. Un-one, 2017. - p. 54-57. (In Russian)
- [4] Rempel P.V., Borisov A.P. Development of a positioning system and recording the fall of an object based on a WiFi wireless network // Journal "Vestnik IzhSTU named after MT Kalashnikov" Vol. 21 No. 2, 2018, p. 211-215. (In Russian)
- [5] Ignatenko P.A. Development of a positioning system in closed premises using the method of angulation of Wi-Fi signal sources / Ukhta State. tech. un-t - Ukhta, 2016. (In Russian)
- [6] Averin I.M., Semenov V.Yu. User positioning using the infrastructure of local wireless networks // IV All-Russian Conference "Radiolocation and Radio Communication" (IRE RAS, November 29 - December 3, 2010). - М., 2010. - С. 475–479. (In Russian)

РАЗРАБОТКА ЛОКАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАНДАРТА IEEE 802.15.4 (ZIGBEE)

Окань С. В.¹
sergeiokan@mail.ru

Борисов А. П.¹
Кандидат технических наук, доцент
alex.borisov84@gmail.com

¹ Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул,
656038, Россия

Аннотация

В данной статье рассматривается проблема определения местоположения внутри помещений. Основной задачей ставится разработка собственной системы локального позиционирования с использованием стандарта IEEE 802.15.4 ZigBee. Производится ознакомление с данным протоколом, выделяются его достоинства и недостатки. Описываются компоненты, которые составляют сеть ZigBee. Выделяются преимущества сетей на основе ZigBee перед сетями на основе Wi-Fi или Bluetooth. Рассматриваются основные методы определения местоположения, используемые протоколом ZigBee. Выдвигаются требования для создания подобных систем. Особое внимание уделяется разрабатываемой системе для получения наилучшего результата с наименьшими затратами. Для этого выбирается микроконтроллер, на основе которого будет функционировать сеть, создаётся программа для наблюдения за перемещением объекта. Производятся тестирования созданной системы в не самых благоприятных условиях, внутри обычного офисного помещения с мебелью (столы, стулья, шкаф). Изучаются результаты эксперимента. Погрешность созданной системы удовлетворительная и составляет 2-4 метров. Выявляются

ключевые факторы, влияющие на погрешность определения координат. В конечном итоге делаются выводы о том, что для улучшения точности позиционирования необходимо правильно организовать сеть и увеличить количество модулей.

Abstract

This article addresses the problem of determining indoor location. The main task is to develop our own local positioning system using the IEEE 802.15.4 ZigBee standard. An acquaintance with this protocol is made, its advantages and disadvantages are highlighted. The components that make up the ZigBee network are described. The advantages of ZigBee based networks over Wi-Fi or Bluetooth based networks are highlighted. The basic location methods used by the ZigBee protocol are discussed. The requirements for the creation of such systems are put forward. Particular attention is paid to the developed system to obtain the best result with the lowest cost. To do this, select a microcontroller, on the basis of which the network will operate, a program is created to monitor the movement of the object. Testing of the created system is carried out in not very favorable conditions, inside a usual office room with furniture (tables, chairs, a wardrobe). The results of the experiment are studied. The error of the created system is satisfactory and amounts 2-4 meters. Identifies key factors influencing the error in determining the coordinates. In the end, it is concluded that in order to improve positioning accuracy, it is necessary to properly organize the network and increase the number of modules.

Ключевые слова: локальное позиционирование, местоположение, mesh-сеть, погрешность, точность, координаты, координатор, роутер, ZigBee метка.

Keywords: local positioning, location, mesh network, error, accuracy, coordinates, coordinator, router, ZigBee tag.

1 Введение

В современном мире происходит быстрое развитие информационных технологий. Одним из наиболее важных направлений является определение местоположения объекта с помощью глобальных или локальных систем. Наиболее известными являются системы глобального

позиционирования, основанные на работе спутников. К ним относятся такие технологии, как GPS, ГЛОНАСС, BeiDou, Galileo. Однако использование систем глобального позиционирования внутри помещений невозможно из-за сильного погашения сигнала. Возможным вариантом определения местоположения внутри зданий является создание систем локального позиционирования.[3]

Системы локального позиционирования позволяют определить местоположение на сравнительно небольшой площади, которая составляет от нескольких десятков метров до нескольких километров. Спрос на подобные технологии очень большой, а появление огромного их количества лишь подтверждает огромные перспективы, открывающиеся для разных отраслей деятельности. На данный момент такие системы используются в таких сферах, как промышленность и строительство, горнодобывающая и нефтегазовая отрасли, транспорт, логистика, медицина и торговля.[4]

Наиболее перспективным для точной навигации внутри помещений на данный момент является протокол ZigBee.

2 Постановка задачи

Задачей данной работы является ознакомление с протоколом передачи данных ZigBee, а также сборка собственной системы локального позиционирования на основе выбранных модулей и проведение эксперимента.

3 Разработка методики

3.1 Стандарт ZigBee

ZigBee – стандарт для набора высокоуровневых протоколов связи, использующих небольшие, маломощные цифровые трансиверы, основанный на стандарте IEEE 802.15.4 для беспроводных персональных сетей.

Протокол ZigBee предназначен для радиочастотных устройств, требующих безопасной передачи данных при не очень больших скоростях, а также возможности длительной работы сетевых устройств от автономных источников питания. Важной особенностью ZigBee является использование топологии «mesh». Это позволяет выбирать оптимальный маршрут следования пакетов. Даже если какое-то устройство в сети выйдет из строя, сеть продолжит функционировать, в отличие, например, от Wi-Fi или Bluetooth, где сетевое взаимодействие происходит через центральный шлюз.[5]

Преимущества:

- Поддержка топологии типа mesh с возможностью ретрансляцией сообщений.
- Простота обслуживания.
- Высокая энергоэффективность.
- Возможность выбора алгоритма маршрутизации.

Недостатки:

— Довольно низкая скорость передачи данных (до 250 Кбит/с), но для обеспечения точности позиционирования большая скорость передачи не требуется.

Сети ZigBee строятся из базовых станций трёх типов: координатора, роутеров и мобильных устройств.

Координатор является главным устройством в сети. Он формирует сеть, выполняет функции центра управления сетью и доверительного центра – устанавливает политику безопасности, задает настройки в процессе присоединения устройств к сети.

Роутеры выполняют транслирование пакетов, осуществляют динамическую маршрутизацию. При формировании сети роутеры присоединяются к координатору или другим роутерам, а также могут присоединять дочерние устройства – роутеры и конечные устройства. Один роутер может обслуживать до 32 мобильных или спящих устройств.

Мобильное устройство может принимать и отправлять пакеты, но не занимается их трансляцией и маршрутизацией. Конечные устройства подключаются к координатору или роутеру. Мобильные устройства могут переводиться в спящий режим для экономии заряда аккумуляторов. Обычно они исполняют роль датчиков или контроллеров каких-либо исполнительных устройств. Их количество зависит от конкретного приложения.

На рисунке 1 представлена организация типичной ZigBee сети топологии «mesh».

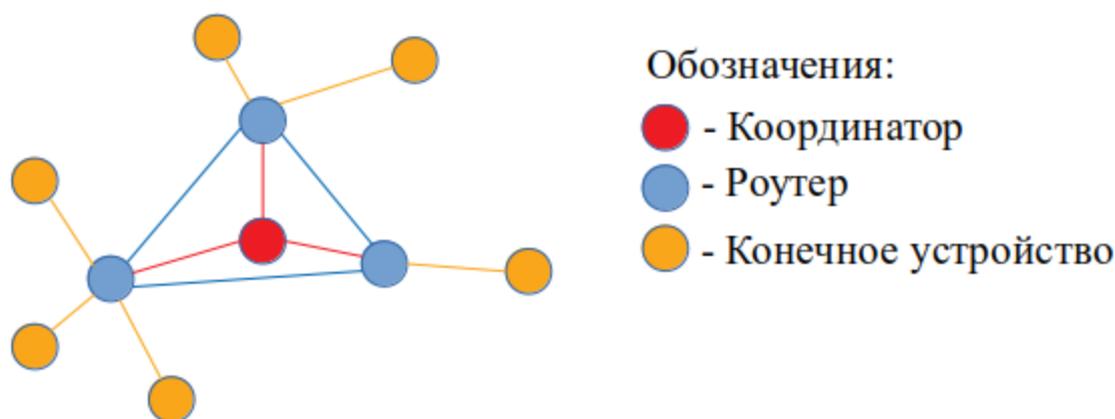


Рисунок 1. Организация ZigBee сети.

Системы локального позиционирования также могут быть построены на основе других популярных протоколов, например, Wi-Fi, Bluetooth, WiMAX. Однако у них всех есть большой недостаток – низкая точность определения местоположения (погрешность может составлять более 50 метров). Протокол ZigBee способен обеспечивать точность позиционирования в пределах 2-5 метров. Также ZigBee наиболее энергоэффективен в сравнении с ними. [9]

3.2 Методы определения местоположения, используемые ZigBee

Для определения местоположения ZigBee использует методы: RSSI, ToF, TDoA.

RSSI (received signal strength indicator) позволяет определить местоположение устройства, основываясь на уровне силы сигнала, полученного станцией или наоборот. Для использования этого метода применяется либо преобразование уровня мощности сигнала в расстояние, либо в соответствии с картами покрытия.

Метод ToF (time of flight) основан на измерении времени, которое тратит электромагнитная волна на преодоление расстояния между базовой станцией до устройства и возвращения к станции после отражения. Получив это время и зная скорость движения волны, можно вычислить расстояние от устройства до станции.

Метод TDoA (time difference of arrival) основан на измерении разницы во времени передачи сигнала от устройства до базовой станции, с синхронизированными часами и заранее известным местоположением. Зная разницу во времени получения сигнала можно получить расстояние от мобильного устройства до базовых станций. [8]

В данном эксперименте будет использоваться метод RSSI.

3.3 Требования к системам локального позиционирования

К системам локального позиционирования предъявляются следующие требования:

- Радиус действия;
- Помехоустойчивость;
- Устойчивость к многолучевому затуханию;
- Малые габариты и вес меток;
- Низкое энергопотребление;
- Простота развертывания и эксплуатации;
- Электромагнитная совместимость, необходимость получения частотного разрешения;
- Стоимость. [7]

4 Проведение эксперимента

4.1 Выбор модулей и создание сети

Для построения сети был выбран модуль XBee Series 2 и плата Arduino Nano. Данный модуль является относительно новым на рынке, поэтому необходимо провести небольшой научный эксперимент, чтобы проверить его реальные возможности с целью дальнейшего его использования в промышленных масштабах. Модуль имеет рабочую частоту в пределах 2,4-2,4835 ГГц. Дальность действия в помещении 40 м. Скорость передачи данных по радиоканалу составляет 250 Кбит/с, по интерфейсу – 1,2-230,4 Кбит/с. Напряжение питания составляет 2,1-3,6 В, которое как раз обеспечивается выбранной платой. Плата Arduino Nano работает на чипе ATmega328P. [1]

На рисунке 2 представлена схема подключения модуля XBee Series 2 к плате Arduino Nano.

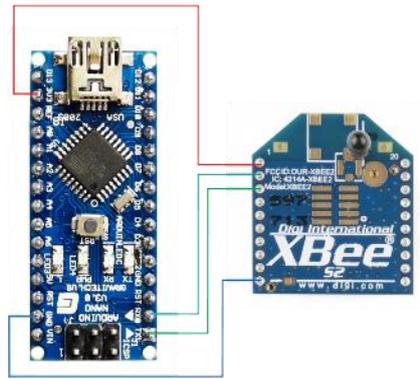


Рисунок 2. Схема подключения XBee Series 2 к Arduino Nano.

На рисунке 3 представлена схема разрабатываемой сети.

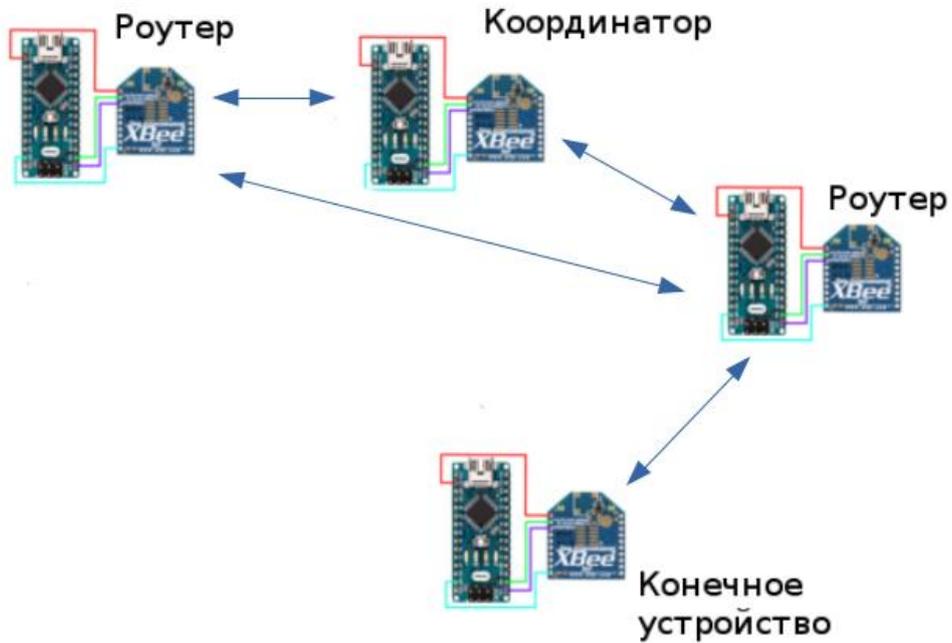


Рисунок 3. Схема разрабатываемой сети.

Для того чтобы следить за перемещением объекта, была написана специальная программа. Скриншот программы представлен на рисунке 4. Для начала работы необходимо выбрать план помещения. Изображение плана отображается на форме по центру. Справа отображается информация об используемых модулях.

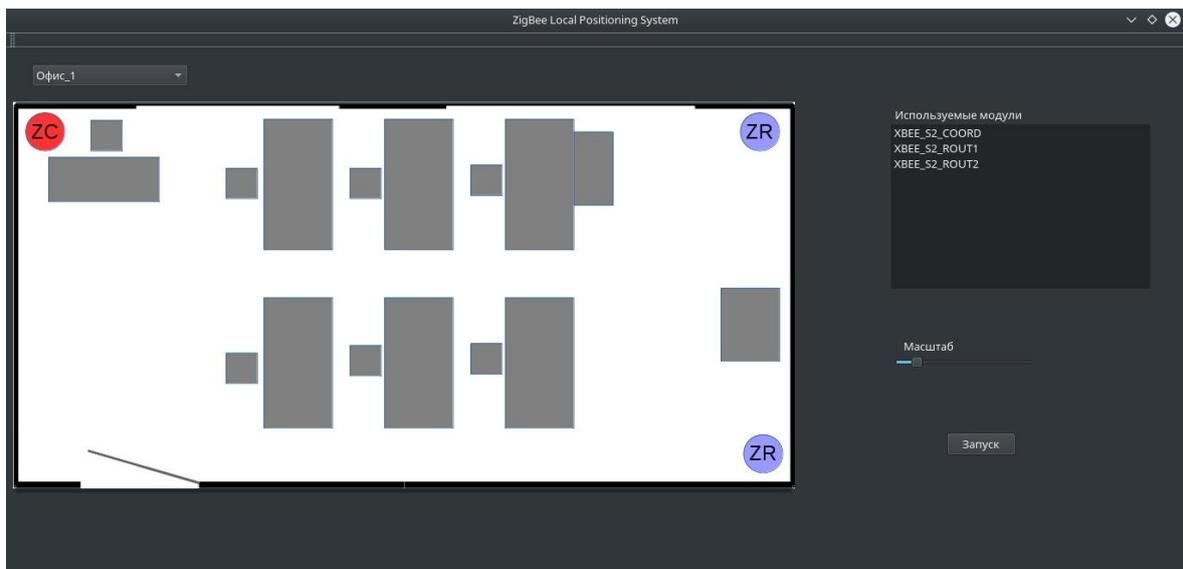


Рисунок 4. Окно программы.

4.2 Тестирование системы и результаты

Тестирование системы производилось в помещении, где распространение сигнала ухудшается из-за окружающих предметов. Размер помещения составляет 19x9 метров. Координатор и два роутера расставлены по углам. Прямоугольниками на рисунке обозначается мебель (столы, стулья, шкафы). На рисунке 5 представлен результат тестирования. В определённые моменты времени фиксировалось местоположение метки. Местоположение рассчитывается с помощью метода RSSI. Жёлтые точки на рисунке 5 означают фактические положения, жёлтые линии – фактическое перемещение, синие точки – рассчитанные системой положения, синие линии – рассчитанное перемещение.

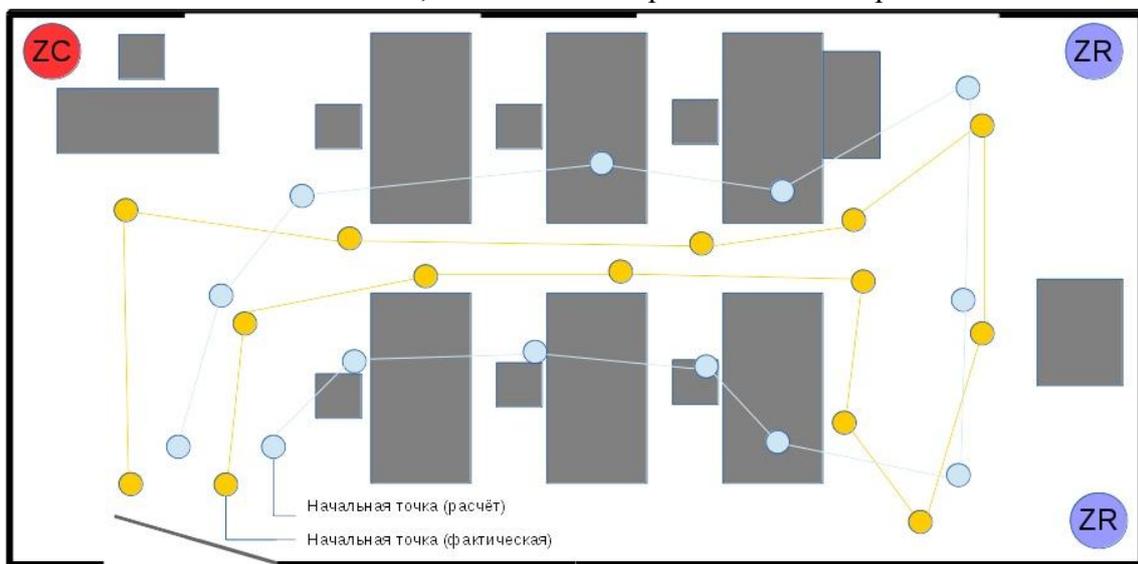


Рисунок 5. Результат тестирования системы.

Данный эксперимент был проведён несколько раз. Как видно из рисунка, определение местоположения метки происходит с определённой погрешностью. Возникновение погрешности связано с тем, что затухание сигнала внутри помещения происходит неравномерно. Поэтому алгоритм определения местоположения основывается не на абсолютных, а на относительных значениях уровня сигнала. Далее, зная точное местоположение метки, а также рассчитанное местоположение, определялось значение погрешности позиционирования.

Получившаяся погрешность определения местоположения колеблется от 2 до 4 метров. В местах, где метка находилась в прямой видимости роутера, погрешность меньше, чем в местах, где между роутерами и меткой находилась мебель. Уменьшить погрешность можно за счёт увеличения числа точек доступа в сети.[2]

5 Заключение

На основе проведённого эксперимента видно, что созданная система локального позиционирования способна выполнять свои задачи. Однако погрешность определения местоположения удовлетворительная. Для повышения точности необходимо увеличить количество точек доступа.

Список используемой литературы

- [1] Олег Пушкарев. ZigBee-модули XBee Series 2 с поддержкой Mesh-топологии. [Электронный ресурс]: Новости электроники, журн., 2007, №16, ст. 5. Режим доступа: <https://www.compel.ru/lib/ne/2007/16/5-zigbee-moduli-xbee-series-2-s-podderzhkoj-mesh-topologii> - свободный - Загл. с экрана – Рус. яз.
- [2] Джарел Бои. Определение положения устройства стандарта ZigBee. [Электронный ресурс]: Беспроводные технологии, журн., 2007, №4. Режим доступа: http://wireless-e.ru/articles/bluetooth/2007_4_46.php - свободный - Загл. с экрана – Рус. яз.
- [3] Ремпель П.В., Борисов А.П. Использование развернутой сети WiFi для позиционирования внутри помещения // Измерение, контроль, информатизация: материалы XVIII международной научно-технической конференции. /под ред. Л.И. Сучковой. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2017, с. 32-35
- [4] Аверин, И.М. Позиционирование пользователей с использованием инфраструктуры локальных беспроводных сетей / И.М. Аверин, В.Ю. Семенов // IV Всероссийская конференция «Радиолокация и радиосвязь» (ИРЭ РАН, 29 ноября – 3 декабря 2010 г.). — М., 2010. — С. 475–479.
- [5] Ремпель П.В. Локальная система позиционирования в сетях WiFi // Инновационные технологии в науке нового времени: сборник статей Международной научно – практической конференции (1 февраля 2017 г., г. Уфа). В 3 ч. Ч.3/ - Уфа: АЭТЕРНА, 2017. – с. 98-100

- [6] Ремпель П.В., Борисов А.П. Применение локальной системы позиционирования с использованием сетей WiFi в образовательном процессе для студентов // Использование цифровых средств обучения и робототехники в общем и профессиональном образовании: опыт, проблемы, перспективы [Текст] : сборник научных статей III Международной научно-практической конференции, Барнаул, 2-3 ноября 2017 г. – Барнаул : Изд-во Алт. Ун-та, 2017. – с. 118-122
- [7] Игнатенко П.А. Разработка системы позиционирования в закрытых помещениях с использованием метода ангуляции источников Wi-Fi-сигнала / Ухтинский гос. техн. ун-т. – Ухта, 2016.
- [8] Рошан П., Лиэри Д. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11. – М.: Вильямс, 2004.
- [9] Ремпель П.В. Борисов А.П. Локальная система позиционирования с использованием сети Wi-Fi // МАТЕС Web of Conferences 155, 01014 (2018) (IME&T 2017)

List of references

- [1] Oleg Pushkarev. ZigBee-Modules XBee Series 2 with support Mesh-topology. [Electronic resource]: *Novosti elektroniki*, journal., 2007, №16, art. 5. Access mode: <https://www.compel.ru/lib/ne/2007/16/5-zigbee-moduli-xbee-series-2-s-podderzhkoy-mesh-topologii-free> –Scr. title – Rus.
- [2] Jarle Boe. Determining the position of a ZigBee standard device. [Electronic resource]: *Besprovodnyie tekhnologii*, journal., 2007, №4. Access mode: http://wireless-e.ru/articles/bluetooth/2007_4_46.php - free –Scr. title – Rus.
- [3] P.V. Rempel, A.P. Borisov. Using a deployed WiFi network for indoor positioning // *Izmerenie, control, informatizatsiya: materialy XVIII mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii*. /edit by L.I. Suchkova. – Barnaul: Publ. AltSTU, 2017, pp. 32-35
- [4] I.M. Averin. User positioning using local wireless infrastructure / I.M. Averin, V.Y. Semenov // *IV Vserossiyskaya konferentsiya «Radiolokatsiya i radiosvyaz» (IRE RAS, 29 November – 3 December 2010 y.)*. — М., 2010. — PP. 475–479.
- [5] P.V. Rempel. Local Positioning System in WiFi Networks // *Innovatsionniye tekhnologii v nauke novogo vremeni: sbornik statei Mezhdunaronoi nauchno – prakticheskoi konferentsii (1 February 2017 y., g. Ufa)*. V 3 ch. Ch.3/ - Ufa: AETERNA, 2017. – pp. 98-100
- [6] P.V. Rempel, A.P. Borisov. Using the local positioning system using WiFi networks in the educational process for students // *Ispolzovaniye tsifrovyykh sredstv obucheniya i robototekhniki v obshchem i professionalnom obrazovanii: opyt, problemy, perspektivy [Text]* : sbornik nauchnykh statey III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Barnaul, 2-3 November 2017 y. – Barnaul : Publ Alt. Un-ta, 2017. – pp. 118-122

- [7] P.A. Ignatenko. Development of a positioning system in closed rooms using the method of angulation of Wi-Fi signal sources / Ukhtinskiy gos. tekhn. un-t. – Ukhta, 2016.
- [8] P. Roshan, D. Lieri. The Basics of Building 802.11 Wireless Local Area Networks. – M.: Vilyams, 2004.
- [9] P.V. Rempel, A.P. Borisov. Local positioning system using Wi-Fi network // MATEC Web of Conferences 155, 01014 (2018) (IME&T 2017)
- [10] Mohamad Huzaimy Jusoh, Muhammad Firdaus Bin Jamali, Ahmad Faizal bin Zainal Abidin, Ahmad Asari Sulaiman and Mohamad Fahmi Hussin (2015) Wi-Fi and GSM Based Motion Sensor for Home Security System Application. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 99 012010

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ОПЕРАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ КОМПАНИЙ

Гиргель Г. В.
boichuk_galina@mail.ru

Гостева Д. В.
dvgus@yandex.ru

Скоробогатова А. В.
skoalyona@yandex.ru

Сурова Е. А.
petrova.zhenya.scc@mail.ru

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»,
г. Ставрополь, 355037, Россия

Аннотация

В последние годы в отрасли связи происходят огромные изменения, связанные с инфраструктурой, услугами и приложениями. Необходимость перехода операторов связи от аналого-цифрового варианта к реализации конвергентной сети привела к разработке концепции сетей следующего поколения. Для решения перечисленных проблем необходимо создание эффективных систем поддержки операционной деятельности телекоммуникационных компаний. Рассмотрены основные методы построения сетей следующего поколения, которые определяют необходимость разработки эффективных автоматизированных систем управления NGN-сетями и услугами. Проведена классификация проблем, возникающих при создании эффективных систем управления инфокоммуникационными сетями и услугами. Задачей данного исследования является рассмотрение методов машинного обучения и сфер его применения. Проанализированы особенности применения методов машинного обучения при создании эффективных систем поддержки операционной деятельности телекоммуникационных компаний.

Abstract

In recent years, the communications industry has undergone tremendous changes in infrastructure, services and applications. The need to move telecom operators from the analog-digital version to the implementation of a converged network led to the development of the concept of next-generation networks. To solve these problems, it is necessary to create effective systems to support the operating activities of telecommunications companies. The main methods of building next-generation networks are considered, which determine the need for developing effective automated control systems for NGN-networks and services. The classification of problems arising in the creation of effective information and communication networks and services management systems has been carried out. The objective of this study is to consider methods of machine learning and its applications. Analyzed the features of the application of machine learning methods in creating effective systems to support the operating activities of telecommunications companies.

Ключевые слова: Next Generation Networks, Quality of Service, OSS/BSS, Framework, машинное обучение, контролируемое обучение, неконтролируемое обучение, метод классификации, регрессионный метод, кластеризация.

Keywords: Next Generation Networks, Quality of Service, OSS/BSS, Framework, machine learning, supervised learning, unsupervised learning, classification techniques, regression techniques, clustering.

1 Введение

Телекоммуникационные сети за последние десятилетия все более проникают в нашу жизнь. В данный момент невозможно представить себе обычный день без использования мобильного телефона, использования других беспроводных сетей, доступа в интернет, обмена сообщениями по электронной почте, общения в социальных сетях, просмотра программ цифрового эфирного и спутникового телевидения.

Потребители и поставщики услуг связи в равной степени заинтересованы в наличии, скорости и надежности предоставления этих услуг. Потребители услуг связи получают их на возмездной основе и заинтересованы в определенном качестве обслуживания (Quality of Service, QoS). В свою очередь поставщики услуг стремятся увеличить свой доход за счет максимального использования ограниченных сетевых ресурсов, а также предоставить услуги

с оговоренным уровнем качества для сохранения и, по возможности, расширения клиентской базы.

В последние годы в отрасли связи происходят огромные изменения, связанные с инфраструктурой, услугами и приложениями. Традиционно (в 1990-х годах) операторы фиксированной и мобильной связи предлагали базовые услуги, в основном передачу голоса. Появление услуги доступа в Интернет позволило операторам фиксированной связи привлечь дополнительных клиентов. Позже телекоммуникационные компании стали применять модель Triple Play, когда в единую услугу включаются услуги телефонной сети общего пользования (ТфОП – PSTN, Public Switched Telephone Network), доступ в Интернет и кабельное телевидение (например, аналоговое CATV (Community Antenna Television) или цифровое DVB-C (Digital Video Broadcasting – Cable)). Развитием Triple Play является модель Quadruple Play, когда к трем имеющимся пакетам услуг добавляется сервис мобильной связи, реализуемый с использованием WiFi-режима мобильного телефона. Применение данных моделей согласуется с принципами создания единой корпоративной сети стационарных и мобильных телефонов с общим планом короткой нумерации на основе технологии конвергенции сетей связи – FMC (Fixed Mobile Convergence) [1, 2].

Процессы конвергенции сетей связи привели к необходимости разработки технологий предоставления услуг связи нового типа, получивших название инфокоммуникационных услуг. Инфокоммуникационная услуга – услуга связи, предполагающая автоматизированную обработку, хранение или предоставление по запросу информации с использованием средств вычислительной техники, как на входящем, так и на исходящем конце соединения [3].

Необходимость перехода операторов связи от аналого-цифрового варианта к реализации конвергентной сети привела к разработке концепции сетей следующего поколения (Next Generation Networks, NGN) [1, 4]. В архитектуре NGN можно определить три отдельные части: транспортную сеть, граничную сеть и совокупность сетей доступа (рис. 1) [5]. Транспортная сеть – это IP-сеть с коммутацией пакетов, которая поддерживает различные технологии. Сеть доступа включает в себя как проводные (xDSL, FTTH), так и беспроводные (WLAN, GSM, WiMAX).

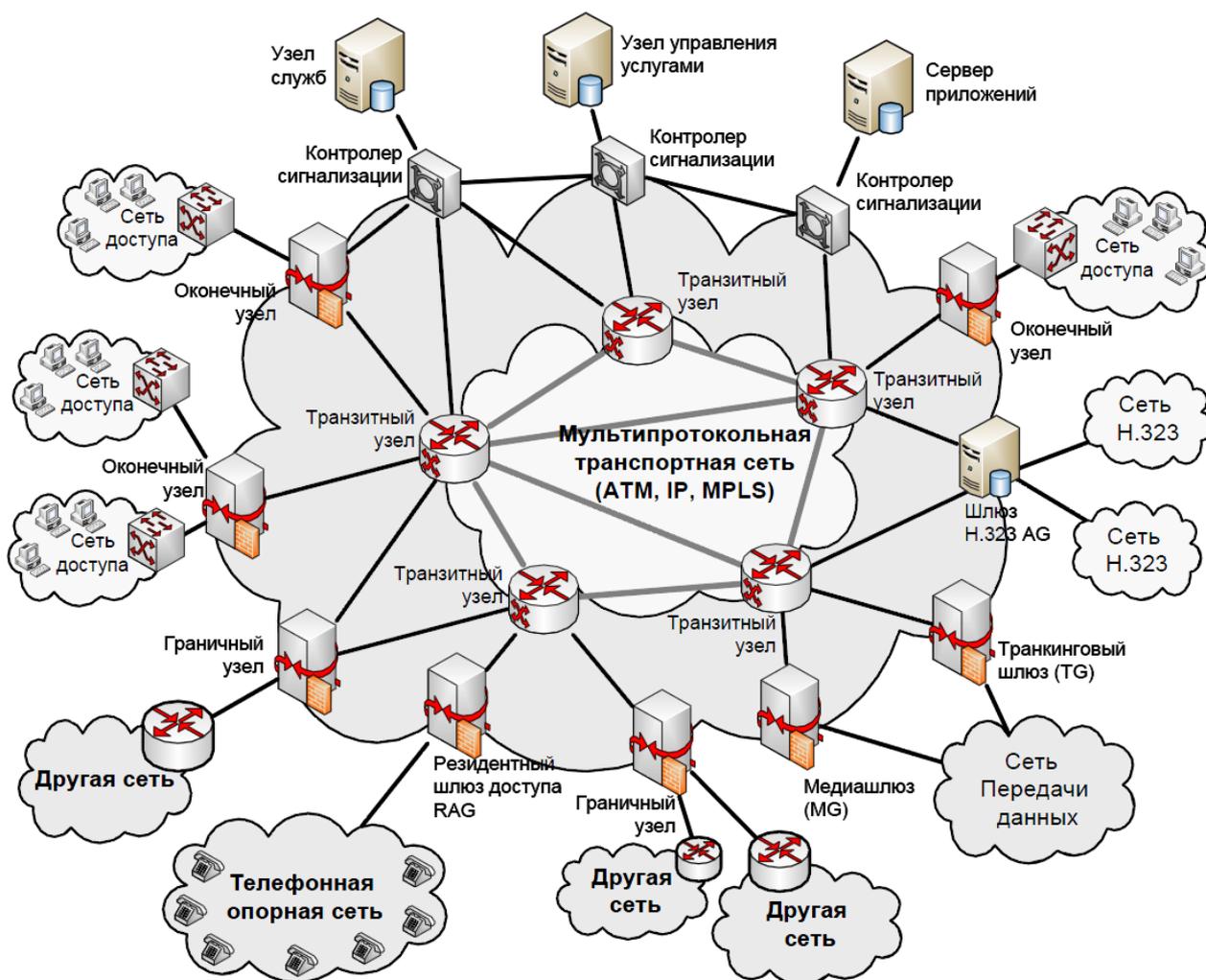


Рисунок 1. Архитектура сети связи (согласно концепции NGN).

Рассмотренные методы построения сетей следующего поколения определяют необходимость разработки эффективных автоматизированных систем управления NGN-сетями и услугами [7–10].

2 Проблемы управления в инфокоммуникационных сетях

Проблемы, возникающие при создании эффективных систем управления инфокоммуникационными сетями и услугами можно разделить на первичные, вторичные и третичные [2].

Первичные проблемы касаются аспектов качества обслуживания, моделирования и распределенного мониторинга:

1. Качество обслуживания. В сетях доступа NGN используется множество разнообразных (проводные, беспроводные, мобильные) технологий и устройств

имеющих различные уровни потребностей в QoS. Это требует тщательной разработки и внедрения гибкого и адаптивного механизма QoS.

2. Системное моделирование. Для эффективного управления гетерогенной и динамичной системой связи необходимо разработать методы ее моделирования. Разработанные модели помогут автоматизировать деятельность систем поддержки операционной деятельности телекоммуникационных компаний. В работе моделей можно учесть особенности функционирования оборудования и программного обеспечения, а также поведение пользователей в рамках системы. Также модели позволяют предсказать поведение объектов управления, без этого требуемый уровень QoS не может быть достигнут.
3. Распределенный мониторинг. Мониторинг сетевых элементов (Network Elements) – это первый шаг к реализации любых расширенных функций управления сетью, таких как предоставление QoS или оптимизация производительности. Учитывая масштаб развертывания NGN, требуется, чтобы мониторинг был быстрым и легким.

Вторичные проблемы касаются особенностей гетерогенности и динамической конфигурации NGN-сетей:

1. Гетерогенность. NGN содержат элементы, функционирующие по устаревшим (например, ТфОП) и новым технологиями связи (стандарты беспроводных и мобильных телекоммуникаций). Это приводит к высокому уровню неоднородности в отношении оборудования, услуг, протоколов и форматов представления информации. Необходимо обеспечить пользователям справедливый уровень доступности разнообразных услуг, что является одной из наиболее важных проблем, которые необходимо решить в управлении NGN.
2. Динамическая конфигурация. Предполагается расширение функционала сетевых элементов NGN (например, коммутаторов и высокопроизводительных маршрутизаторов) в направлении динамической конфигурации на основе программного управления.

Третичные проблемы касаются вопросов стандартизации управления, безопасности и экономических аспектов:

1. Стандартизация управления. Чтобы операторы и поставщики услуг связи могли воспользоваться богатыми функциями NGN и инвестировать в долгосрочную технологию, архитектура управления NGN должна быть стандартизирована. Обеспечение единообразия методологии управления, структуры системы, информационной модели и протоколов, позволит затем использовать их для поддержки основных функций управления NGN.
2. Безопасность. NGN является разнородной средой интегрирующей различные открытые платформы и системы. При участии многих поставщиков оборудования и услуг связи, существует высокий уровень риска нарушения правил безопасности. Необходимо разработать для NGN безопасную и гибкую архитектуру аутентификации, авторизации и учета (Authentication, Authorization, Accounting – AAA).

3. Экономические аспекты. Эффективное управление сетью связи связано, в том числе, с экономическими аспектами деятельности телекоммуникационного предприятия при предоставлении и тарификации услуг, оценке стоимости процессов управления сетью и услугами.

3 Постановка задачи

Для решения перечисленных проблем необходимо создание эффективных систем поддержки операционной деятельности телекоммуникационных компаний OSS/BSS (Operation Support System/Business Support System), которые должны создаваться согласно рекомендациям TM Forum [11, 12]. Данная международная некоммерческая организация является разработчиком спецификаций и стандартов в области информатизации бизнес-процессов на предприятиях связи. Предлагаемая TM Forum концепция Framework (бывшая NGOSS) включает в себя следующие инструменты (рис. 2):

- Business Process Framework (eTOM) – описывает структуру бизнес-процессов компании связи.
- Information Framework (SID) – определяет подход к описанию и использованию данных, задействованных в бизнес-процессах компании связи.
- Application Framework (TAM) – описывает типовую структуру компонентов информационной среды предприятий связи.
- Open APIs – набор стандартных API, обеспечивающих быструю, повторяемую и гибкую интеграцию между операциями и системами управления.
- Metrics – стандартизированная модель показателей, объединяющая более 2900 стандартных измеримых показателей для оценки различных аспектов деятельности.

Новые подходы к построению OSS/BSS также должны базироваться на технологиях виртуализации сетевых функций (Network Functions Virtualization, NFV) [13] и программно-конфигурируемых сетей (Software Defined Network, SDN) [14].

Проблемы, возникающие при реализации систем управления NGN, а также функции необходимые для эффективной работы OSS/BSS, подтверждают важность рассмотрения методов машинного обучения, в качестве технологии работы автоматизированных систем управления NGN-сетями и услугами.

Машинное обучение (МО – ML, Machine Learning) является классом методов искусственного интеллекта (ИИ – AI, Artificial Intelligence), занимающихся разработкой алгоритмов, которые совершенствуют свое поведение на основе наблюдений с течением времени [16, 17]. Стратегии обучения приобретают популярность при моделировании сложных систем благодаря их способности включать интеллектуальные, автономные и предсказательные функции для повышения производительности. Подходы МО широко подразделяются на две категории: контролируемое и неконтролируемое обучение.

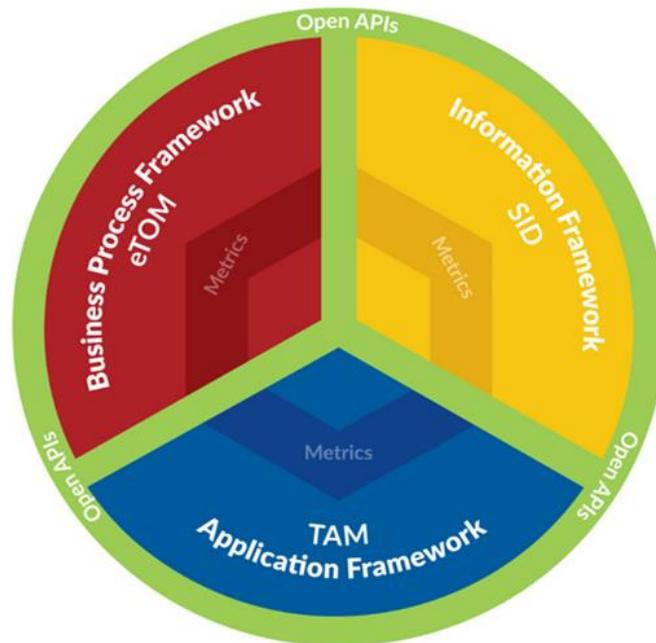


Рисунок 2. Структура Framework TM Forum [7].

Задачей данного исследования является рассмотрение методов машинного обучения и сфер его применения.

4 Методы машинного обучения

Задачи машинного обучения включают исследования и разработку алгоритмов, которые используются в адаптивных системах. Машинное обучение позволяет создавать системы управления, которые автоматически обучаются, в дальнейшем используя полученный опыт, становятся еще «умнее». Это одна из наиболее быстро растущих технических областей, лежащих на пересечении компьютерных наук и статистики, а также в основе искусственного интеллекта и науки о данных. Недавний прогресс в машинном обучении был обусловлен как разработкой новых алгоритмов обучения и теорий, так и продолжающимся взрывом в доступности онлайн данных и недорогих вычислений. Представленные на рис. 3 и 4 потоки задач показывают, как работает технология машинного обучения.

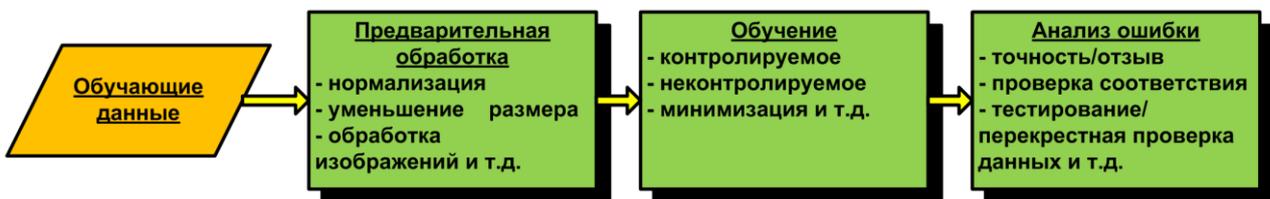


Рисунок 3. Первый этап процесса машинного обучения.



Рисунок 4. Второй этап процесса машинного обучения.

Машинное обучение использует два метода обучения: контролируемое, которое тренирует модель на входных и выходных данных, что позволяет прогнозировать будущие выходные данные и неконтролируемое, которое находит скрытые шаблоны или встроенные структуры во входных данных (рис. 5).



Рисунок 5. Методы машинного обучения.

Контролируемое обучение – это задача по изучению функции, которая отображает входные данные на выходе на основе примеров пар ввода-вывода. Он представляет функцию из помеченных данных обучения, состоящих из набора примеров обучения. В контролируемом обучении каждый пример представляет собой пару, состоящую из входного объекта (обычно вектора) и желаемого выходного значения (также называемого контрольным сигналом). Контролируемый алгоритм обучения анализирует данные обучения и выдает предполагаемую функцию, которая может использоваться для сопоставления новых примеров. Оптимальный сценарий позволит алгоритму правильно определять метки классов для невидимых экземпляров. Это требует, чтобы алгоритм обучения обобщал данные обучения на невидимые ситуации «разумным образом».

Методы классификации предсказывают дискретные ответы, например, является ли электронное письмо подлинным или спамом или же опухоль является раковой или доброкачественной. Классификационные модели классифицируют входные данные в категории. Типичные приложения включают медицинскую визуализацию, распознавание речи и кредитный скоринг. Методы классификации можно использовать, если имеющиеся данные могут быть помечены, классифицированы или разделены на определенные группы или классы. Этот метод используется для решения различных проблем в беспроводных сенсорных сетях, таких как таргетинг объектов и локализация, обработка запросов и обнаружение событий, управление доступом к среде, обнаружение вторжений.

Регрессионные методы предсказывают непрерывные реакции - например, изменения температуры или колебания в энергопотреблении. Типичные области применения включают прогнозирование нагрузки на электроэнергию и алгоритмическую торговлю. Данный метод можно использовать, если данные имеют диапазон или характер ответа представляет собой реальное число, такое как температура или время.

Неконтролируемое обучение – это раздел, который учится на основе тестовых данных, которые не были помечены, классифицированы или категоризованы. Вместо того чтобы отвечать на отзывы, неконтролируемое обучение выявляет общие черты в данных и реагирует на основе наличия или отсутствия таких общих черт в каждой новой части данных.

Кластеризация является наиболее распространенным неконтролируемым методом обучения. Он используется для исследовательского анализа данных при поиске скрытых шаблонов или групп совпадений в данных. Применение: анализ последовательности гена, исследование рынка и распознавание объектов.

Уменьшение размерности – преобразование данных, состоящее в уменьшении числа переменных путём выделения главных переменных.

Выявление аномалий: на основании входных данных выявлять аномалии. Особенностью данного метода зачастую является малое количество примеров аномалий для тренировки модели, либо их отсутствие.

Для выполнения задач машинного обучения используют 5 основных этапов:

1. Сбор данных: будь это сырые данные из Excel, access, текстовых файлов и т. д., Этот шаг (сбор прошлых данных) формирует основу будущего обучения. Чем лучше разнообразие, плотность и объем соответствующих данных, тем лучше становится перспектива обучения машины.
2. Подготовка данных: любой аналитический процесс зависит от качества используемых данных. Однажды необходимо потратить время на определение качественных данных, а затем предпринять шаги для устранения проблем таких, как недостающие данные.
3. Обучение модели: этот шаг включает в себя выбор соответствующего алгоритма и представление данных в виде модели. Отфильтрованные данные разделены на две части – train и test (пропорция в зависимости от предпосылок); первая часть (данные

- по тренировке) используются для разработки модели. Вторая часть (тестовые данные), используется в качестве опорных данных.
4. Оценка модели: для проверки точности, предназначена вторая часть данных (контрольные / тестовые данные). Этот шаг определяет точность при выборе алгоритма на основе исходных данных.
 5. Повышение производительности: на этом этапе может потребоваться выбор другой модели или ввод дополнительных переменных для повышения эффективности. Вот почему необходимо потратить время на сбор и подготовку данных.

5 Применение машинного обучения

Машинное обучение – невероятный прорыв в области искусственного интеллекта. Возможности, которые открывает перед нами машинное обучение в будущем, практически безграничны. Автоматизация сетей – это богатая область применения машинного обучения из-за огромного количества создаваемых и управляемых данных.

Машинное обучение дает надежду на то, что применение его методов, многократно и согласованно, может создавать надежные, самостоятельно настраиваемые и самовосстанавливающиеся системы, необходимые для удовлетворения будущих вычислительных потребностей.

Сложная динамика сетевой оркестровки и управления – еще одна область, где мы, вероятно, увидим приложения систем машинного обучения. Машинное обучение позволит этим системам адаптироваться к развивающимся средам, оптимизировать ресурсы, доступные в виртуализированных сетях, а также настроить и управлять сетью.

Использование стратегий машинного обучения для решения многочисленных задач в беспроводных сенсорных сетях, включающих операционные и прикладные задачи, позволит минимизировать расходы на связь, а так же снизить вычислительную нагрузку на узлы, за счет чего и их энергопотребление. Восемьдесят процентов энергии в сенсорных узлах используется для взаимодействия узлов между собой. Полезный метод уменьшения размерности необходим для того чтобы уменьшать объем передаваемых данных, что также увеличит продолжительность жизни сети.

6 Заключение

Рассмотрены основные методы построения сетей следующего поколения, которые определяют необходимость разработки эффективных автоматизированных систем управления NGN-сетями и услугами. Проведена классификация проблем, возникающих при создании эффективных систем управления инфокоммуникационными сетями и услугами. Задачей данного исследования является рассмотрение методов машинного обучения и сфер его применения. Проанализированы особенности применения методов машинного обучения при создании эффективных систем поддержки операционной деятельности телекоммуникационных компаний OSS/BSS.

Список используемой литературы

- [1] Kataria D., Logothetis D. Fixed mobile convergence: network architecture, services, terminals, and traffic management. 16th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC 2005), pp. 2289–2300, 2005.
- [2] Bashar A., Parr G., McClean S., et al. Application of Bayesian Networks for Autonomic Network Management. *Journal of Network & Systems Management*, October 2013 April 2014, Volume 22, Issue 2, pp 174–207.
- [3] Букина Е. В. Сети связи и системы коммутации: Учебное пособие. – Екатеринбург: УрТИСИ ГОУ ВПО «СибГУТИ», 2007. – 186 с.
- [4] Lee C., Knight D. Realization of the next-generation network. *IEEE Commun. Mag.* 43(10), pp. 34–41, 2005.
- [5] Макаренко С. И. Сети следующего поколения NGN / С. И. Макаренко, Н. Н. Чаленко, А. Г. Крылов // Системы управления, связи и безопасности. – 2016. – № 1. [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/seti-sleduyuschego-pokoleniya-ngn> (дата обращения: 05.12.2018).
- [6] Modarressi A. R., Mohan S. Control and management in next-generation networks: challenges and opportunities. *IEEE Commun. Mag.* 38(10), pp. 94–102, 2000.
- [7] Мочалов В. П. Метод анализа процессов управления инцидентами системы управления услугами связи на основе сетей Петри / В. П. Мочалов, С. В. Яковлев // Инфокоммуникационные технологии. – 2007. Т 5. – № 1. – С. 48–52.
- [8] Мочалов В. П. Формализованное описание процесса разработки системы поддержки операционной и бизнес-деятельности оператора связи / В. П. Мочалов, С. В. Яковлев, Д. В. Мочалов // Теория и техника радиосвязи. – 2011. – № 4. – С. 108–112.
- [9] Слюсарев Г. В. Аналитическая модель системы обслуживания заказов оператора связи / Г. В. Слюсарев, В. П. Мочалов, С. В. Яковлев, С. В. Жубреев, А. А. Кульпинов, Д. В. Мочалов // Научно-технические технологии. – 2012. – Т. 13. № 7. – С. 71–76.
- [10] Mochalov V. P., Bratchenko N. Yu., Yakovlev S. V. Analytical model of object request broker based on Corba standard. *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1015, № 2, p. 022012, May 2018. DOI: 10.1088/1742-6596/1015/2/022012.
- [11] TM Forum website [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tmforum.org/> (дата обращения: 05.12.2018).
- [12] Mochalov V. P., Bratchenko N. Yu., Yakovlev S. V., Gosteva D. V. Distributed Management System for Infocommunication Networks Based on TM Forum Framework. REMS 2018: Russian Federation & Europe Multidisciplinary Symposium on Computer Science and ICT, NCFU – North-Caucasus Federal University Stavropol, Russia, October 2018 [accepted for publication].
- [13] NFV homepage on ETSI [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.etsi.org/technologies-clusters/technologies/nfv/> (дата обращения: 05.12.2018).

- [14] SDN nomenclature on Open Networking Foundation [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.opennetworking.org/sdn-definition/> (дата обращения: 05.12.2018).
- [15] Alpaydin, E.: Introduction to Machine Learning. MIT Press, Cambridge, 2004.
- [16] Whiteson S., Stone P. Machine learning in network systems [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ibm.com/developerworks/library/ac-adapt/index.html> (дата обращения: 05.12.2018).
- [17] Zaki A. K., Abdus S. A Study of Machine Learning in Wireless Sensor Network [электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/319388460_A_Study_of_Machine_Learning_in_Wireless_Sensor_Network (дата обращения: 05.12.2018).

List of references

- [1] Kataria D., Logothetis D. Fixed mobile convergence: network architecture, services, terminals, and traffic management. 16th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC 2005), pp. 2289–2300, 2005.
- [2] Bashar A., Parr G., McClean S., et al. Application of Bayesian Networks for Autonomic Network Management. Journal of Network & Systems Management, October 2013 April 2014, Volume 22, Issue 2, pp 174–207.
- [3] Bukrina E. V. Communication Networks and switching systems: Uchebnoe posobie. – Ekaterinburg: UrTISI GOU VPO «SibGUTI», 2007. – 186 s. [Textbook. – Ekaterinburg: UTICI SEI of HPE "SibSUTI"], 2007. – 186 p. (In Russian)
- [4] Lee C., Knight D. Realization of the next-generation network. IEEE Commun. Mag. 43(10), pp. 34–41, 2005.
- [5] Makarenko S. I. Networks of the next generation NGN / S. I. Makarenko, N. N. Chalenko, G. Krylov // control Systems, communications and security. – 2016. –№ 1. [electronic resource.] – Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/seti-sleduyuschego-pokoleniya-ngn> (date of appeal: 05.12.2018). (In Russian)
- [6] Modarressi A. R., Mohan S. Control and management in next-generation networks: challenges and opportunities. IEEE Commun. Mag. 38(10), pp. 94–102, 2000.
- [7] Mochalov V. P. Method of analysis of incident management processes of communication services management system based on Petri networks / V. P. Mochalov, S. V. Yakovlev // Infocommunication technologies. - 2007. Т 5. - № 1. - P. 48-52. (In Russian)
- [8] Mochalov V. P. Formalized description of the process of developing a system to support the operational and business activities of the operator / V. P. Mochalov, S. V. Yakovlev, D. V. Mochalov // Theory and technology of radio communication. - 2011. - № 4. - P. 108-112. (In Russian)

- [9] Slyusarev G.V. Analytical model of the system service orders operator / G. V. Slyusarev, V. P. Mochalov, S. V. Yakovlev, S. V. Gureev, A. A. Chulpanov, D. V. Mochalov // high technologies. - 2012. – Vol.13. No. 7. - P. 71-76. (In Russian)
- [10] Mochalov V. P., Bratchenko N. Yu., Yakovlev S. V. Analytical model of object request broker based on Corba standard. Journal of Physics: Conference Series, vol. 1015, № 2, p. 022012, May 2018. DOI: 10.1088/1742-6596/1015/2/022012.
- [11] TM Forum website [electronic resource] – Access mode: <https://www.tmforum.org/> (date of appeal: 05.12.2018).
- [12] Mochalov V. P., Bratchenko N. Yu., Yakovlev S. V., Gosteva D. V. Distributed Management System for Infocommunication Networks Based on TM Forum Framework. REMS 2018: Russian Federation & Europe Multidisciplinary Symposium on Computer Science and ICT, NCFU – North-Caucasus Federal University Stavropol, Russia, October 2018 [accepted for publication].
- [13] NFV nomepage on ETSI [electronic resource.] – Access mode: <https://www.etsi.org/technologies-clusters/technologies/nfv/> (date of appeal: 05.12.2018).
- [14] SDN nomepage on Open Networking Foundation [electronic resource.] – Access mode: <https://www.opennetworking.org/sdn-definition/> (date of appeal: 05.12.2018).
- [15] Alpaydin, E.: Introduction to Machine Learning. MIT Press, Cambridge, 2004.
- [16] Whiteson S., Stone P. Machine learning in network systems [electronic resource.] – Access mode: <https://www.ibm.com/developerworks/library/ac-adapt/index.html> (date of appeal: 05.12.2018).
- [17] Zaki A. K., Abdus S. A Study of Machine Learning in Wireless Sensor Network [electronic resource.] – Access mode: https://www.researchgate.net/publication/319388460_A_Study_of_Machine_Learning_in_Wireless_Sensor_Network (date of appeal: 05.12.2018).

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ПОИСКА В ШИРИНУ ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ ВЗАИМНЫХ БЛОКИРОВОК ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ОПЕРАТОРА СВЯЗИ

Гостева Д. В.
dvgus@yandex.ru

Шарафутдинов Р. Р.
rustam-rustamov7@rambler.ru

Гиргель Г. В.
boichuk_galina@mail.ru

Самойленко Д. В.
icomm@ncfu.ru

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»,
г. Ставрополь, 355037, Россия

Аннотация

Рынок инфокоммуникационных услуг становится все более и более сложным, а конкуренция усиливается с каждым днем. Появляются новые игроки и технологии, усложняются бизнес-модели. Для обеспечения дальнейшего роста нужно уменьшать расходы, повышать лояльность пользователей и предлагать новые услуги. Необходимыми составляющими успеха являются четко сформулированная стратегия развития, модель управления бизнесом и тщательно спланированные процессы основных видов деятельности, а также адекватные этой модели системы поддержки бизнеса и операционной деятельности – многокомпонентные информационные системы. Рассмотрены принципы использования концепции Framework от международной некоммерческой организации TM Forum при разработке модели системы поддержки бизнеса и операционной деятельности. Для решения задачи устранения взаимной блокировки параллельно выполняемых бизнес-процессов представлена модель разделения файла двумя цепочками задач. Проведена реализация алгоритма поиска в ширину для устранения взаимных блокировок параллельных бизнес-процессов для

одного и двух тупиковых состояний графа достижимых маркировок сети Петри. Представленные в статье материалы позволяют принимать обоснованные решения при построении распределенной системы эксплуатационного управления будущими сетями связи.

Abstract

The market of information and communication services is becoming more and more complex, and competition is increasing every day. New players and technologies are emerging, and business models are becoming more complex. To ensure further growth, you need to reduce costs, increase user loyalty and offer new services. The necessary components of success are a clearly formulated development strategy, a business management model and carefully planned processes of the main activities, as well as business support and operating systems adequate for this model - multicomponent information systems. The principles of using the Frameworkx concept from the international non-profit organization TM Forum when developing a model of a business support system and operating activities are considered. To solve the problem of eliminating mutual blocking of parallel-running business processes, a model of file sharing with two chains of tasks is presented. The implementation of the search algorithm in width was carried out to eliminate the interlocks of parallel business processes for one and two deadlocks of the graph of attainable Petri net labels. The materials presented in the article make it possible to make informed decisions when building a distributed system of operational management of future communication networks.

Ключевые слова: OSS/BSS, Next Generation Networks, NGOSS, Future Networks, TM Forum, Frameworkx, сети Петри, взаимные блокировки, алгоритм поиска в ширину.

Keywords: OSS/BSS, Next Generation Networks, NGOSS, Future Networks, TM Forum, Frameworkx, Petri nets, interlocks, wide search algorithm.

1 Введение

Рынок инфокоммуникационных услуг становится все более и более сложным, а конкуренция усиливается с каждым днем. Появляются новые игроки и технологии, усложняются бизнес-модели. Для обеспечения дальнейшего роста нужно уменьшать расходы, повышать

лояльность пользователей и предлагать новые услуги. Основной тенденцией развития инфокоммуникационной инфраструктуры стали: конвергенция сетей, услуг, служб, телекоммуникационного и терминального оборудования. Меняется сущность услуг связи, которые из разряда инфраструктурных решений переходят к реализации контентоориентированных и «облачных» услуг.

Основными критериями качества управления сетями связи является масштабируемость бизнеса, рентабельность и способность телекоммуникационной компании оперативно реагировать на динамично изменяющейся внешней среде на основе улучшения существующих и внедрения новых бизнес-моделей. С целью создания конкурентного преимущества операторы должны четко представлять, как создать максимально эффективную, интегрированную, гибкую систему управления на базе имеющихся бизнес-процессов и информационных технологий.

Необходимыми составляющими успеха являются четко сформулированная стратегия развития, модель управления бизнесом и тщательно спланированные процессы основных видов деятельности, а также адекватные этой модели системы поддержки бизнеса и операционной деятельности – многокомпонентные информационные системы OSS/BSS (Operations Support Systems/Business Support Systems), предназначенные для полной или частичной автоматизации различных аспектов деятельности телекоммуникационной компании. Реализация OSS/BSS для сетей следующего поколения – NGN (Next Generation Networks) [1–3], основывается на использовании концепции NGOSS (New Generation Operations Systems and Software) [4–7], которая определяет подход к стандартизации бизнес-процессов оператора связи. В данный момент наметился переход к будущим сетям связи (Future Networks, FN) [8]. При этом существующие системы управления сетями и услугами связи не позволяют полностью обеспечить эффективное предоставление перспективных услуг связи.

2 Концепция Framework TM Forum

При разработке модели системы поддержки бизнеса и операционной деятельности ведущую роль играет международная некоммерческая организация Tele Management Forum (TM Forum) [9], которая объединяет сегодня предприятия отрасли связи, операторов сетей, поставщиков услуг инфокоммуникаций, производителей телекоммуникационного оборудования и программного обеспечения, консалтинговые компании и других участников рынка. В рамках деятельности TM Forum разработана концепция Framework, которая включает следующие элементы (рис. 1):

- Business Process Framework (eTOM) – описывает структуру бизнес-процессов компании связи.
- Information Framework (SID) – определяет подход к описанию и использованию данных, задействованных в бизнес-процессах компании связи.
- Application Framework (TAM) – описывает типовую структуру компонентов информационной среды предприятий связи.

- Open APIs – набор стандартных API, обеспечивающих быструю, повторяемую и гибкую интеграцию между операциями и системами управления.
- Metrics – стандартизированная модель показателей, объединяющая более 2900 стандартных измеримых показателей для оценки различных аспектов деятельности.

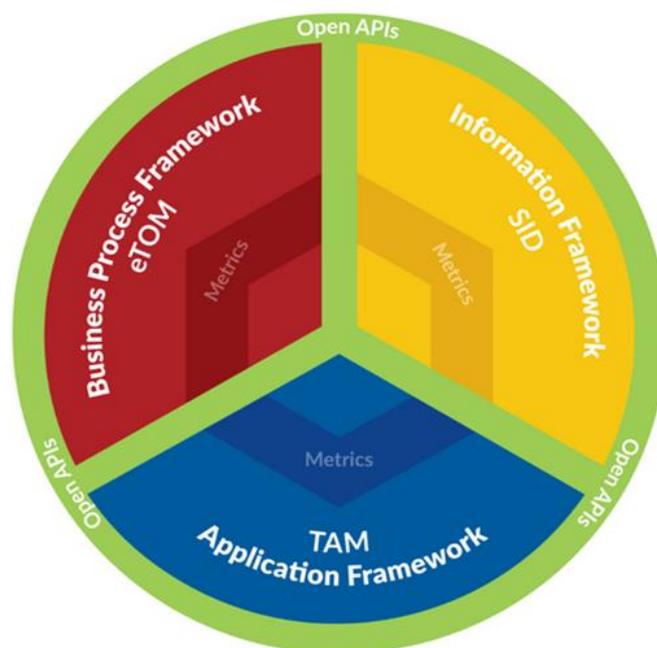


Рисунок 1. Структура Framework TM Forum [9].

Эталонная архитектура Business Process Framework (eTOM, enhanced TelecomOperations MAP) является картой бизнес-процессов (БП) телекоммуникационной компании. При описании структуры БП в eTOM используется принцип иерархической декомпозиции. Первый и второй уровни декомпозиции относят к логическим, потому что полученная детализация не позволяет сформировать последовательность действий. Уровни с 3-го и ниже называют физическими, в виду того, что их элементы соответствуют конкретным действиям, которые могут быть скомбинированы в потоки. Из процессов 3-го уровня можно сформировать идеальные модели без учета возможных сбоев в ходе выполнения процесса и других специфических моментов. В результате использования элементов детализации полученных на 4-м уровне можно построить детальную модель бизнес-процесса пригодную для автоматизации процессов управления. На рис. 2 представлена детализация БП «Сбой – решение» (Problem-to-Solution).

Функционирование OSS/BSS предполагает наличие сложных алгоритмов функционирования с параллельно выполняющимися цепочками задач, некоторые из которых являются взаимозависимыми в виду использования ими одних и тех же ресурсов (например, аппаратных средств, программного обеспечения, актуальной для процессов информации). Наличие совместно используемых ресурсов требует организации взаимодействия

параллельных процессов, т. к. независимое их выполнение может привести к ошибкам, возникновению тупиковых ситуаций или блокировок.

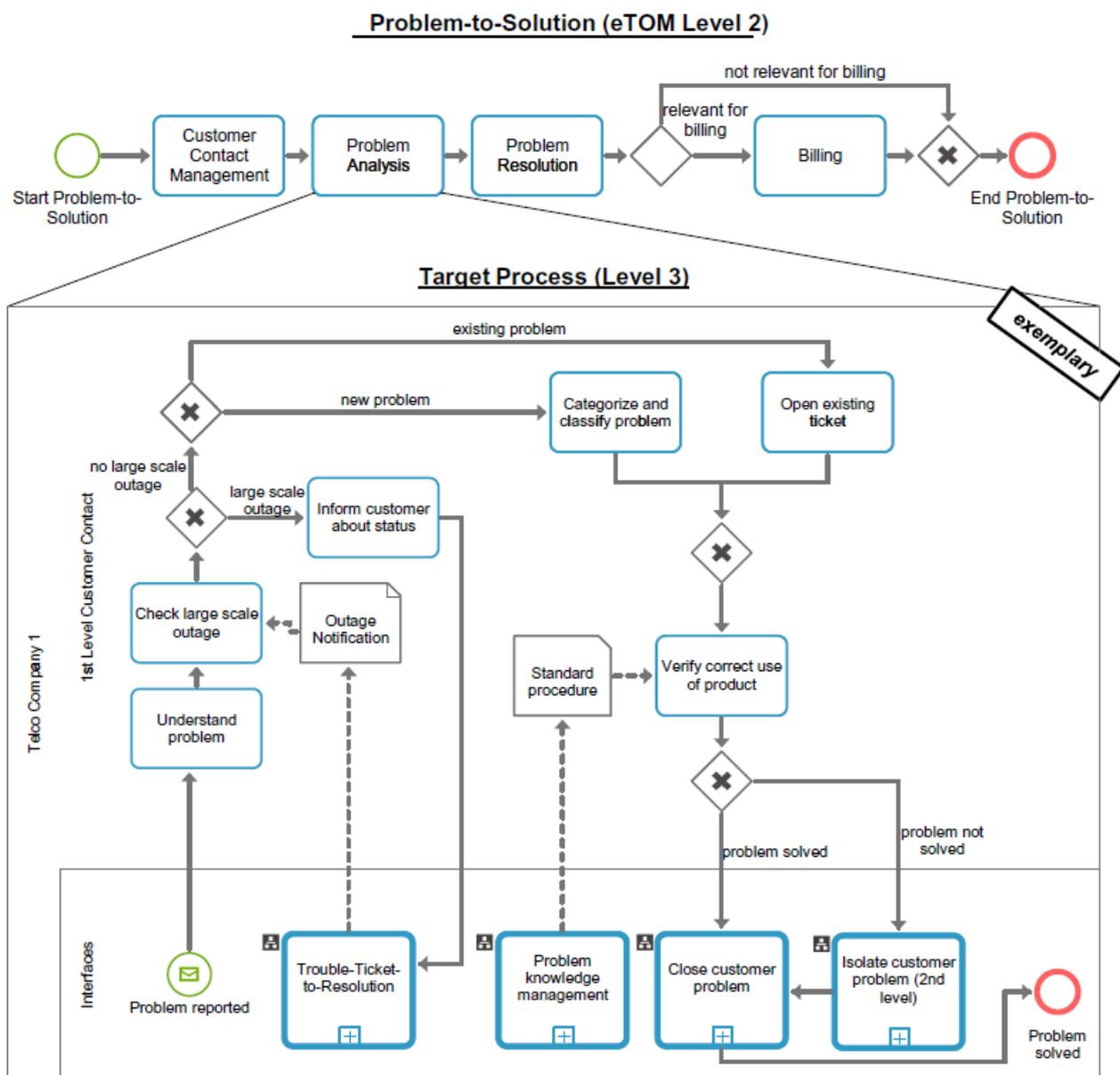


Рисунок 2. Детализация БП «Сбой – решение» (Problem-to-Solution) [10].

3 Модель разделения файла двумя процессами

При решении задачи устранения взаимной блокировки параллельно выполняемых бизнес-процессов, можно использовать интерпретацию классического примера разделения файла двумя процессами [11–12] и методология раскрашенных сетей Петри [13], а реализация провести в программной среде CPN Tools [14–16].

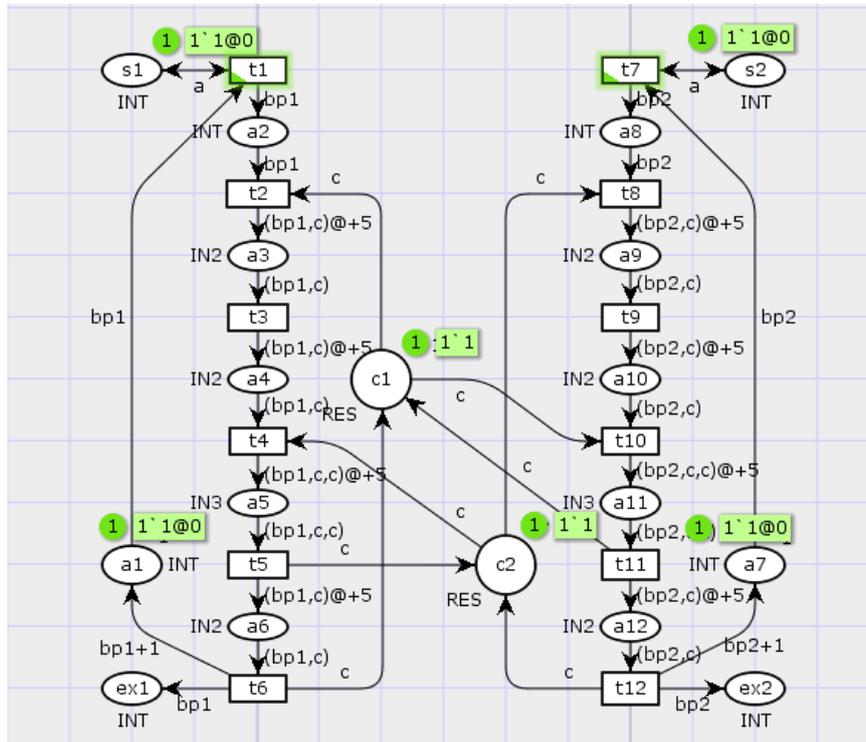


Рисунок 3. Начальное состояние модели выполнения двух параллельных БП.

Параллельно реализуемые БП состоят из последовательности операций, каждая из которых соответствует переходу сети Петри t_1, \dots, t_k (рис. 3). Определенное количество асинхронных параллельных процессов конкурирует за право использования ресурсов (*RES*). В состоянии, когда процесс владеет ресурсом, выполняется последовательность операций этого процесса и ресурс считается занятым. Поскольку один и тот же ресурс может потребоваться для выполнения нескольких процессов, возможны блокировки их выполнения, тупиковые состояния (рис. 4). На рис. 5 представлен граф достижимых маркировок исходной сети Петри, где видно что тупиковая ситуация возникает в состоянии S_{33} .

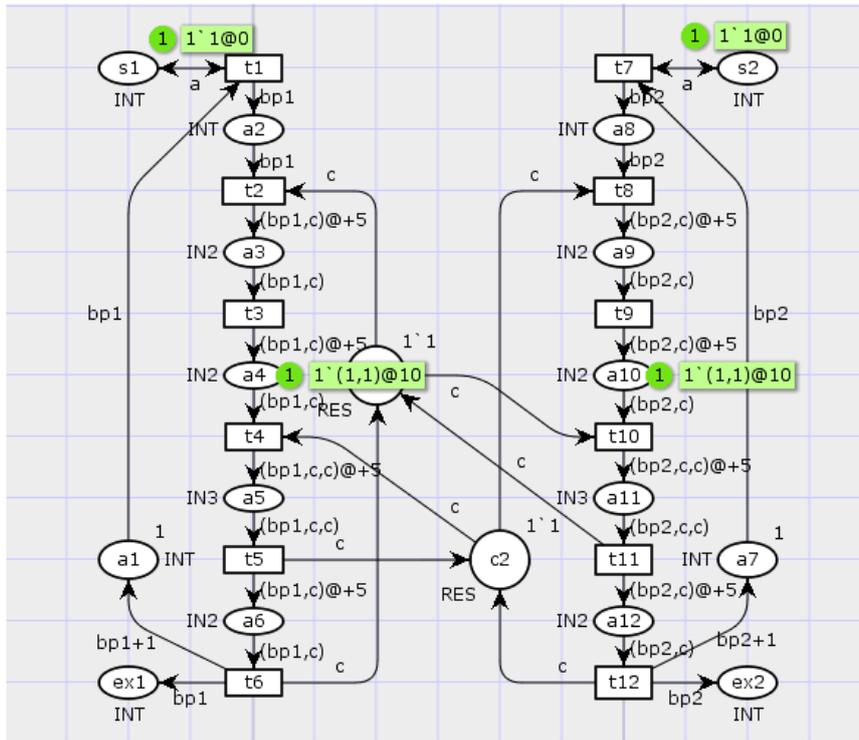


Рисунок 4. Модель выполнения двух параллельных БП в состоянии блокировки.

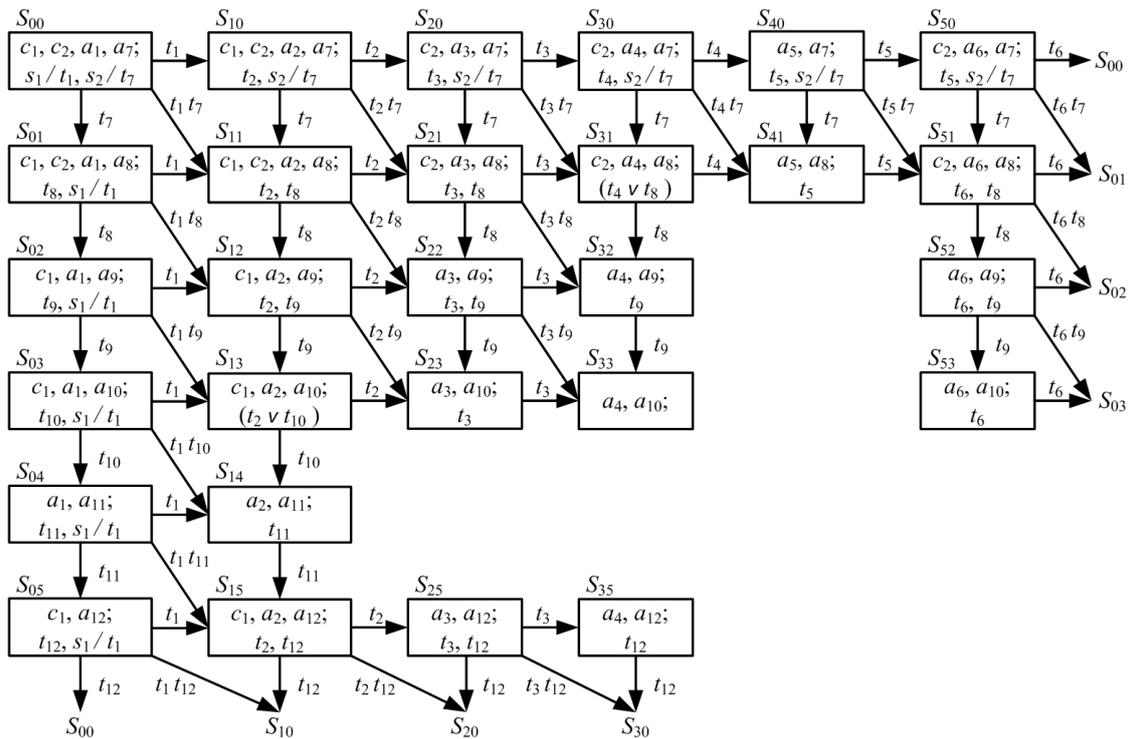


Рисунок 5. Граф достижимых маркировок исходной сети Петри.

4 Реализация алгоритма поиска в ширину для устранения взаимных блокировок параллельных бизнес-процессов

Неинформированный алгоритм поиска в ширину (Breadth-First Search, BFS) – метод обхода графа и поиска пути в графе. Реализация алгоритма поиска в ширину состоит в следующем: выбирается начальная вершина на некотором уровне, происходит её обработка, а затем обрабатываются смежные ей вершины. После того как обработаны все смежные вершины, происходит переход к обработке вершин следующего уровня. Рассмотрим решение задачи избавления от тупикового состояния в графе достижимых маркировок, представленном на рис. 5.

Сформируем дополнительный граф (рис. 6), содержащий тупиковые и предтупиковые состояния рассмотренного графа достижимых маркировок.

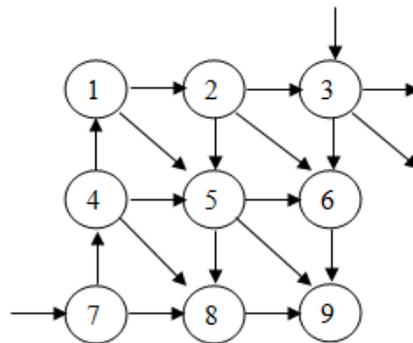


Рисунок 6. Первый дополнительный граф.

Составим матрицу смежности для первого дополнительного графа:

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 0 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 0 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 0 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$

Проведем реализацию алгоритма поиска в ширину для первого дополнительного графа:

1. Рассматриваем тупиковую вершину 9. Попасть в неё можно из вершин 5, 6 и 8. Эти вершины записываются в очередь. Затем устраняются связи с тупиковой вершиной. В итоге получаются две тупиковые вершины: 6 и 8.

2. Проверяем вершину 6. В неё входят вершины 2, 3 и 5. Очередь будет иметь вид: 6, 8, 2, 3, 5. Устраняем связи с тупиковой вершиной 6 и вычёркиваем её из очереди.
3. Проверяем вершину 8. В неё входят вершины 4, 5 и 7. Очередь будет иметь вид: 8, 2, 3, 5, 4, 5, 7. Убираем связи с тупиковой вершиной 8 и вычёркиваем её из очереди.
4. Так как вершины 2 и 3, следующие по очереди, имеют выход, то вычёркиваем их из очереди. Очередь примет вид: 5, 4, 5, 7.
5. Теперь тупиковой вершиной является 5 вершина. В неё входят вершины 1, 2 и 4. Убираем связи с тупиковой вершиной 5 и вычёркиваем её из очереди, которая будет выглядеть следующим образом: 4, 5, 7, 1, 2, 4.
6. Так как вершины 4, 7, 1, 2 и 4 имеют выход, то вычёркиваем их из очереди.

После применения алгоритма поиска в ширину, матрица смежности приняла вид:

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 0 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$

Данной матрице соответствует граф, представленный на рис. 7.

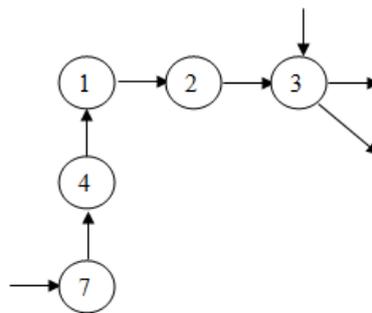


Рисунок 7. Модифицированный первый дополнительный граф.

Вычислительная сложность (асимптотика) алгоритма вычисляется по формуле $O(n+m)$, где n – число вершин, а m – число рёбер графа. В данном случае получаем: $O(n+m) = O(9+18) = 26$. Таким образом, пройдя очередь 9, 5, 6, 8, 2, 3, 5, 4, 5, 7, 1, 2, 4, с

помощью алгоритма поиска в ширину мы избавились от вершин, которые приводили к тупиковым ситуациям (рис. 8).

Допустим, что граф достижимых маркировок исходной сети Петри содержит две тупиковые вершины 5 и 9 (рис. 9). Составим матрицу смежности для второго дополнительного графа:

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 0 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & 0 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 0 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 0 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

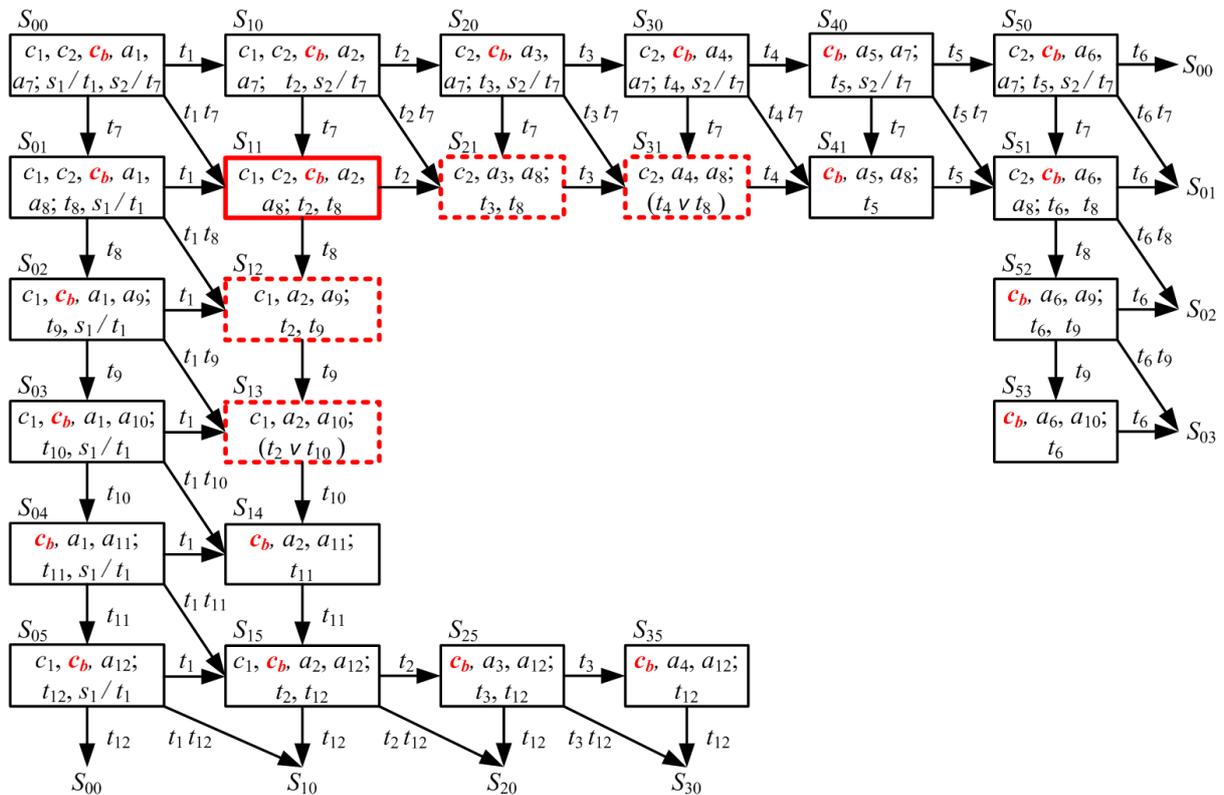


Рисунок 8. Модифицированный граф достижимых маркировок.

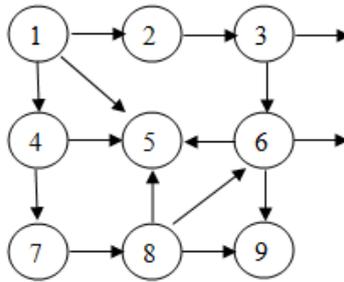


Рисунок 9. Второй дополнительный граф с двумя тупиковыми вершинами.

Проведем реализацию алгоритма поиска в ширину для второго дополнительного графа:

1. Проверяем тупиковую вершину 9. Попасть в неё можно из вершин 6 и 8 (их записываем очередь). Устраняем связи с тупиковой вершиной 9.
2. Так как вершины 6 и 8 имеют выходы, то вычеркиваем их из очереди.
3. Проверяем следующую тупиковую вершину 5. Попасть в неё можно из вершин 1, 4, 6 и 8. Убираем связи с тупиковой вершиной 5 и вычёркиваем её из очереди.
4. Оставшиеся в очереди вершины 1, 4, 6 и 8 имеют выходы, поэтому вычёркиваем их из очереди.

После применения алгоритма поиска в ширину матрица смежности приняла вид:

$$\begin{pmatrix}
 0 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\
 -1 & 0 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\
 -1 & -1 & 0 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\
 -1 & -1 & -1 & 0 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\
 -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\
 -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 0 & -1 & -1 & 1 & 1 \\
 -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 1 & -1 & -1 \\
 -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 0 & 1 & -1 \\
 -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & -1
 \end{pmatrix}$$

Данной матрице соответствует граф, представленный на рис. 10 и не содержащий вершин, приводящих к тупиковым ситуациям. Асимптотика алгоритма поиска в ширину в данном случае составит: $O(n + m) = O(9 + 15) = 24$.

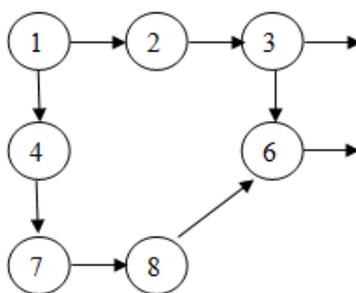


Рисунок 10. Модифицированный второй дополнительный граф.

Таким образом с помощью алгоритма поиска в ширину мы избавились от двух вершин, которые приводили к тупиковым ситуациям.

5 Заключение

Рассмотрены принципы использования концепции Framework от международной некоммерческой организации TM Fogum при разработке модели системы поддержки бизнеса и операционной деятельности. Для решения задачи устранения взаимной блокировки параллельно выполняемых бизнес-процессов представлена модель разделения файла двумя цепочками задач. Проведена реализация алгоритма поиска в ширину для устранения взаимных блокировок параллельных бизнес-процессов для одного и двух тупиковых состояний графа достижимых маркировок сети Петри. Представленные в статье материалы позволяют принимать обоснованные решения при построении распределенной системы эксплуатационного управления будущими сетями связи.

Список используемой литературы

- [1] Ali S.R. Next-Generation Network (NGN). Next Generation and Advanced Network Reliability Analysis. Signals and Communication Technology. Springer, Cham p.p. 1–27, 2019. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-01647-0_1
- [2] Слюсарев Г. В. Аналитическая модель системы обслуживания заказов оператора связи / Г. В. Слюсарев, В. П. Мочалов, С. В. Яковлев, С. В. Жубреев, А. А. Кульпинов, Д. В. Мочалов // Научные технологии. – 2012. – Т. 13. № 7. – С. 71–76.
- [3] Mochalov V. P., Bratchenko N. Yu., Yakovlev S. V. Analytical model of object request broker based on Corba standard. Journal of Physics: Conference Series, vol. 1015, № 2, p. 022012, May 2018. DOI: 10.1088/1742-6596/1015/2/022012.
- [4] Tada H., Usui W., Wen X. J. An approach toward implementation of OSS/BSS using NGOSS. International Conference on Communication Technology Proceedings, 2003. ICCT 2003. Vol. 1, p.p. 57–59. IEEE. 2003, April. DOI: 10.1109/ICCT.2003.1209035

- [5] Мочалов В. П. Метод анализа процессов управления инцидентами системы управления услугами связи на основе сетей Петри / В. П. Мочалов, С. В. Яковлев // Инфокоммуникационные технологии. – 2007. Т 5. – № 1. – С. 48–52.
- [6] Мочалов В. П. Формализованное описание процесса разработки системы поддержки операционной и бизнес-деятельности оператора связи / В. П. Мочалов, С. В. Яковлев, Д. В. Мочалов // Теория и техника радиосвязи. – 2011. – № 4. – С. 108–112.
- [7] Мочалов В. П. Разработка процессно-ориентированной системы управления качеством инфокоммуникационных услуг на основе концепции NGOSS / В. П. Мочалов, Н. Ю. Братченко, Н. И. Червяков, С. В. Яковлев. – Ставрополь: СКФУ, 2013. – 180 с.
- [8] Росляков А. В. Будущие сети (Future Networks) / А. В. Росляков, С. В. Ваняшин. – Самара: ПГУТИ, 2015. – 274 с.
- [9] TM Forum website [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tmforum.org/> (дата обращения: 05.12.2018).
- [10] Czarnecki C., Dietze C. Domain-Specific Reference Modeling in the Telecommunications Industry. Designing the Digital Transformation. DESRIST 2017. Lecture Notes in Computer Science, vol 10243. Springer, Cham. 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-59144-5_19
- [11] Bic L., Shaw A. C. The logical design of operating systems. 2nd ed. Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ, USA. 1988.
- [12] Пийль, Е. И. Устранение взаимной блокировки параллельных процессов при статистическом распределении ресурсов [Текст] / Е. И. Пийль // Сетевые протоколы и управление в распределенных вычислительных системах : сборник / Акад. наук СССР – М. : Наука, 1986. – С. 116 – 125.
- [13] Jensen K. Coloured Petri nets: basic concepts, analysis methods and practical use. Vol. 1. Springer Science & Business Media. 2013.
- [14] Mochalov V. P., Bratchenko N. Yu., Yakovlev S. V., Gosteva D. V. Distributed Management System for Infocommunication Networks Based on TM Forum Framework. REMS 2018: Russian Federation & Europe Multidisciplinary Symposium on Computer Science and ICT, NCFU – North-Caucasus Federal University Stavropol, Russia, October 2018 [accepted for publication].
- [15] Jensen K., Kristensen L. M., Wells L. Coloured Petri Nets and CPN Tools for modelling and validation of concurrent systems. International Journal on Software Tools for Technology Transfer, 9(3–4), p.p. 213–254. 2007.
- [16] CPN Tools website [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cpntools.org/> (дата обращения: 05.12.2018).

List of references

- [1] Ali S.R. Next-Generation Network (NGN). Next Generation and Advanced Network Reliability Analysis. Signals and Communication Technology. Springer, Cham p.p. 1–27, 2019. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-01647-0_1
- [2] Slyusarev G.V. Analytical model of the system service orders operator / G. V. Slyusarev, V. P. Mochalov, S. V. Yakovlev, S. V. Gureev, A. A. Chulpanov, D. V. Mochalov // high technologies. - 2012. – Vol.13. No. 7. - P. 71-76. (In Russian)
- [3] Mochalov V. P., Bratchenko N. Yu., Yakovlev S. V. Analytical model of object request broker based on Corba standard. Journal of Physics: Conference Series, vol. 1015, № 2, p. 022012, May 2018. DOI: 10.1088/1742-6596/1015/2/022012.
- [4] Tada H., Usui W., Wen X. J. An approach toward implementation of OSS/BSS using NGOSS. International Conference on Communication Technology Proceedings, 2003. ICCT 2003. Vol. 1, p.p. 57–59. IEEE. 2003, April. DOI: 10.1109/ICCT.2003.1209035
- [5] Mochalov V. P. Method of analysis of incident management processes of communication services management system based on Petri networks / V. p. Mochalov, S. V. Yakovlev // Infocommunication technologies. - 2007. T 5. - № 1. - P. 48-52. (In Russian)
- [6] Mochalov V. P. Formalized description of the process of developing a system to support the operational and business activities of the operator / V. P. Mochalov, S. V. Yakovlev, D. V. Mochalov // Theory and technology of radio communication. - 2011. - № 4. - P. 108-112. (In Russian)
- [7] Mochalov V. P. Development of a process-oriented quality management system for information and communication services based on the NGOSS concept / V. P. Mochalov, N. Yu. Bratchenko, N. I. Chervyakov, S. V. Yakovlev. – Stavropol: SCFU, 2013. – 180 p.
- [8] Roslyakov A. V. Future Networks / A. V. Roslyakov, S. V. Vanyashyn. – Samara: PHUTI, 2015. – 274 p. (In Russian)
- [9] TM Forum website [electronic resource] – Access mode: <https://www.tmforum.org/> (date of appeal: 05.12.2018).
- [10] Czarnecki C., Dietze C. Domain-Specific Reference Modeling in the Telecommunications Industry. Designing the Digital Transformation. DESRIST 2017. Lecture Notes in Computer Science, vol 10243. Springer, Cham. 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-59144-5_19
- [11] Bic L., Shaw A. C. The logical design of operating systems. 2nd ed. Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ, USA. 1988.
- [12] Piyl, Ye. I. Ustraneniye vzaimnoy blokirovki paralelnykh protsessov pri statisticheskom raspredelenii resursov [Elimination of mutual blocking of parallel processes with statistical allocation of resources]. Network protocols and management in distributed computing systems: a compilation. Acad. The USSR, pp. 116–125. Moscow, Nauka. 1986. (in Russian)
- [13] Jensen K. Coloured Petri nets: basic concepts, analysis methods and practical use. Vol. 1. Springer Science & Business Media. 2013.

- [14] Mochalov V. P., Bratchenko N. Yu., Yakovlev S. V., Gosteva D. V. Distributed Management System for Infocommunication Networks Based on TM Forum Framework. REMS 2018: Russian Federation & Europe Multidisciplinary Symposium on Computer Science and ICT, NCFU – North-Caucasus Federal University Stavropol, Russia, October 2018 [accepted for publication].
- [15] Jensen K., Kristensen L. M., Wells L. Coloured Petri Nets and CPN Tools for modelling and validation of concurrent systems. International Journal on Software Tools for Technology Transfer, 9(3–4), p.p. 213–254. 2007.
- [16] CPN Tools website [electronic resource] – Access mode: <http://cpntools.org/> (date of appeal: 05.12.2018).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СВЯЗЬЮ МАЛОНАСЕЛЕННЫХ РАЙОНОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Студеникин А.В.¹
StudentStavropol@mail.ru

Жук А.П.¹
Alekszhuk@mail.ru

Жук А.П.
Кандидат технических наук, профессор
Alekszhuk@mail.ru

¹ Северо-Кавказский Федеральный университет, г. Ставрополь, 355009, Российская Федерация

Аннотация

В статье проводится краткий анализ состояния различных систем связи на удаленной и слабозаселенной части территории Российской Федерации. Ввиду больших площадей страны различные системы связи при их развертывании и эксплуатации испытывают трудности технического, финансового и иного характера. Эти трудности являются объективными и снижают качество жизни граждан, возможности по предоставлению различных услуг населению, работе аппарата управления, оперативности различных служб в получении информации о чрезвычайных ситуациях, своевременном реагировании, локализации и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Целью исследования является установление причин снижения качества связи и выработка варианта решения проблем на основе внедрения технологии, позволяющей обеспечить связь с удаленными и слабозаселенными территориями страны. Эта технология заключается в использовании широкополосных систем радиосвязи в коротковолновом диапазоне радиоволн. С помощью широкополосных систем радиосвязи можно решить проблему снижения качества канала связи.

Abstract

The article provides a brief analysis of the state of various communication systems in the remote and low-populated part of the territory of the Russian Federation. Due to the large areas of the country, various communication systems, when deployed and operated, experience technical, financial and other difficulties. These difficulties are objective and reduce the quality of life of citizens, the ability to provide various services to the population, the work of the management apparatus, the efficiency of various services in obtaining information about emergency situations, timely response, localization and liquidation of emergency situations. The aim of the study is to establish the causes of declining communication quality and develop a solution to problems based on the introduction of technology that allows communication with remote and low-populated areas of the country. This technology consists of using broadband radio communication systems in the short-wave range of radio waves. With the help of broadband radio communication systems, you can solve the problem of reducing the quality of the communication channel.

Ключевые слова: коротковолновая радиосвязь, ансамбль широкополосных сигналов, ортогональность, псевдослучайная последовательность

Keywords: short-wave radio, the ensemble of the broadband signals, orthogonality, pseudorandom sequence.

1 Введение

В настоящее время Российская Федерация идет по пути цифровизации экономики. Новые технологии передачи данных, внедряемые повсеместно, способствуют развитию информатизации общества, предоставлению населению государственных услуг в электронном виде, развитию дистанционных методов образования, новым направлений деятельности в сфере культуры, отдыха, туризма, проведению экспертного консультирования в режиме реального времени, помогая людям решать насущные вопросы «на расстоянии», что особенно актуально для жителей удаленных районов с малой плотностью населения и незащищенных категорий граждан.

Жизненно необходимо предоставление услуг связи специальным службам, таким как МЧС, скорая медицинская помощь и т.д., в том числе в зонах чрезвычайных ситуаций, где проводная и сотовая связь, с большой долей вероятности, будут нарушены, услуг охранной

сигнализации различных объектов, создание резерва проводных средств и каналов связи [1]. Одно из направлений развития в этой области связано с реализацией многих масштабных проектов, преобразований, направленных, в том числе, на освоение Арктической зоны, районов Сибири и Дальнего Востока, являющихся малонаселенными, в связи с суровыми природными условиями. В таких районах применение телекоммуникационной инфраструктуры, которая используется в густонаселенных районах России (системы мобильной радиосвязи, беспроводные компьютерные сети и пр.), может быть экономически нецелесообразным. Малонаселенные районы не самые приоритетные для всех операторов проводной и сотовой связи.

Речь идет о слабозаселенной территории и населенных пунктах с числом менее 10000 человек, которых в Российской Федерации, ввиду огромной площади территории, большинство. Возврат инвестиций в таких регионах маловероятен или будет растянут в 3–4 раза дольше по времени, чем в крупных городах.

2 Постановка задачи

Возникает задача проведения анализа состояния различных систем связи на удаленной и слабозаселенной части территории Российской Федерации. Ввиду больших площадей страны различные системы связи при их развертывании и эксплуатации испытывают трудности технического, финансового и иного характера. Эти трудности являются объективными и снижают качество жизни граждан, возможности по предоставлению различных услуг населению, работе аппарата управления, оперативности различных служб в получении информации о чрезвычайных ситуациях, своевременном реагировании, локализации и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

С учетом указанных обстоятельств можно выделить задачу усовершенствования инфокоммуникационной технологии с учётом возможности её использования в условиях применения на распределенной географической территории с невысокой плотностью населения. При решении данного вопроса необходимо учитывать выполнение общих требований, предъявляемых к беспроводным системам передачи информации, таких как скорость передачи информации (или пропускная способность), мобильность, максимальный охват территории [2].

3 Разработка методики

Население Российской Федерации распределено по территории страны крайне неравномерно. Наибольшая плотность населения приходится на территорию европейской части страны (30 и более человек на квадратный км), наименьшую плотность населения имеют районы Средней и Восточной Сибири, Дальнего Востока (рис. 1).

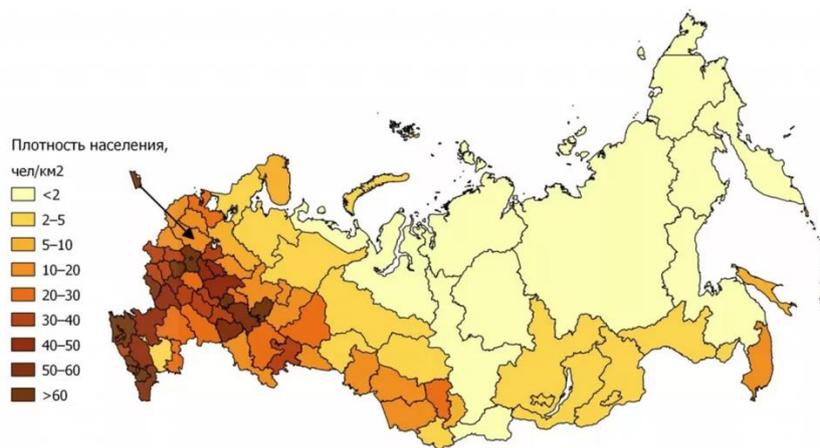


Рисунок 1. Статистика распределения плотности населения в соответствии с административным делением.

Сотовой подвижной радиосвязью обеспечены густонаселенные районы Российской Федерации, отдельные крупные населенные пункты, а так же связь имеется вдоль автомагистралей (рис. 2).



Рисунок 2. Статистика покрытия территории сотовой связью (по всем операторам).

Привязка к линиям проводной связи так же осуществляется по территориальному принципу, и в связи с удаленностью абонентов, многократно возрастает стоимость прокладки и строительства кабельных линий связи (рис. 3).



Рисунок 3. Статистика распределения магистральной сети ПАО Ростелеком.

Спутниковая связь имеет высокие стоимостные показатели предоставления услуг связи, критическую зависимость от наличия и поддержания спутниковой группировки, а на

высоких широтах, где невозможно обеспечить связь спутниками, находящимися на геостационарной орбите, еще и от ориентации антенн на спутники, вращающиеся по высокоэллиптическим орбитам.

В системе Inmarsat в настоящее время связь устанавливается через три геостационарных спутника (Inmarsat I4). Уверенная связь обеспечивается по площади всего земного шара, за исключением прилегающих областей возле северного и южного полюсов (рис 4).

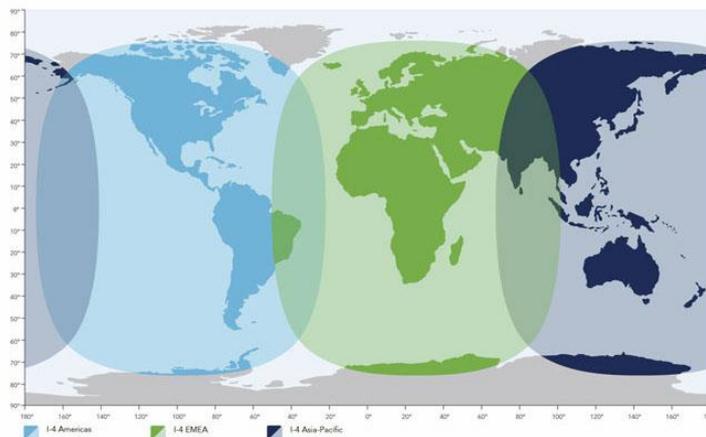


Рисунок 4. Зона покрытия спутниковой системы связи Inmarsat.

Зона покрытия, указанная на рис. 4 не гарантирует со стопроцентной вероятностью установление связи через терминалы и спутниковые телефоны Inmarsat (BGAN \ IsatPhone Pro).

Ввиду естественной формы планеты, наличия естественных и искусственных препятствий, спутник может оказаться вне зоны видимости абонентского спутникового телефона и терминала. Этот же принцип распространяется на работу любого спутникового оператора. Вследствие этого, при использовании спутникового телефона и терминала Inmarsat, горизонт на юг должен быть свободен от различного рода препятствий.

По этой же причине спутниковая сеть Thuraya в северо-западной части Российской Федерации работает плохо – только в местах с открытым на юг горизонтом. В северо-восточной – практически не работает (рис 5).



Рисунок 5. Зона покрытия спутниковой системы связи Thuraya.

Спутниковая сеть GlobalStar в настоящее время испытывает серьезные технические проблемы. Суть данных проблем состоит в хронической недостаточности орбитальной спутниковой группировки. Ее восполнение невозможно без значительных финансовых вливаний, однако решение о финансировании и обновлении постоянно откладывается.

Результатом такого подхода является появление зон покрытия, находящихся вне постоянного обслуживания системы. В таких зонах связь в системе GlobalStar становится сеансовой. Проблема выглядит следующим образом: связь прерывается через каждые 5 минут на 15 минут (5 к 15). В центральной части зоны покрытия, соответствующей центральной части Российской Федерации связь несколько лучше. Сеансы связи составляют 10 к 15. По краям зоны покрытия связь значительно ухудшается, к примеру, на Дальнем Востоке показатель приближается 3 к 25 (рис. 6).



Рисунок 6. Зона покрытия спутниковой системы связи GlobalStar.

Из современных спутниковых систем, только система Iridium обеспечивает показатели охвата территории и надежности связи, однако стоимость услуг ее высока, впрочем как и всех спутниковых систем связи.

Кроме того причинами недостаточного уровня развертывания систем связи в сельских, удаленных и малонаселенных районах являются:

- дефицит электроэнергии;
- значительные расходы на обслуживание резервных источников питания, как правило, дизельных, а также связанная с этим опасность загрязнения окружающей среды;
- сложный рельеф местности;
- затрудненный доступ и транспортное обслуживание;
- отсутствие квалифицированных кадров;
- процесс сооружения и технического обслуживания достаточно сложен, весьма высокие затраты на капитальное строительство;
- высокие эксплуатационные затраты;
- низкий потенциальный средний доход на одного пользователя;
- низкая плотность населения и его разброс по территории.

В связи с этим возникает необходимость внедрения такой технологии передачи информации в сельских, удаленных и малонаселенных районах, которая может обеспечить

надежную и экономически целесообразную передачу информации для всех категорий пользователей вне зависимости от вышеуказанных причин.

Потребности массового рынка стимулируют необходимость развития и адаптации спутниковой и мобильной сотовой связи их технических и сервисных возможностей. С одной стороны решение данной проблемы состоит в массовом увеличении территории покрытия и скоростей передачи информации, с другой стороны приводит к стагнации в развитии других направлений связи в Российской Федерации, таких как КВ-радиосвязь, оказавшаяся сегодня вне интересов бизнеса.

4 Результаты

Вариантом решения задачи охвата новыми технологиями передачи данных слабозаселенной территории и населенных пунктов является применение КВ-систем радиосвязи [3]. Кроме того, применение для этих целей коротковолновых радиосредств имеет экономическую целесообразность. Организация КВ-радиосетей требует гораздо меньших вложений по сравнению с прокладкой кабельных линий связи или организацией спутниковых систем. Передача информации в таких сетях так же не требует значительной абонентской оплаты. КВ-радиосвязь при малых затратах позволяет организовать связь на больших расстояниях при относительно малой мощности передатчика, обеспечить возможность передачи различной информации любому количеству корреспондентов, в том числе через различного рода препятствия (океаны, моря, горы, пустыни, чужие территории и т.д.), связи во время движения и с движущимися объектами (корабли, самолеты, автомобили и т.д.).

Вместе с тем КВ-радиосвязи следующие недостатки, такие как наличие замираний сигнала, вследствие многолучевого распространения радиоволн, существенное затухание сигнала на трассе КВ-радиосвязи, зависимость качества связи от времени суток, года и состояния ионосферы, ограниченный ресурс используемого диапазона частот, а также низкие скорости передачи информации, достигаемые в стандартных каналах, зависимость качества радиосвязи от характеристик используемых антенн, которые при этом, имеют существенные размеры [4]. При всех недостатках, присущих КВ-радиосвязи, она обладает и выраженной экономической целесообразностью.

Ввиду преобладания на рынке услуг телекоммуникаций, использующих ультракоротковолновый диапазон радиоволн, коротковолновым системам радиосвязи уделяется незначительное внимание. Вместе с тем разработки коротковолновых систем радиосвязи успешно ведутся отечественными производителями оборудования. Одним из разработчиков широкополосной системы коротковолновой радиосвязи является Егоршинский радиозавод. Продуктом его является коротковолновая широкополосная система связи «Ангара-5М», предназначенная для работы в диапазоне частот 1,6-29,99 МГц и успешно прошедшая практические испытания. В данной системе связи используется расширение спектра с помощью взаимно-ортогональных псевдослучайных последовательностей (ПСП) [6, 7]. Ортогональность ПСП, используемых в различных информационных каналах, дает возможность передавать информацию по нескольким

каналам одновременно и таким образом увеличить скорость передачи информации без изменения ширины занимаемой полосы частот и длины ПСП [8, 9] (рис.7).



Рисунок 7. Широкополосная коротковолновая цифровая радиостанция АНГАРА - 5М.

Достоинствами описываемой системы является ее адаптивность [10] и динамичный учет состояния ионосферы, повышенная помехоустойчивость [11] возможность передачи сигнала на далекие расстояния.

Организация радиосети для передачи информации на базе коротковолновой широкополосной системы связи Ангара-5М, являющейся прототипом необходимой радиостанции, в удаленных и слабозаселенных местностях Российской Федерации, и в случае необходимой доработки интерфейсов позволит предоставить услуги для связи населения со специальными службами, такими как МЧС, скорая медицинская помощь и т.д., в том числе в зонах чрезвычайных ситуаций, где проводная и сотовая связь, с большой долей вероятности, будут нарушены, услуги охранной сигнализации различных объектов, создать резерв проводных средств и каналов связи.

Вариант организации радиосети для передачи информации на значительные расстояния представлен на рис. 8.

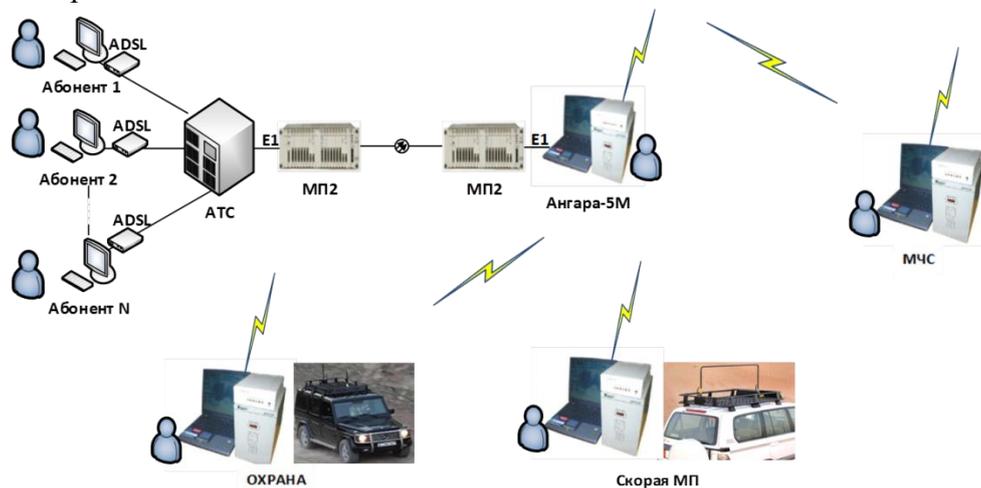


Рисунок 8. Вариант организации радиосети для передачи информации.

Антенны, которые могут использоваться для обеспечения связи в КВ-радиосетях должны иметь круговую диаграмму направленности для охвата корреспондентов, находящихся в

любых направлениях, работать ионосферной волной для обеспечения связи на больших расстояниях и иметь требуемые характеристики по надежности связи (рис. 9).



Рисунок 9. Антенные устройства типа «АЗИ» (NVIS).

Такие антенны существуют давно, это антенны зенитного излучения АЗИ (NVIS), так же разработаны их варианты в виде рамочных антенн с диаграммой направленности близкой к круговой (рис.10).

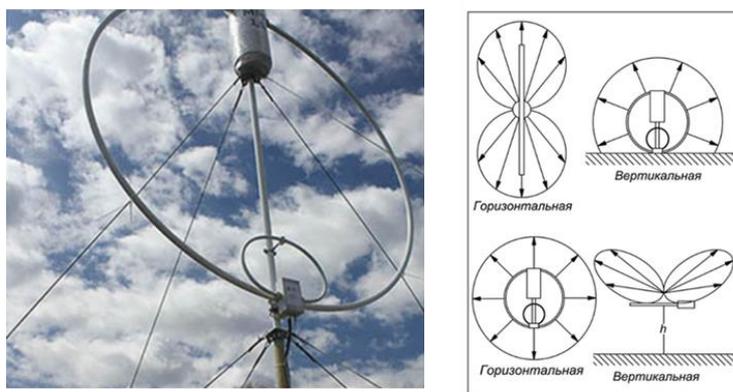


Рисунок 10. Антенное устройство типа «Магнитная рамка» с диаграммой направленности излучения.

5 Заключение

Таким образом, в работе изложен подход, при котором внедрение средств КВ-радиосвязи для передачи информации в сельских, удаленных и малонаселенных районах, при котором можно обеспечить надежную и экономически целесообразную передачу информации для всех категорий пользователей.

Список используемой литературы

- [1] Кафедра инфокоммуникационных технологий и систем связи. ФГБОУ ВПО «Академия гражданской защиты МЧС России». 2015. URL: <http://amchs.ru/index.php/info/ob-obrazovatelnoj-organizatsii/inzhenernyj-fakultet-3/kafedra-infokommunikatsionnykh-tekhnologij-isistem-svyazi-35> (дата обращения 29.08.2018).

- [2] Ступницкий М. М., Харитонов Н. И., Девяткин Е. Е. Инфокоммуникационная инфраструктура цифровой экономики: задачи отраслевого института // Электросвязь. 2018. № 4. С. 24–28.
- [3] Ступницкий М. М., Лучин Д. В. Потенциал КВ-радиосвязи – для создания цифровой экосистемы России // Электросвязь. 2018. № 5. С. 49–54.
- [4] Ступницкий М. М. КВ-радиосвязь: ренессанс на цифровой основе // Электросвязь. 2014. № 10. С. 37–38.
- [5] Сахтеров В. И., Писарев Р. В., Лобзин В. В., Копейкин В. В., Резников А. Е., Железняков В. И., Швец Д. П. Коротковолновая широкополосная радиостанция «Ангара-5М» // Радиотехника и электроника. 2002. Т. 47, № 9. С. 1149–1152.
- [6] Невдяев Л.М. CDMA: Сигналы и их свойства // Сети. 2000. № 11. URL: <http://text.marsu.ru/osp/nets/2000/11/index.htm> (дата обращения 29.08.2018).
- [7] Kyeongcheol Yang, Young-Kyu Kim, Vijay Kumar P. Quasi-Orthogonal Sequences for Code-Division Multiple-Access Systems, IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 46, no. 3, May 2000, P. 982-993.
- [8] Попенко В. С. Векторный синтез ансамблей ортогональных сигналов. – Ставрополь: МО РФ, 1993. Ч. 2. С. 202.
- [9] Жук А. П., Черняк З. В., Сазонов В. В., Иванов А. С. О целесообразности использования ортогональных ансамблей сигналов с изменяющейся размерностью в системе CDMA // Известия ЮФУ Технические науки. 2008. № 8 (85). С. 190-195.
- [10] Попенко В. С. Оценка ширины спектра дискретных сигналов // Радиотехника. 1996. № 11. С. 57-59.
- [11] Маслов О. Н., Пашинцев В. П. Модели трансионосферных радиоканалов и помехоустойчивость систем космической связи // Инфокоммуникационные технологии. – Самара: ПГАТИ. 2006. № 4. С. 357.

List of references

- [1] Kafedra infokommunikatsionnykh tekhnologiy i sistem svyazi. FGBOU VPO «Akademiya grazhdanskoj zashchity MCHS Rossii». [Department of Information and Communication Technologies and Communication Systems. FGBOU VPO «Academy of Civil Protection of the Russian Emergencies Ministry»] 2015. URL: <http://amchs.ru/index.php/info/ob-obrazovatelnoj-organizatsii/inzhenernyj-fakultet-3/kafedra-infokommunikatsionnykh-tekhnologij-isistem-svyazi-35> (date of access: 29.08.2018). (In Russian).
- [2] Stupnitskiy M. M., Kharitonov N. I., Devyatkin E. R. Infokommunikatsionnaya infrastruktura tsifrovoy ekonomiki: zadachi otraslevogo instituta [Infocommunication Infrastructure of the Digital Economy: Objectives of a Branch Institute]. Elektrosvyaz. 2018. No. 4. Pp. 24–28. (In Russian).

- [3] Stupnitskiy M. M., Luchin D. V. Potentsial KV-radiosvyazi – dlya sozdaniya tsifrovoy ekosistemy Rossii [The potential of HF radio communication - to create a digital ecosystem of Russia]. *Elektrosvyaz*. 2018. No. 5. Pp. 49–54. (In Russian).
- [4] Stupnitskiy M. M. KV-radiosvyaz': renechans na tsifrovoy osnove [HF radio communication: renaissance on a digital basis]. *Elektrosvyaz*. 2014. No. 10. Pp. 37–38. (In Russian).
- [5] Sakhterov V. I., Pisarev R. V., Lobzin V. V., Kopeykin V. V., Reznikov A. E., Zheleznyakov V. I., Shvets D. P. Korotkovolnovaya shirokopolosnaya radiostantsiya «Angara-5M» [Short-wave broadband radio station Angara-5M]. *Radiotekhnika i elektronika – Radio engineering and electronics*. 2002. T. 47, No. 9. Pp. 1149–1152. (In Russian).
- [6] Nevdyayev L.M. CDMA: Signaly i ikh svoystva [Signals and their properties]. *Seti*. 2000. No. 11. URL: <http://text.marsu.ru/osp/nets/2000/11/index.htm> (date of access: 29.08.2018). (In Russian).
- [7] Kyeongcheol Yang, Young-Ky Kim, Vijay Kumar P. Quasi-Orthogonal Sequences for Code-Division Multiple-Access Systems, *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol. 46, No. 3, May 2000, Pp. 982-993.
- [8] Popenko V. S. Vektorny sintez ansambley ortogonal'nykh signalov [Vector synthesis of orthogonal signal ensembles]. Stavropol: MO RF. 1993. Part 2. 202 p. (In Russian).
- [9] Zhuk A. P., Chernyak Z. V., Sazonov V. V., Ivanov A. S. O tselesoobraznosti ispol'zovaniya ortogonal'nykh ansambley signalov s izmenyayushchey razmernost'yu v sisteme CDMA [On the expediency of using orthogonal ensembles of signals with variable dimensions in the CDMA system]. *Izvestiya YUFU Tekhnicheskiye nauki – Izvestia SFU Technical Sciences*. 2008. No. 8 (85). Pp. 190-195. (In Russian).
- [10] Popenko V. S. Otsenka shiriny spektra diskretnykh signalov [Estimation of the width of the spectrum of discrete signals]. *Radiotekhnika – Radio Engineering*. 1996. No. 11. Pp. 57-59. (In Russian).
- [11] Maslov O. N., Pashintsev V. P. Modeli transionosfernykh radiokanalov i pomekhoustoychivost' sistem kosmicheskoy svyazi [Models of Transionospheric Radio Channels and Noise Immunity of Space Communication Systems]. *Infokommunikatsionnyye tekhnologii PGATI – Infocommunication Technologies PGATI*. 2006. No. 4. Pp. 357. (In Russian).

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЧИСТО-СИСТОЛИЧЕСКОЙ МАТРИЦЫ, РЕАЛИЗУЮЩЕЙ ТЕОРЕТИКО-ЧИСЛОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИГНАЛОВ В КОДЕ СИСТЕМЫ ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ

Калмыков М.И.¹
kia762@yandex.ru

Дунин А.В.²
kia762@yandex.ru

Топоркова Е.В.¹
kia762@yandex.ru.

Калмыков И.А.
д.т.н., профессор
kia762@yandex.ru

¹ Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, 355028, Российская Федерация

Аннотация

Использование в системах OFDM ортогональных преобразований сигналов реализованных в поле комплексных чисел позволяет обеспечить параллельную передачу данных и повысить скорость передачи данных. Поэтому при реализации дискретного преобразования Фурье (ДПФ) в спецпроцессоре (СП) приходится использовать два вычислительных тракта, предназначенных для обработки действительной и мнимой частей сигналов. Снизить схемные затраты в СП OFDM возможно за счет выполнения теоретико-числовых преобразований (ТЧП) сигналов. Так как обработка сигналов происходит с использованием модуля M , то для выполнения теоретико-числовых преобразований достаточно использовать один вычислительный тракт. Чтобы повысить скорость выполнения ортогональных преобразований в работе предлагается использовать методы параллельных

вычислений. Особое место среди таких методов занимают параллельные вычисления в системе остаточных классов (СОК). Соединение принципов построения кодов системы остаточных классов и чисто-систолических матриц позволит сократить временные затраты необходимые на выполнение теоретико-числового преобразования. Поэтому целью исследований является разработка математической модели чисто-систолической матрицы, реализующей теоретико-числовые преобразования сигналов в коде системы остаточных классов, применение которой позволит повысить скорость выполнения теоретико-числовых преобразований сигналов.

Abstract

The use of orthogonal transformations of signals implemented in the field of complex numbers in OFDM systems allows for parallel data transmission and increase the speed of data transmission. Therefore, when implementing the discrete Fourier transform (DFT) in a special processor (SP) have to use two computational paths. designed for processing real and imaginary parts of signals. It is possible to reduce circuit costs in JV OFDM due to performance of number-theoretic transformations (NTT) of signals. Because the signal processing occurs with the use of module M , for the implementation of number-theoretic transformations, it is sufficient to use a single computational path. To increase the speed of orthogonal transformations in the work it is proposed to use the methods of parallel calculations. A special place among such methods is occupied by parallel calculations in the system of residual classes. Connecting principles to build a code system of residual classes, and clean-systolic arrays, will allow to reduce time costs needed for the implementation of number-theoretic transform. Therefore, the aim of the research is to develop a mathematical model of a pure-systolic matrix that implements the theoretical and numerical transformations of signals in the code of the system of residual classes, the use of which will increase the speed of the theoretical and numerical transformations of signals.

Ключевые слова: OFDM, теоретико-числовые преобразования, система остаточных классов, чисто-систолическая матрица, схема Горнера.

Keywords: OFDM, number-theoretic transformations, residual class system, pure-systolic matrix, Horner scheme.

Введение

Наблюдаемая тенденция, связанная с распространением беспроводных информационных технологий в самые различные сферы деятельности человека и общества, во многом определена качественным скачком в технологиях развития вычислительной техники. Особенно наглядно это проявляется в системах, которые используют технологию OFDM [1]. Чтобы обеспечить параллельную передачу данных в системах OFDM используются дискретное преобразование Фурье (ДПФ) и его быстрые алгоритмы. Однако для выполнения ортогональных преобразований сигналов в этом случае необходимо иметь два вычислительных тракта. Кроме того, применение ДПФ приводит к значительным погрешностям при обработке сигналов из-за использования набора дискретных комплексных экспоненциальных базисов (ДКЭБ) [2]. Поэтому задача, позволяющая устранить данные недостатки за счет использования целочисленных преобразований сигналов, является актуальной задачей.

Постановка задачи

Для решения поставленной задачи необходимо выбрать такие целочисленные ортогональные преобразования сигналов, которые можно реализовать на основе одного вычислительного тракта. Особое место среди таких преобразований занимает теоретико-числовое преобразование (ТЧП) сигнала, которое выполняется по модулю M [3]. Но данный модуль берут достаточно большим, чтобы можно было обеспечить требуемую точность обработки сигналов. Чтобы повысить скорость проводимых вычислений в работе предлагается перейти к параллельно-конвейерным вычислениям, реализованных в коде системы остаточных классов (СОК). Это позволит объединить распараллеливание на уровне алгоритма обработки сигналов и на уровне выполнения вычисления операций. Поэтому целью исследований повышение скорости выполнения теоретико-числовых преобразований сигналов за счет использования разработанной математической модели чисто-систолической матрицы, реализующей ТЧП в коде системы остаточных классов.

Разработка методики

В настоящее время обеспечить реальный масштаб времени в системах OFDM возможно за счет перехода от последовательной передачи данных к параллельной, совмещающей в себе использование быстрых преобразований Фурье, которые задаются выражением [2]

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N/2-1} x_{v-1,0}(n) W_N^{2nk} + \sum_{n=0}^{N/2-1} x_{v-1,1}(n) W_N^{2(n+1)k}, \quad (1)$$

где $W_N^2 = e^{-\frac{2\pi}{N/2}}$ – набор дискретных комплексных экспоненциальных базисов (ДКЭБ); $x_{v-1,0}(n) = x(2nT)$ – кортеж четных входных отсчетов; $x_{v-1,1}(n) = x((2n+1)T)$ – кортеж нечетных входных отсчетов.

Анализ выражения (1) наглядно показывает, что при реализации ортогональных преобразований в поле комплексных чисел необходимо использовать два вычислительных канала. Один предназначен для обработки действительной части сигнала, а второй используется для работы с мнимой частью сигнала. Кроме того, применение набора дискретных комплексных экспоненциальных базисов (ДКЭБ) в качестве поворачивающих коэффициентов приводит к значительным погрешностям при вычислениях. Переход к ортогональным преобразованиям в конечном поле $GF(M)$ позволяет устранить отмеченные недостатки БПФ. Рассмотрим ортогональные преобразования сигналов на основе ТЧП.

Известно [3], что целочисленное ортогональное преобразование сигналов по своим характеристикам подобен дискретному преобразованию Фурье. Для выполнения теоретико-числовых преобразований необходимо найти такой элемент мультипликативной группы, задаваемой модуле M , для которого было справедливо равенство $\varepsilon = \sqrt[N]{1} \in GF(M)$. В этом случае получаем, что теоретико-числовое преобразование сигналов будет реализовано в циклической группе $\varepsilon = \sqrt[N]{1} \in GF(M)$, имеющий порядок равный N . Тогда используя порождающий элемент такой группы G_N , можно выполнить ортогональные преобразования сигналов согласно

$$X(k) = \left(\sum_{n=0}^{N-1} x(n)\varepsilon^{-kn} \right) \bmod M, \quad (2)$$

где $[x(0), x(1), \dots, x(N-1)]$ - входной вектор сигнала $x(n)$.

Для данного ортогонального преобразования сигналов существует обратное ТЧП, которое определяется выражением

$$x(n) = \left(N^{-1} \sum_{k=0}^{N-1} X(k)\varepsilon^{kn} \right) \bmod M. \quad (3)$$

Анализ выражения (1) и (2) показывает, что альтернативным решением базису дискретных комплексных экспоненциальных базисов выступает теоретико-числовой базис, которая использует $\varepsilon = \sqrt[N]{1} \in GF(M)$ корни порядка N из единицы в конечном поле $GF(M)$. Очевидно, что такие базисы обладают аналогичными базисам, которые позволяют выполнять ортогональное преобразование в поле комплексных чисел. Очевидно, что целочисленный теоретико-числовой базис характеризуется ортонормированностью, полнотой и мультипликативностью. Кроме того временной сдвиг в теоретико-числовых преобразованиях, который получается путем выполнения модульного алгебраического сложения, можно считать циклическим.

Таким образом, очевидно, что принципы реализации теоретико-числовых преобразований подобны принципам построения дискретных преобразований Фурье. Это позволяет сделать вывод о том, что для ТЧП должны быть справедливы теоремы, которые используются при выполнении ДПФ. К таким теоремам относятся теорема о модуляции. Также можно отметить теоремы о сдвиге, свертке, корреляции и умножении сигналов при реализации ТЧП. Следовательно, существует потенциальная возможность, замены математической модели ортогональных преобразований сигналов с использованием набора

дискретных комплексных экспоненциальных базисов на подобные преобразования, реализованные в конечных полях Галуа GF(M). При этом очевидно, что теоретико-числовые преобразования сигналов имеют существенное преимущество перед ДПФ, которое определяется возможностью выполнения модульных операций с использованием табличной реализации. Кроме того, использование целочисленного теоретико-числового базиса способствует снижению погрешности вычислений [3].

Чтобы повысить скорость выполнения теоретико-числовых преобразований сигналов целесообразно использовать методы параллельно-конвейерной организации процесса вычислений. Особое место среди пространственно-распределенной структур вычислительных систем занимают систолические матрицы, которые реализуют схему Горнера [4]. Рекуррентная схема построения систолической матрицы определяется из следующих математических преобразований. Пусть в качестве модуля используется характеристика поля Галуа $M = 7$. В данном поле возможно выполнение шести точечного теоретико-числового преобразования. Тогда выражение (1) можно представить в виде

$$\begin{aligned}
 X(0) &= x(0) + x(1)\varepsilon^0 + x(2)\varepsilon^0 + x(3)\varepsilon^0 + x(4)\varepsilon^0 + x(5)\varepsilon^0; \\
 X(1) &= x(0) + x(1)\varepsilon^1 + x(2)\varepsilon^2 + x(3)\varepsilon^3 + x(4)\varepsilon^4 + x(5)\varepsilon^5; \\
 X(2) &= x(0) + x(1)\varepsilon^2 + x(2)\varepsilon^4 + x(3)\varepsilon^0 + x(4)\varepsilon^2 + x(5)\varepsilon^4; \\
 X(3) &= x(0) + x(1)\varepsilon^3 + x(2)\varepsilon^0 + x(3)\varepsilon^3 + x(4)\varepsilon^0 + x(5)\varepsilon^3; \\
 X(4) &= x(0) + x(1)\varepsilon^4 + x(2)\varepsilon^2 + x(3)\varepsilon^0 + x(4)\varepsilon^4 + x(5)\varepsilon^2; \\
 X(5) &= x(0) + x(1)\varepsilon^5 + x(2)\varepsilon^4 + x(3)\varepsilon^3 + x(4)\varepsilon^2 + x(5)\varepsilon^1.
 \end{aligned} \tag{4}$$

Рассмотрим получение спектрального коэффициента ТЧП $X(1)$. Для этого вынесем за скобки значение поворачивающего коэффициента ε^1 . В результате получаем следующую рекуррентную формулу, позволяющую вычислить значение $X(1)$

$$\begin{aligned}
 X(1) &= x(0) + x(1)\varepsilon^1 + x(2)\varepsilon^2 + x(3)\varepsilon^3 + x(4)\varepsilon^4 + x(5)\varepsilon^5 = \\
 &= x(0) + \varepsilon^1(x(1) + x(2)\varepsilon^1 + x(3)\varepsilon^2 + x(4)\varepsilon^3 + x(5)\varepsilon^4) = \\
 &= x(0) + \varepsilon^1(x(1) + \varepsilon^1(x(2) + x(3)\varepsilon^1 + x(4)\varepsilon^2 + x(5)\varepsilon^3)) = \\
 &= x(0) + \varepsilon^1(x(1) + \varepsilon^1(x(2) + \varepsilon^1(x(3) + x(4)\varepsilon^1 + x(5)\varepsilon^2))) = \\
 &= x(0) + \varepsilon^1(x(1) + \varepsilon^1(x(2) + \varepsilon^1(x(3) + \varepsilon^1(x(4) + x(5)\varepsilon^1))).
 \end{aligned} \tag{5}$$

Анализ выражения (5) показывает, что на процессорный элемент, входящий в состав систолической матрицы должен выполнять базовую операцию $\varepsilon^1(x(j-1) + x(j)\varepsilon^1) \bmod M$. Значит, в состав процессорного элемента должен входить умножитель и сумматор, выполняющие арифметические операции по модулю M . При этом сначала должна выполняться операция умножения отсчета $x(j)$ на поворачивающий коэффициент ε^1 , а затем к полученному произведению прибавляется предыдущий отсчет $x(j-1)$. Следовательно, поворачивающие коэффициенты ε^1 и отсчеты должны продвигаться от одного процессорного элемента к другому. Для реализации данной процедуры необходимо в состав

процессорного элемента включить два регистра, для промежуточного хранения значений ε^1 и отсчета $x(j)$.

Рассмотрим вычисление второй спектральной составляющей теоретико-числового преобразования сигнала. Произведя аналогичные преобразования, получаем

$$\begin{aligned} X(2) &= x(0) + x(1)\varepsilon^2 + x(2)\varepsilon^4 + x(3)\varepsilon^6 + x(4)\varepsilon^8 + x(5)\varepsilon^{10} = \\ &= x(0) + \varepsilon^2(x(1) + \varepsilon^2(x(2) + \varepsilon^2(x(3) + \varepsilon^2(x(4) + x(5)\varepsilon^2))). \end{aligned} \quad (6)$$

Очевидно, что и все последующие спектральные составляющие $X(3) - X(5)$ теоретико-числового преобразования можно получить аналогичным образом. Только в этом случае в базовой операции сначала будет использоваться поворачивающий коэффициент ε^3 при определении $X(3)$, затем коэффициент ε^4 при вычислении $X(4)$, а после коэффициент ε^5 при получении $X(5)$. Тогда обобщенная рекуррентная формула Горнера имеет вид

$$\begin{aligned} X(k) &= x(0) + x(1)\varepsilon^k + x(2)\varepsilon^{2k} + x(3)\varepsilon^{3k} + \dots + x(N-2)\varepsilon^{(N-2)k} + x(N-1)\varepsilon^{(N-1)k} = \\ &= x(0) + \varepsilon^k(x(1) + \varepsilon^k(x(2) + \varepsilon^k(x(3) + \dots + \varepsilon^k(x(N-2) + x(N-1)\varepsilon^k))). \end{aligned} \quad (7)$$

Из выражения (7) наглядно видно, что количество процессорных элементов, составляющих основу чисто-систолической матрицы (ЧСМ), равно размерности входного вектора и определяется модулем M . На рисунке 1 представлена структура процессорного элемента чисто-систолической матрицы, реализующей вычисление ТЧП по модулю M на основе схемы Горнера.

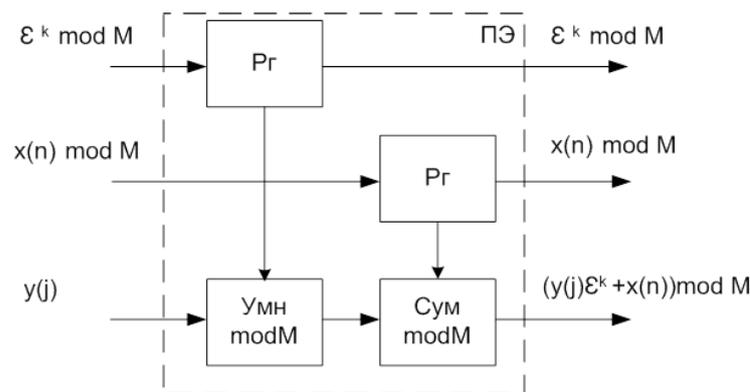


Рисунок 1. Структура процессорного элемента чисто-систолической матрицы

Временная диаграмма работы чисто-систолической матрицы, реализующей ТЧП по модулю $M = 7$, показана на рисунке 2. На рис. 2 наглядно видно, что первые N тактов работы происходит начальная загрузка данных, представляющих собой входной вектор сигнала. Затем на первый вход чисто-систолической матрицы, реализующей ТЧП по модулю M , подаются последовательно поворачивающие коэффициенты $\varepsilon^k \bmod M$. Затем в течение $2N$ тактов происходит вычисление ТЧМ сигнала по модулю M .

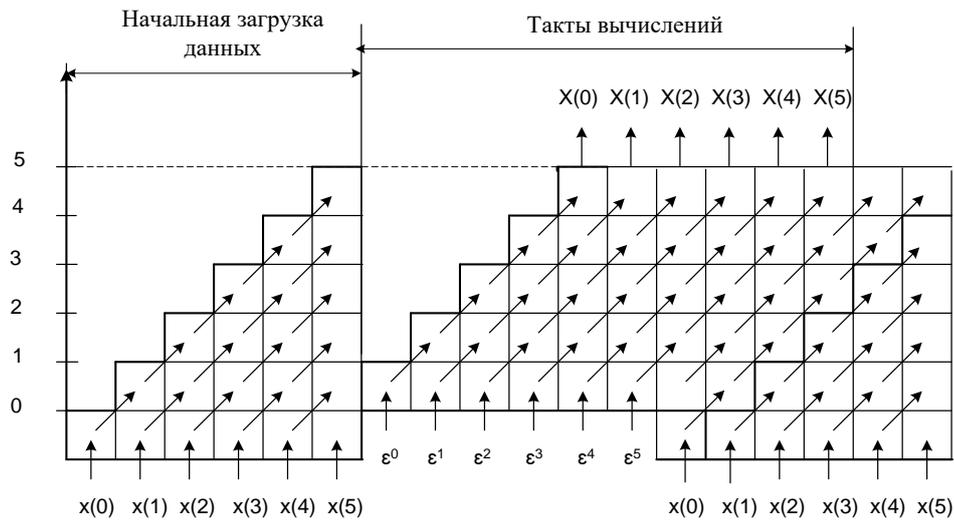


Рисунок 2. Временная диаграмма работы ЧСМ, реализующей теоретико-числовое преобразование сигнала по модулю $M = 7$

Дальнейшее повышение скорости выполнения ТЧП возможно за счет использования методов распараллеливания, выполняемых на уровне арифметических операций. Как правило, такие методы реализуются с помощью кодов системы остаточных классов. В таких кодах, которые являются непозиционными, основаниями являются попарно простые числа. В этом случае число, представленное в позиционном коде, можно записать в виде кортежа остатков, которые были получены при делении числа A основания [5]. В результате имеем

$$A = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k), \quad (8)$$

где $\alpha_i \equiv A \pmod{p_i}; i = 1, \dots, L$.

Характерной чертой кодов СОК является параллельная и независимая обработки остатков. В результате этой операции суммирования, вычитания и умножения выполняются с меньшими временными затратами, согласно

$$\begin{aligned} |A + B|_{p_i}^+ &= |\alpha_i + \beta_i|_{p_i}^+ \\ |A - B|_{p_i}^+ &= |\alpha_i - \beta_i|_{p_i}^+; \\ |A \cdot B|_{p_i}^+ &= |\alpha_i \cdot \beta_i|_{p_i}^+. \end{aligned} \quad (9)$$

где $A = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k)$ и $B = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k)$ - модулярный код в кольце вычетов; $\alpha_i \equiv A \pmod{p_i}; \beta_i \equiv B \pmod{p_i}; i = 1, 2, \dots, L$.

Анализ выражения (9) свидетельствует о том, что использование кода СОК способно снизить временные затраты на выполнение модульных операций. При этом кода также позволяет обеспечить высокую точность обработки данных. Поэтому соединение принципов построения теоретико-числового преобразования сигналов с основами реализации кода СОК будет способствовать повышению как точности выполнения обработки сигналов, так и скорости выполнения ортогональных преобразований.

Для этого воспользуемся составными числами Мерсена. В этом случае ТЧП, которое задается равенством (1), можно заменить многомерной параллельной обработкой сигнала. Тогда имеет место изоморфизм, согласно которому проведение ортогонального преобразования сигнала выполняемому в кольце Z_M , сводится к преобразованиям, реализуемым в сумме колец $Z_{p_1} + Z_{p_2} + \dots + Z_{p_L}$, где $M = \prod_{i=1}^L p_i$. Тогда реализация теоретико-числового преобразования в коде системы остаточных классов имеет вид

$$\begin{cases} X_1(k) = \left(\sum_{n=0}^{N-1} x_1(n) \varepsilon_1^{-kn} \right) \bmod p_1 \\ \vdots \\ X_L(k) = \left(\sum_{n=0}^{N-1} x_L(n) \varepsilon_L^{-kn} \right) \bmod p_L \end{cases}, \quad (10)$$

где $x_i(n) \equiv x(n) \bmod p_i$; $\varepsilon_i^{-kn} \equiv \varepsilon^{-kn} \bmod p_i$; $X_i(n) \equiv X(n) \bmod p_i$.

Обратное преобразование имеет вид

$$\begin{cases} x_1(n) = \left(N_1 \sum_{k=0}^{N-1} X_1(k) \varepsilon_1^{kn} \right) \bmod p_1 \\ \vdots \\ x_L(n) = \left(N_L \sum_{k=0}^{N-1} X_L(k) \varepsilon_L^{kn} \right) \bmod p_L \end{cases}, \quad (11)$$

где $N_i(n) \equiv (N^{-1}) \bmod p_i$; $\varepsilon_i^{kn} \equiv \varepsilon^{kn} \bmod p_i$; $i = 0, \dots, L$.

Для выполнения перевода из кода системы остаточных классов в позиционный код, как правило, применяется китайская теорема об остатках, согласно которой

$$x(n) = \sum_{i=1}^L x_i(n) B_i \bmod M, \quad (12)$$

где B_i – ортогональный базис i -го основания кода; $B_i \equiv 1 \bmod p_i$; $i = 0, \dots, L$

Результаты

Пусть задан модуль числа Мерсена $M = 255 = 3 \cdot 7 \cdot 17$. Тогда выполнение OFDM на основе одномодульного теоретико-числового преобразования и с использованием модулярных кодов будет на основе 16-точечное ТЧП. Так как $29^{16} \bmod 255 = 1$, то выбираем $\varepsilon = 29$ корень из единицы порядка $N = 16$. Пусть задан входной вектор, представленный в $Z_M = Z_{255}$, $\bar{X} = \{x(0), x(1), x(2), \dots, x(15)\} = \{15, 14, 13, 12, \dots, 1, 0\}$.

Осуществим ТЧП по формуле

$$X(k) = \left(\sum_{n=0}^{N-1} x(n) \varepsilon^{-kn} \right) \bmod 255. \quad (13)$$

В результате вычислений по формуле (2) получаем ТЧП спектр:

$X(k) = (120, 218, 90, 233, 180, 128, 120, 173, 195, 98, 15, 143, 210, 38, 45, 53)$.

Воспользуемся разработанной моделью выполнения ТЧП в кольце $Z_3 + Z_5 + Z_{17}$, В этом случае код СОК определяется модулям $p_1 = 3$, $p_2 = 7$, $p_3 = 17$. Представим входной сигнал в коде СОК. Получаем

$$\overline{X} \bmod 3 = \{0, 2, 1, 0, 2, 1, 0, 2, 1, 0, 2, 1, 0, 2, 1, 0\},$$

$$\overline{X} \bmod 5 = \{0, 4, 3, 2, 1, 0, 4, 3, 2, 1, 0, 4, 3, 2, 1, 0\},$$

$$\overline{X} \bmod 17 = \{15, 14, 13, 12, 11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0\}.$$

Выполним реализацию ТЧП в системе остаточных классов. В результате получаем

$$\{X_1(0), X_1(1), \dots, X_1(15)\} = \{0, 2, 0, 2, 0, 2, 0, 2, 0, 2, 0, 2, 0, 2, 0, 2\},$$

$$\{X_2(0), X_2(1), \dots, X_2(15)\} = \{0, 3, 0, 3, 0, 3, 0, 3, 0, 3, 0, 3, 0, 3, 0, 3\},$$

$$\{X_3(0), X_3(1), \dots, X_3(15)\} = \{1, 14, 5, 12, 10, 9, 1, 3, 8, 13, 15, 7, 6, 4, 11, 2\}.$$

Представим отсчет ТЧП в коде СОК. Получаем $X(1) = 218 = (2, 3, 14)$. Таким образом, очевидно, что при использовании СОК были получены значения, совпадающие с результатами ТЧП по модулю $M = 255$.

Обсуждение

Рассмотрим основные показатели разработанной математической модели параллельно-конвейерного ТЧП сигналов, реализуемого в системе остаточных классов на основе схемы Горнера. Проведенный анализ позволил установить то, что МССП в установившемся режиме характеризуется следующими показателями:

- начальная загрузка спецпроцессора равна $N = 16$ тактов;
- в каждом цикле вычислений ТЧП число тактов равно $2N = 32$;
- при установившемся режиме вычислений ТЧП полное число тактов равно $2N = 32$;
- производительность одного процессорного элемента ЧСМ составляет

$$P_{\text{ПЭ}} = \frac{1}{\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4}, \quad (14)$$

где τ_1 - время реализации процедуры приема-передачи данных; τ_2 - время необходимое на выполнение операции умножения; τ_3 - время необходимое на выполнения операции суммирования; τ_4 - время необходимое на реализацию записи и считывания результата.

Тогда использование разработанной математической модели параллельно-конвейерного ТЧП сигналов, реализуемого в системе остаточных классов на основе схемы Горнера позволяет вычислитель спектральные составляющие входного сигнала через период, который равен $T_{\text{ЧСМ}} = N\tau$.

Таким образом, использование разработанной математической модели позволяет повысить производительность выполнения ТЧП в 8 раз по сравнению с математической моделью реализации теоретико-числового преобразования сигналов, определяемой выражением (2).

Выводы:

В статье представлены результаты разработки математической модели чисто-систолической матрицы, реализующей теоретико-числовые преобразования сигналов в коде системы остаточных классов. Проведенные исследования позволили обосновать структуру

процессорных элементов, входящих в состав параллельно-конвейерного ЧСМ. Представленный пример реализации ТЧП сигналов показал, что разработанная математическая модель, реализуемая в системе остаточных классов на основе схемы Горнера позволяет повысить скорость реализации ортогональных преобразований сигналов OFDM. Так при выполнении ТЧП по модулю $M = 255$ входные данные имеют разрядность 8 бит. При использовании кодов СОК наблюдается снижение разрядности образываемых данных до 5 бит. Учитывая, что время выполнения операции умножения пропорционально разрядности обрабатываемых данных, можно сделать вывод о том, что разработанная математическая модель за счет использования кодов СОК повысила скорость вычисления ТЧП в 1,76 раза без учета немодульных операций, связанных с преобразованием позиционного кода в код СОК и обратного преобразования.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-37-00009.

Список используемой литературы

- [1] Технология OFDM. Учебное пособие для вузов/М.Г. Бакулин, В.Б. Крейнделин, А.М. Шлюма, А.П. Шумов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2017 – 352 с.
- [2] Цилькер Б.Я. Организация ЭВМ и систем : Учебник для вузов / Б.Я. Цилькер, С.А. Орлов. - 2-е изд. - СПб.: Питер, 2011. - 688 с. -
- [3] Чернов В.М. Квазипараллельный алгоритм безошибочного вычисления свертки в редуцированных кодах Мерсена-Люка //Компьютерная оптика. – 2015. - №2. - С 241-248.
- [4] Систолические структуры. http://life-prog.ru/1_12122_sistolicheskie-strukturi.html
- [5] Червяков Н.И., Коляда А.А., Ляхов П.А. Модулярная арифметика и ее приложения в инфокоммуникационных технологиях / Н.И. Червяков, А.А. Коляда, П.А. Ляхов – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017. – 400 с.

List of references

- [1] OFDM technology. Textbook for universities/M. G. Bakulin, V. B. Kreindlin, A. M. Sloma, A. P. Noise. – М.: Hot line-Telecom, 2017 – 352.
- [2] Tsilker, B. I. the Organization of computers and systems: Textbook for universities. - 2nd ed. - SPb.: Peter, 2011. - 688 p. -
- [3] Chernov V. M. Quasiparallel algorithm to accurately compute the convolution in reduced codes Mersenne-Luc //Computer optics. - 2015. - №2. With 241-248.
- [4] Systolic structures. http://life-prog.ru/1_12122_sistolicheskie-strukturi.html
- [5] Chervyakov N.I., Kolyada A. A., Lyakhov, P. A. Modular arithmetic and its applications in information and communication technologies / N.I. Chervyakov, A. A. Kolyada, P. A. Lyakhov – М.: FIZMATLIT, 2017. - 400 p.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО СКАНЕРА БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ WiFi С ПО ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Ковчунов Петр Александрович¹
ijacker30@gmail.com

Новохрестов Алексей Константинович¹
nak1@keva.tusur.ru

¹ Томский Государственный Университет Систем Управления и Радиоэлектроники, г.
Томск, 634050, Российская Федерация

Аннотация

В этой статье ставилась задача сравнительного анализа данных, предоставляемых специализированным сканером беспроводных сетей NetScout AirCheck G2 с данными, получаемыми при использовании мобильных приложений с аналогичным заявленным функционалом, оценка точности таких измерений и ответ на вопрос о возможности замены дорогостоящего специального сканера на связку «телефон на базе ОС Android + бесплатное ПО» для оптимизации конфигурации WiFi-сетей в учебных помещениях. Допустимое отклонение результатов измерений не должно было превышать 2 дБ. Для этого проводились многочисленные измерения уровней сигналов и шума в действующей беспроводной сети ВУЗа, затем исследовалось отклонение данных, полученных мобильными приложениями от данных, полученных со сканера, методом наименьших квадратов. В результате выполнения работы было установлено, что мобильные приложения могут обеспечивать требуемый уровень точности измерений, следовательно, их использование допустимо в рамках

решения задач оптимизации расположения точек доступа, что позволит сэкономить бюджетные средства образовательного учреждения.

Abstract

In this article the task of contrastive analysis of the data provided by the specialized scanner of wireless networks NetScout AirCheck G2 with the data obtained when using mobile applications with the similar stated functionality, assessment of accuracy of such measurements and the answer to a question of a possibility of replacement of the expensive special scanner to a set "phone using OS Android + free software" for optimization of a configuration of WiFi-networks in educational rooms was set. The tolerance of results of measurements should not have exceeded 2 dB. Numerous measurements of levels of signals and noise in the operating wireless network of higher education institution were for this purpose taken, then the discrepancy of the data obtained by mobile applications from the data obtained from the scanner was investigated with use of the least-squares method. As a result of execution of work it was established that mobile applications can provide the required level of measurements accuracy, therefore, their use is admissible within a solution of problems of optimization of arrangement of access points that will allow to save budgetary funds of educational institution.

Ключевые слова: анализ беспроводных сетей, распространение электромагнитных волн в помещениях, оптимизация расположения точек доступа, сравнение различных методов анализа.

Keywords: network analysis, propagation of electromagnetic waves in rooms, location optimization of access points, comparison of different analysis methods.

1 Введение

Задача выявления мест установки Wi-Fi точек доступа в помещении так, чтобы уровень сигнала был как можно более высоким, является распространенной в наше время в рамках широкого внедрения информационных ресурсов и компьютеризации организаций и предприятий. Для решения данной задачи необходимо провести оценку уровня Wi-Fi-сигнала в различных точках помещения. В ходе получения этой оценки необходимо учитывать эффект

ослабления радиоволн при их прохождении через препятствия, а также точность измерительных приборов.

Формулу быстрой оценки падения мощности Wi-Fi выдвинули Кочин В.П., Воротницкий Ю.И. и Стрикелев Д.А. в одноименной научной работе [1], эта формула была экспериментально проверена.

В промышленных масштабах такая задача тоже ставилась и предлагались решения методом разбиения зоны предприятия на квадраты и размещения в вершинах этих квадратов точек доступа [2]. Также подобную задачу пытались решить методом непрерывной оптимизации, путем представления сигнала как функции от расстояния и характера среды, в которой он передается. На этом основании был создан проект размещения точек доступа в Петрозаводском Государственном институте. [3]

Помимо решения данной практической задачи возникают две прикладные задачи, связанные с вышеуказанной: проблема обеспечения безопасности беспроводных сетей и задача определения подходящих мест для размещения точек доступа без использования дорогостоящего оборудования. Анализ того, насколько распространены незащищенные WiFi-сети, проводили студенты НИЯУ МИФИ в 2017г. [4], а также в г. Санкт-Петербург шло исследование методов обнаружения вторжений в беспроводных сетях [5]. Задача же подтверждения снижения издержек на проектирование и модернизацию беспроводных сетей путем замены специализированного сканера на мобильное приложение пока еще не рассмотрена в научном сообществе, что делает ее актуальной.

2 Постановка задачи

Целью данной работы являлся ответ на вопрос, достаточно ли хорошим аналогом специализированного сканера беспроводных сетей являются мобильные приложения. Критерием, которому должен удовлетворять аналог, является среднеквадратичное отклонение показателей мобильных сканеров (в качестве мобильного приложения-сканера использовалось WiFi-Visualiser, производитель ИТО Akihiro), не превышающее 2 дБ от измеряемого значения, безотносительно устройств, на которых они будут запущены, от данных, полученных со сканера NetScout AirCheck G2, принятого за эталон.

3 Разработка методики

В связи с вышеописанной целью перед автором этой статьи встали следующие задачи:

- провести не менее 25 измерений уровней сигнала и шума в беспроводной сети, расположенной в учебно-лабораторном корпусе высшего учебного заведения. Данная серия измерений должна быть произведена на нескольких этажах корпуса, как в коридорах, так и в учебных аудиториях. Причем измерения следует проводить дважды, в условиях нагрузки на беспроводную сеть со стороны большого количества подключенных устройств студентов в учебное время, и в условиях минимальной нагрузки в вечернее время после занятий. Измерения должны проводиться с использованием мобильного сканера WiFi-Visualizer, установленного на мобильные телефоны под управлением ОС Android, а именно: Doogee

BL9000 и Xiaomi Redmi Note 4, а также с использованием специализированного сканера беспроводных сетей NetScout AirCheck G2;

- проанализировать полученные данные, оценить абсолютное отклонение по каждому из измерений и вывести среднеквадратичное отклонение для каждого сканера;
- сравнить полученные значения отклонения с максимально допустимыми для измерений;
- в случае, если отклонение укладывается в допустимые 2 дБ, сделать вывод, что мобильный телефон с установленным на него бесплатным ПО может являться аналогом специализированного сканера беспроводных сетей в рамках решения прикладных задач.

4 Полученные результаты

В ходе выполнения работы были произведены 30 измерений соотношений сигнал-шум (далее - SNR), а также вычислялась разность значений показаний мобильного сканера и специализированного. Измерения проводились под нагрузкой (в учебное время, данные в таблице 1) и без нее (после занятий, данные в таблице 1). Получены следующие результаты измерений:

Таблица 1. Результаты измерений и их разности (в присутствии нагрузки)

Точка изм.	SNR (Сканер) , дБ	Xiaomi		Doogee	
		SNR, дБ	Δ SNR, дБ	SNR, дБ	Δ SNR, дБ
1	59	59	0	58	-1
2	49	51	2	49	0
3	36	37	1	39	3
4	12	14	2	11	-1
5	45	47	2	48	3
6	43	43	0	46	3
7	20	21	1	19	-1
8	42	42	0	45	3
9	50	49	-1	50	0
10	31	28	-3	30	-1
11	59	57	-2	62	3
12	28	27	-1	28	0
13	36	34	-2	39	3
14	30	28	-2	32	2
15	18	20	2	17	-1
16	8	6	-2	8	0
17	10	11	1	11	1
18	18	19	1	20	2
19	31	33	2	32	1
20	11	10	-1	13	2
21	57	54	-3	60	3

Таблица 1. Результаты измерений и их разности - Продолжение

Точка изм.	SNR (Сканер) , дБ	Xiaomi		Doogee	
		SNR, дБ	Δ SNR, дБ	SNR, дБ	Δ SNR, дБ
22	38	39	1	41	3
23	34	34	0	36	2
24	30	29	-1	30	0
25	17	14	-3	17	0
26	60	57	-3	62	2
27	40	37	-3	39	-1
28	37	39	2	39	2
29	46	45	-1	45	-1
30	46	48	2	49	3

Таким образом, для ситуации, когда нагрузка на сеть велика, среднеквадратичное отклонение σ для сканера, установленного на телефон Xiaomi, равно 1,5867, а для сканера на телефоне Doogee – 1,4667.

Таблица 2. Результаты измерений и их разности (без нагрузки)

Точка изм.	SNR (Сканер) , дБ	Xiaomi		Doogee	
		SNR, дБ	Δ SNR, дБ	SNR, дБ	Δ SNR, дБ
1	65	62	-3	66	1
2	50	49	-1	52	2
3	42	40	-2	43	1
4	18	19	1	16	-2
5	45	47	2	44	-1
6	43	42	-1	43	0
7	31	30	-1	32	1
8	45	46	1	45	0
9	50	48	-2	47	-3
10	34	35	1	34	0
11	59	57	-2	58	-1
12	37	36	-1	38	1
13	41	41	0	39	-2
14	29	28	-1	28	-1
15	23	21	-2	23	0
16	31	33	2	33	2
17	26	24	-2	24	-2
18	30	30	0	30	0
19	35	36	1	35	0

Таблица 2. Результаты измерений и их разности – Продолжение

Точка изм.	SNR (Сканер) , дБ	Xiaomi		Doogee	
		SNR, дБ	Δ SNR, дБ	SNR, дБ	Δ SNR, дБ
20	32	31	-1	32	0
21	46	45	-1	45	-1
22	47	45	-2	47	0
23	42	44	2	41	-1
24	39	39	0	39	0
25	32	31	-1	31	-1
26	65	64	-1	66	1
27	48	48	0	48	0
28	48	48	0	48	0
29	45	43	-2	47	2
30	52	51	-1	51	-1

Таким образом, для ситуации, когда нагрузки на сеть нет, среднеквадратичное отклонение σ для сканера, установленного на телефон Xiaomi, равно 1,12, а для сканера на телефоне Doogee – 0,9444.

5 Обсуждение

Отличие результатов измерений и абсолютных значений уровня сигнал-шум вызвано тем, что большое количество одновременно подключенных устройств повышает общий уровень шума. Что, при неизменном уровне мощности сигнала, снижает эффективный SNR. Также в условиях отсутствия нагрузки сканеры, установленные на мобильных телефонах, точнее определяют эффективное значение SNR, это видно из снижения величины среднеквадратичного отклонения на ~20%.

В случае сравнения результатов, полученных в данной работе, с результатами других научных работ, также следует учитывать, что при измерении уровня сигнала беспроводных сетей в помещении, важную роль играет расположение измерительного прибора относительно стен комнаты, их материал и даже характеристики влажности в помещениях [6].

Также в данной работе было установлено, что при измерении параметров WiFi-сигнала на частоте 2.4 ГГц, не имеет значения, WiFi-модуль какого производителя был использован, в связи с тем, что они все подчиняются общему стандарту и, следовательно, отклонения в результатах измерений незначительны, что было подтверждено экспериментально.

6 Заключение

В ходе анализа данных, собранных в результате измерений, были вычислены среднеквадратичные отклонения данных с мобильных сканеров и специализированного. Все

эти отклонения попадают в предварительно заданный доверительный интервал в 2 дБ, следовательно, можно положительно ответить на вопрос о целесообразности замены дорогостоящего специализированного сканера беспроводных сетей на их аналоги, являющиеся приложениями для мобильного телефона на базе ОС Android, в рамках проектирования и/или оптимизации расположения точек доступа в сети образовательного учреждения.

Список используемой литературы

- [1] Кочин В.П., Воротницкий Ю.И., Стрикелев Д.А. Быстрая оценка мощности wi-fi-сигнала при прохождении препятствий в пределах здания / Кочин В.П., Воротницкий Ю.И., Стрикелев Д.А // Вестник БГУ. Сер. 1. 2013. № 1 – Минск: БГУ, 2013. – С. 45-50.
- [2] Клименко Д. А, Коробова Л.А Алгоритм определения расположения точек беспроводной связи на местности / Д. А Клименко, Л. А. Коробова // Сборник статей V международной научно-практической интернет-конференции «Моделирование энергоинформационных процессов». – Воронеж: ВГУИТ, 2017. – С. 53-54.
- [3] Воронов Р.В. Задача оптимального размещения точек доступа системы позиционирования объектов в помещении / Р.В. Воронов // Вестник СПбГУ. Прикладная математика. Т.13 Вып. 1 – СПб: СПбГУ, 2017. – С. 61-73
- [4] Атавина А.В. Проблемы безопасности беспроводных сетей / А.В. Атавина // Проблемы науки. Ном. 7 – Иваново: Олимп, 2017. – С. 35-36
- [5] Юркин Д.В, Никитин В.Н. Системы обнаружения вторжений в сетях широкополосного радиодоступа стандарта IEEE 802.11 / Д.В. Юркин, В.Н. Никитин // Информационно-управляющие системы. Ном. 2 – СПб: СПбГУАП, 2014. – С. 44-49
- [6] Щетникова Д.А. Исследование характеристик передающих устройств WiFi внутри помещения / Д.А. Щетникова // Международный студенческий научный вестник. Ном. 4 – Воронеж: ВИВТ, 2017. – С. 1429-1432

List of references

- [1] Kochin V. P., Vorotnitsky Yu. I., Strikelev D. I. Fast assessment of power of a wi-fi-signal when passing obstacles within building / Kochin V. P., Vorotnitsky Yu.I., Strikelev D. I.//BGU Bulletin. Ser. 1. 2013. No. 1 – Minsk: BGU, 2013. – Page 45-50. [In Russian]
- [2] Klimenko D. I., Korobova L.A Algorithm of determination of arrangement of points of wireless communication on location / D.A Klimenko, L. A. Korobova//Collection of Articles V of the international scientific and practical Internet conference "Modelling of Power Information Processes". – Voronezh: VGUIT, 2017. – Page 53-54. [In Russian]
- [3] Voronov R.V. Problem of optimum placement of access points of an object positioning system indoors/ R.V. Voronov//Messenger of St.Petersburg State University. Applied

mathematics. T.13 N. 1 – SPb: St.Petersburg State University, 2017. – Page 61-73 [In Russian]

- [4] Atavina A.V. Problems of safety of wireless networks / A.V. Atavina//Science Problems. N. 7 – Ivanovo: Olympus, 2017. – Page 35-36 [In Russian]
- [5] Yurkin D. In, Nikitin V.N. Intrusion detection systems in networks of a broadband radio access within the IEEE 802.11 standard / D.V. Yurkin, V.N. Nikitin//Management information systems. N. 2 – SPb: St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 2014. – Page 44-49 [In Russian]
- [6] Shchetnikova D.A. Research of characteristics of WiFi sending devices indoors / D.A. Shchetnikova // International student's scientific bulletin. Number. 4 – Voronezh: VIVT, 2017. – Page 1429-1432 [In Russian]

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ РАДИОСИСТЕМ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ СЛЕДУЮЩЕГО ПОКОЛЕНИЯ

Лапина О. С.
olga.lapina.1998@inbox.ru

Сурова Е. А.
petrova.zhenya.scc@mail.ru

Чернышова Т. А.
icomm@ncfu.ru

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»,
г. Ставрополь, 355037, Россия

Аннотация

Наметившиеся в последнее время тенденции развития сетей следующего поколения существенно влияют, в том числе, на требования к радиосистемам, которые должны поддерживать все большее количество полос частот, более широкие диапазоны и большее количество прикладного программного обеспечения. Одним из направлений развития в данной области является использование программно-определяемых радиосистем, предоставляющих простой и экономически эффективный механизм модификации радиооборудования для обеспечения гибкости и эффективности инфокоммуникационных технологий. В данной статье проведен анализ принципов функционирования SDR-систем и обзор платформ для реализации программно-определяемых радиосистем. Рассмотрены особенности функционирования SDR-системы на базе TV-тюнера марки R820T2, а также особенности взаимодействия с аппаратной частью. Результаты данного исследования могут быть использованы при разработке и исследовании будущих беспроводных сетей связи, а также позволяют решить ряд учебных задач при проведении лабораторных занятий и курсовом проектировании.

Abstract

The recent trends in the development of next-generation networks have a significant impact, including on the requirements for radio systems, which must support an increasing number of frequency bands, wider ranges and a greater number of application software. One of the directions of development in this area is the use of software-defined radio systems, providing a simple and cost-effective mechanism for modifying radio equipment to ensure the flexibility and efficiency of information and communication technologies. This article analyzes the principles of operation of SDR-systems and a review of platforms for implementing software-defined radio systems. The features of the functioning of the SDR-system based on the TV-tuner brand R820T2, as well as features of the interaction with the hardware. The results of this study can be used in the development and study of future wireless communication networks, and also allow to solve a number of educational tasks during laboratory studies and course design.

Ключевые слова: Next Generation Networks, Software Communication Architecture, Cognitive Radio, программно-определяемая радиосистема, Digital Signal Processor, RTL-SDR.

Keywords: Next Generation Networks, Software Communication Architecture, Cognitive Radio, software defined radio system, Digital Signal Processor, RTL-SDR.

1 Введение

Наметившиеся в последнее время тенденции развития сетей следующего поколения (Next Generation Networks, NGN) [1] существенно влияют, в том числе, на требования к радиосистемам, которые должны поддерживать все большее количество полос частот, более широкие диапазоны и большее количество прикладного программного обеспечения. В таких системах необходимо обеспечить изменение множества параметров работы большого количества разнообразных сетевых элементов в режиме реального времени [2, 3]. Системы управления беспроводными NGN должны обеспечить функциональную гибкость, быстрое развертывание новых услуг, а также требуемые уровни конфиденциальности и безопасности. Существующий научно-методический аппарат построения систем управления сетями и услугами связи [4–8] не обеспечивает требуемых характеристик из-за особенностей организации беспроводных NGN.

Одним из направлений развития в данной области является использование программно-определяемых радиосистем (Software-Defined Radio, SDR), предоставляющих простой и

экономически эффективный механизм модификации радиооборудования для обеспечения гибкости и эффективности инфокоммуникационных технологий. SDR-систему можно охарактеризовать как аппаратно-программную платформу, в которой функции физического уровня частично или полностью задаются программно. Стандартизация инфраструктуры программно-определяемых радиосистем обеспечивается спецификациями независимого от конечной реализации архитектурного фреймворка SCA (Software Communication Architecture) [9].

Данные технологии позволяют реализовать, в том числе, интеллектуальные или когнитивные радиосистемы (Cognitive Radio, CR), которые способны извлекать и анализировать информацию из окружающего радиопространства, а также предсказывать изменения параметров канала связи [10]. На основе результатов полученных CR-системой производится адаптация услуг, предоставляемых абонентам радиосети в зависимости от изменяющихся параметров среды распространения радиоволн, помеховой обстановки и загрузки частотного диапазона.

2 Принципы функционирования программно-определяемых радиосистем

В традиционном супергетеродинном приемнике обработка сигнала полностью производится электронными схемами (рис. 1) [11]. Сигнал с антенны поступает на малошумящий усилитель (МШУ). С помощью гетеродина и смесителя частота сигнала понижается до промежуточной частоты (ПЧ), после чего производится обработка.

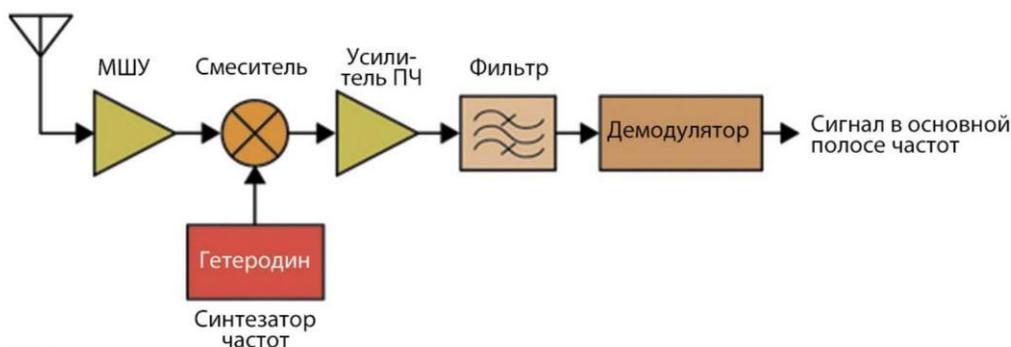


Рисунок 1. Структурная схема супергетеродинного приемника (по материалам сайта <http://www.russianelectronics.ru/>).

В первых SDR-приемниках (рис. 2) вместо демодулятора использовался аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Демодуляция и частично фильтрация сигнала производились в цифровом сигнальном процессоре (Digital Signal Processor, DSP).

В современных SDR-приемниках принятый сигнал разделяется на две компоненты: синфазную (I) и квадратурную (Q), т. е. смещенную на 90° (рис. 3). Частота гетеродина подстраивается под частоту принятого сигнала, чтобы разность сигналов на выходах смесителей равнялась нулю при отсутствии модуляции. При приеме модулированного сигнала разность сигналов равна сигналу основной полосы или исходному модулированному

сигналу. Эта архитектура получила название прямое преобразование или преобразование с нулевой промежуточной частотой. Синфазная и квадратурная компоненты сигнала основной полосы проходят соответствующие фильтры нижних частот (ФНЧ), АЦП, а также понижающие преобразователи, где частота сигнала понижается до рабочего диапазона DSP.

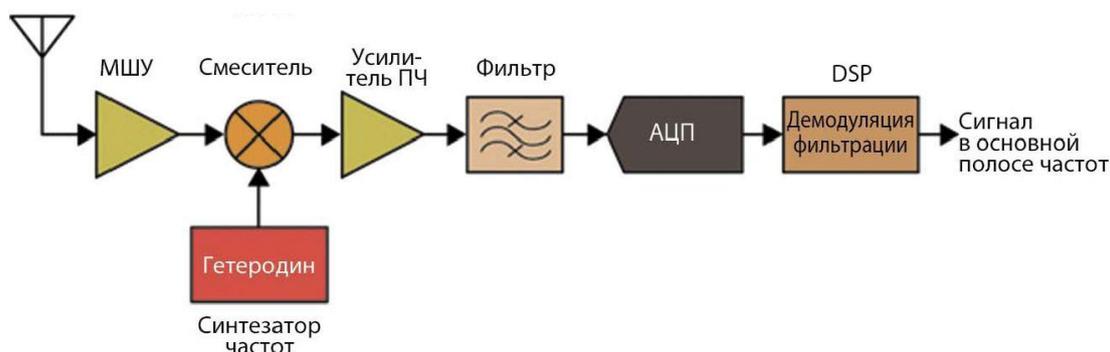


Рисунок 2. Структурная схема первых SDR-приемников (по материалам сайта <http://www.russianelectronics.ru/>).

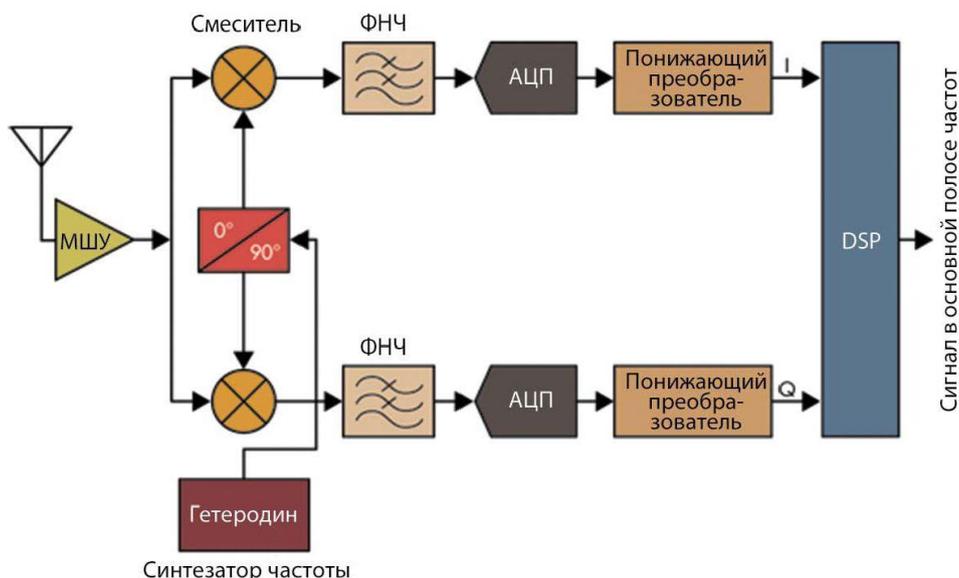


Рисунок 3. Структурная схема современного SDR-приемника (по материалам сайта <http://www.russianelectronics.ru/>).

В рассматриваемой системе методами цифровой обработки сигналов могут выполняться следующие функции: фильтрация, модуляция, демодуляция, выравнивание, сжатие и восстановление, анализ спектра, предсказание. Программная реализация позволяет устранять неисправности, изменять и дополнять функционал SDR-устройства и улучшать его характеристики с минимальными затратами.

3 Обзор платформ для реализации программно-определяемых радиосистем

В этом разделе представлены наиболее популярные универсальные платформы, позволяющие проводить эксперименты программно-определяемыми радиосистемами [12].

1. Программно-определяемая радиосистема USRP. Платформа USRP (Universal Software Radio Peripheral) является основой для разработки цифровых радиосистем, которая обеспечивает полную инфраструктуру для обработки сигналов благодаря высокой гибкости и экономичности. Платформа USRP разработана Ettus Inc, которая является дочерней компанией National Instruments [13]. Некоторые модели USRP имеют открытые исходные схемы и драйвер, который позволяет подключить систему к компьютеру. Драйвер USRP совместим со многими операционными системами (такими как, Windows, Linux и Mac), а также с GNU Radio. Существует большое сообщество людей, использующих USRP для исследований или как хобби, и поэтому относительно легко найти поддержку в Интернете.



Рисунок 4. Структурная схема современного SDR-приемника (по материалам сайта <http://www.russianelectronics.ru/>).

2. Высокопроизводительный программный радиопроjekt SORA (Microsoft Research Software Radio) разработан подразделением Microsoft Research (MSR) [14]. Аппаратное обеспечение SORA является простым и включает декодер основной полосы (рис. 5), а обработка сигнала производится внешним процессором x86. Благодаря этой архитектуре платформа имеет очень строгую полосу пропускания требования и разработчики должны оптимизировать свои реализации с помощью сборки для лучшей производительности.
3. Проект WARP (Wireless Open-Access Research) – это масштабируемая и расширяемая программируемая беспроводная платформа, для разработки прототипов передовых беспроводных сетей [15]. WARP сочетает высокопроизводительное программируемое оборудование с открытым исходным кодом репозитория базовых конструкций и материалов поддержки. Как и в USRP, в данном проекте используется FPGA для критически важных частей кода. Аппаратное обеспечение является более дорогостоящим, чем USRP.

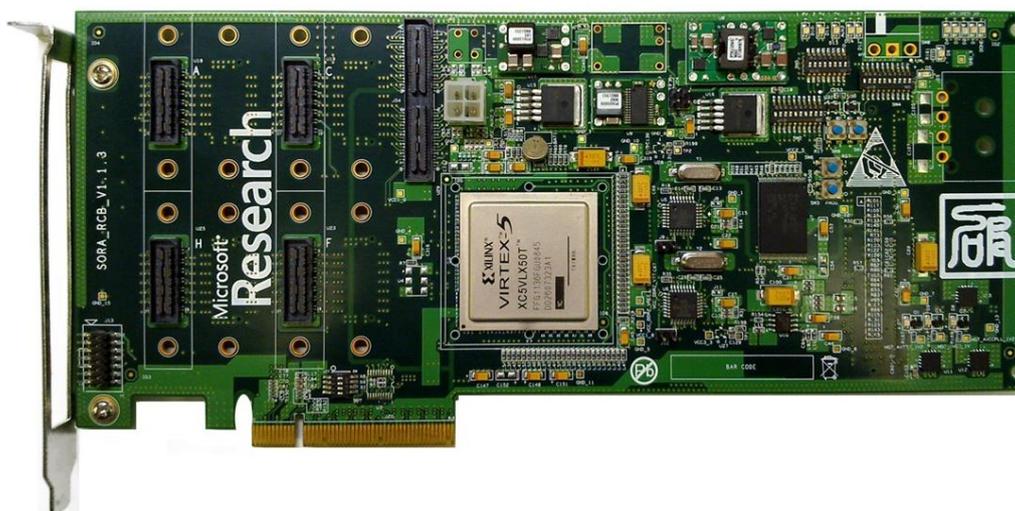


Рисунок 5. Внешний вид внутренней платы RCB радиопроекта SORA (по материалам сайта <https://www.microsoft.com/>).

4. Платформа RTL-SDR [16]. Данная разработка основана на чипе Realtek RTL2832U, который используется во многих устройствах для цифрового телевидения на основе USB (рис. 6). Имеет низкую стоимость. Хотя система RTL-SDR нацелен на любителя, его можно использовать в простых исследовательских проектах или для целей обучения. Преимущество заключается в том, что программное обеспечение RTL-SDR обычно очень просто использовать.



Рисунок 6. Внешний вид TV-тюнера марки R820T2 (по материалам сайта <https://uk.passion-radio.com/>)

4 Особенности функционирования SDR-системы на базе TV-тюнера марки R820T2

Для перевода TV-тюнера марки Rafael Micro R820T2 (рис. 7) в режим программно-определяемого цифрового приемника необходимо вместо стандартного драйвера использовать специализированное программное обеспечение [16]. В результате получаем приемник, обладающий следующими техническими характеристиками:

- диапазон частот – от 24 до 1750 МГц;
- модуляция – AM, FM, NFM, LSB, SSB, CW (ADS-B, D-STAR, AIS и др.);
- полоса обзора – от 250 кГц до 3 МГц;
- чувствительность – 0,22мКв (на 438МГц, в режиме NFM);
- входное сопротивление приёмника – 50 Ом;
- разрядность аналого-цифрового преобразователя – 8 бит;
- динамический диапазон – 50дб (в режиме CW);
- задержка принимаемого сигнала – 340 мсек;
- интерфейс – USB 2.0;
- требования к ПК: любой современный;
- операционная система: Windows, Linux, Android.

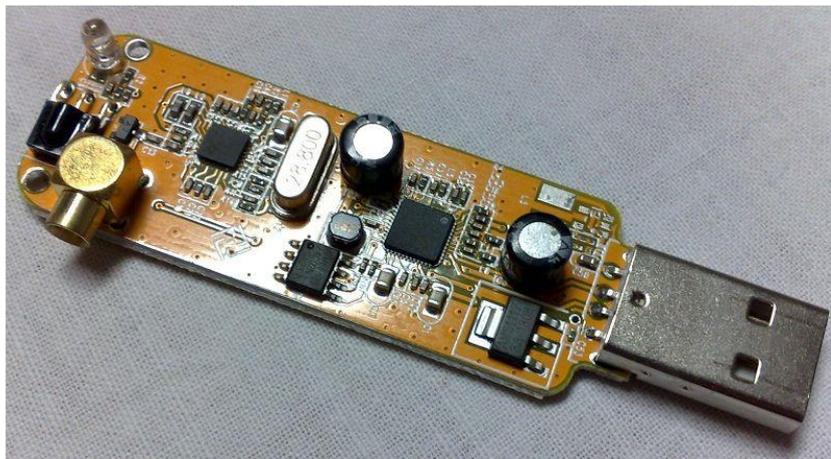


Рисунок 7. Устройство TV-тюнера марки Rafael Micro R820T2
(по материалам сайта <https://www.petervis.com/>)

Аппаратная платформа SDR-приемника состоит из двух основных частей (рис. 8):

- радиочастотного блока, который связан с антенной и определяет возможные рабочие частоты;
- цифрового блока ответственного за оцифровку сигнала с последующей его передачей по USB-шине на компьютер.

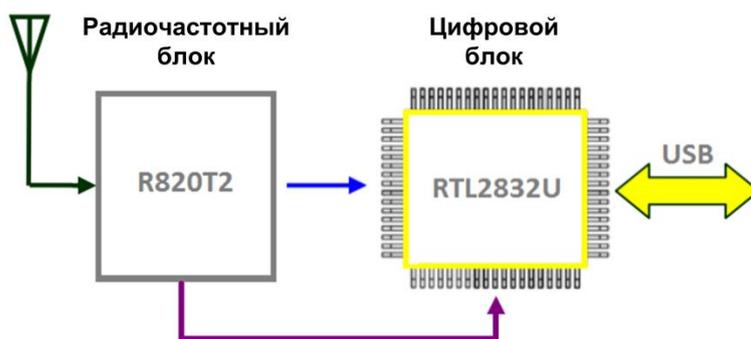


Рисунок 8. Структурная схема SDR-приемника
(по материалам сайта <https://www.petervis.com/>)

Радиочастотный блок (тюнер) содержащий антенный усилитель и перестраиваемый фильтр реализован на микросхеме Rafael Micro R820T2. Антенна, подключенная к радиочастотному блоку, принимает сигналы с эфира. Чип Rafael Micro R820T2 выделяет сигнал в определенном участке радиодиапазона и усиливает его. Чип Realtek RTL2832U содержащий квадратурный демодулятор с синтезатором частоты оцифровывает сигнал и передает по USB на компьютер.

С недавнего времени благодаря проекту osmo-fl2k появилась возможность использовать адаптеры USB-VGA FL2000 (рис. 9) в качестве недорогих SDR-передатчиков с 157 млн. выборок в сек [17]. Данная технология позволяет передавать радиосигналы следующих стандартов: DVB-T, GSM, 3G, LTE, GPS.

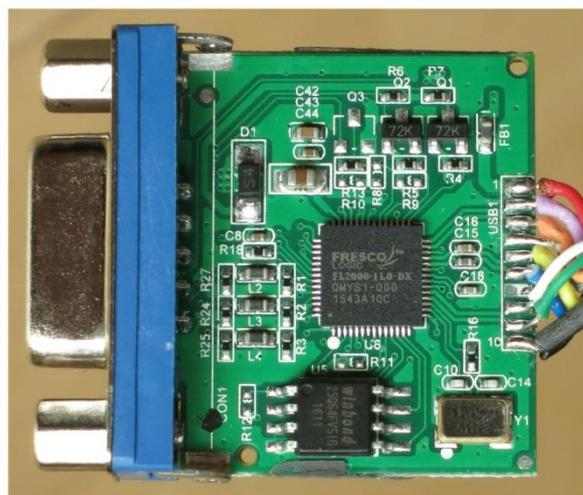


Рисунок 9. Устройство адаптера USB-VGA FL2000
(по материалам сайта <https://osmocom.org/>)

5 Особенности взаимодействия с аппаратной частью SDR-системы

Для взаимодействия аппаратной части SDR-приемника с компьютером необходимо установить специальную программу (SDR#, HSDR, GNURadio) или организовать взаимодействие с пакетами прикладных программ (MATLAB, Simulink, LabVIEW). Программное обеспечение настраивается на частоту в пределах выделенной полосы, выполняет демодуляцию указанным способом (AM, FM, SSB, NFM, WFM, RTTY) и отправляет результат на звуковую карту. Кроме этого, программное обеспечение позволяет отправлять команды чипу Rafael Micro R820T2 для перестройки на другой участок радиодиапазона.

GNU Radio – программный инструментальный, предоставляющий разработчикам программно-определяемых радиосистем «строительные блоки», обеспечивающие основные функции цифровой обработки сигналов [18]. Основной разработчик – Эрик Блоссом (Eric Blossom), работает над проектом с 2001 г. Программы, создаваемые средствами GNU Radio, представлены как графы потока управления и могут использоваться с внешними устройствами или для создания программных симуляторов. Для программирования можно использовать визуальную среду GNU Radio Companion или библиотеки на C++ и Python (рис. 10).

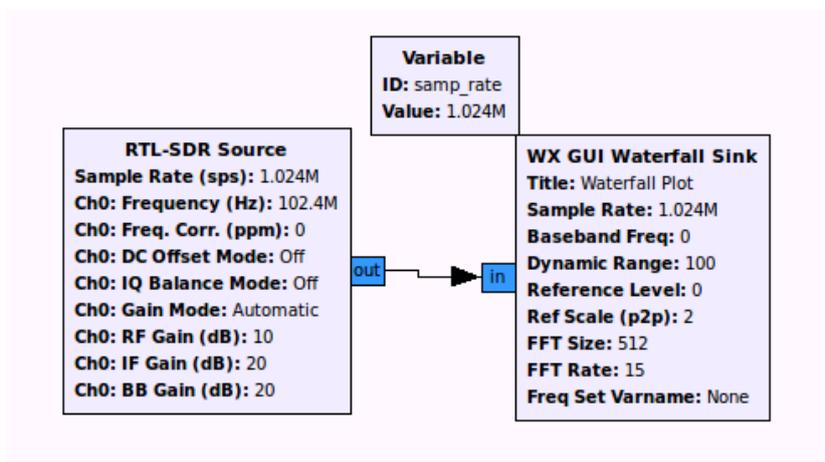


Рисунок 10. Результат подключения демодулятора Realtek RTL 2832U в среде GNU Radio (по материалам сайта <https://gnuradio.org/>)

Рассмотренная система, развернутая на основе SDR-приемника и среды GNU Radio позволяет проводить обнаружение и анализ реальных радиосигналов излучаемых, например устройствами: мобильными телефонами; микросотовыми системами связи (DECT); пультами дистанционного управления (TV); системами дистанционного управления автомобильной сигнализацией; беспроводными клавиатурами; беспроводными датчиками метеостанции (рис. 11).

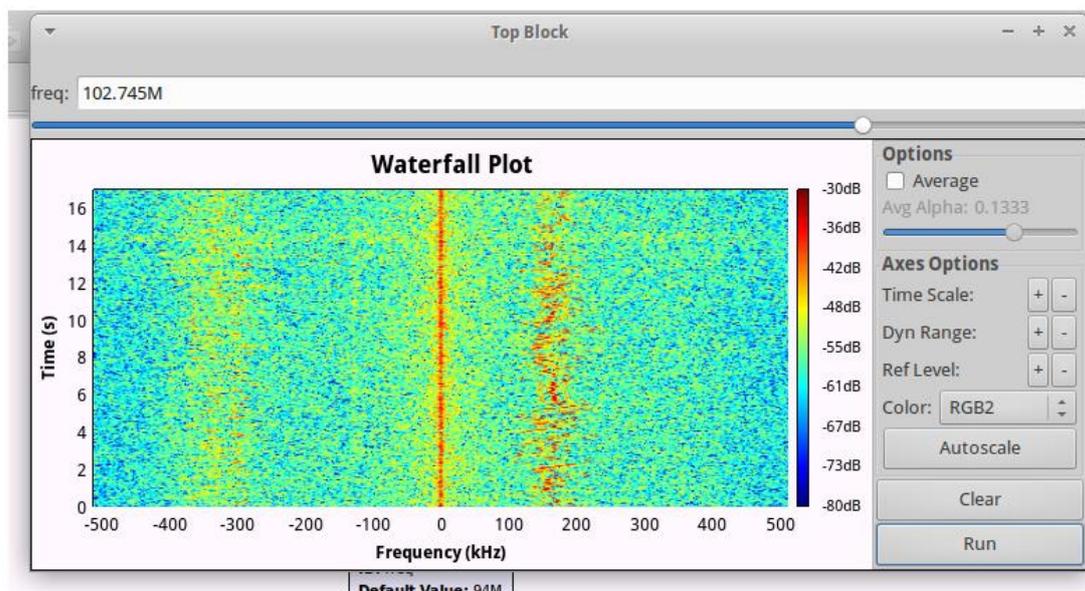


Рисунок 11. Результат функционирования демодулятора Realtek RTL 2832U (по материалам сайта <https://gnuradio.org/>)

6 Заключение

В данной статье проведен анализ принципов функционирования SDR-систем и обзор платформ для реализации программно-определяемых радиосистем. Рассмотрены особенности функционирования SDR-системы на базе TV-тюнера марки R820T2, а также особенности взаимодействия с аппаратной частью. Результаты данного исследования могут быть использованы при разработке и исследовании будущих беспроводных сетей связи, а также позволяют решить ряд учебных задач при проведении лабораторных занятий и курсовом проектировании.

Список используемой литературы

- [1] Рекомендация МСЭ-Т Y.2060: Сети последующих поколений – Структура и функциональные модели архитектуры. Обзор интернета вещей [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-I> (дата обращения: 05.12.2018).
- [2] Мочалов В. П. Автоматизированная система контроля параметров стационарных и мобильных объектов / В. П. Мочалов, Н. Ю. Братченко, С. В. Яковлев // Современная наука и инновации. – 2016. – № 2 (14). – С. 65–70.
- [3] Яковлев С. В. Системы реального времени / С. В. Яковлев // – Ставрополь : СевКавГТУ, 2012. – 308 с.

- [4] Мочалов В. П. Метод анализа процессов управления инцидентами системы управления услугами связи на основе сетей Петри / В. П. Мочалов, С. В. Яковлев // Инфокоммуникационные технологии. – 2007. Т 5. – № 1. – С. 48–52.
- [5] Мочалов В. П. Формализованное описание процесса разработки системы поддержки операционной и бизнес-деятельности оператора связи / В. П. Мочалов, С. В. Яковлев, Д. В. Мочалов // Теория и техника радиосвязи. – 2011. – № 4. – С. 108–112.
- [6] Слюсарев Г. В. Аналитическая модель системы обслуживания заказов оператора связи / Г. В. Слюсарев, В. П. Мочалов, С. В. Яковлев, С. В. Жубреев, А. А. Кульпинов, Д. В. Мочалов // Научные технологии. – 2012. – Т. 13. № 7. – С. 71–76.
- [7] Мочалов В. П. Разработка процессно-ориентированной системы управления качеством инфокоммуникационных услуг на основе концепции NGOSS / В. П. Мочалов, Н. Ю. Братченко, Н. И. Червяков, С. В. Яковлев. – Ставрополь: СКФУ, 2013. – 180 с.
- [8] Mochalov V. P., Bratchenko N. Yu., Yakovlev S. V. Analytical model of object request broker based on Corba standard. Journal of Physics: Conference Series, vol. 1015, № 2, p. 022012, May 2018. DOI: 10.1088/1742-6596/1015/2/022012.
- [9] Официальный сайт Joint Tactical Networking Center [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.public.navy.mil/jtnc/Pages/home.aspx> (дата обращения: 05.12.2018).
- [10] Mitola J. Cognitive radio---an integrated agent architecture for software defined radio. – May 2000.
- [11] Пронин К. Проектирование, оптимизация и моделирование SDR / К. Пронин // Электронные компоненты – 2012. № 2. – С. 49–53. [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/2187/doc/59223/> (дата обращения: 05.12.2018).
- [12] Dutra S. A. et al. Experimental wireless networking research using software-defined radios. In Brazilian Symposium on Computer Networks and Distributed Systems-XXXV SBRC 2017. P.p. 1–49.
- [13] Официальный сайт National Instruments [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ni.com/ru-ru.html> (дата обращения: 05.12.2018).
- [14] Официальный сайт проекта SORA [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.microsoft.com/en-us/research/project/microsoft-research-software-radio-sora/> (дата обращения: 05.12.2018).
- [15] Официальный сайт WARP [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://warpproject.org/trac> (дата обращения: 05.12.2018).
- [16] Официальный сайт RTL-SDR [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rtl-sdr.com/> (дата обращения: 05.12.2018).
- [17] Страница OsmoDevCon2018. Официальный сайт Open Source Mobile Communications [электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://osmocom.org/projects/osmo-dev-con/wiki/OsmoDevCon2018> (дата обращения: 05.12.2018).

- [18] Официальный сайт GNU Radio [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gnuradio.org/> (дата обращения: 05.12.2018).

List of references

- [1] Recommendation ITU-T Y.2060: Next Generation Networks – Frameworks and functional architecture models. Overview of the Internet of things [electronic resource]. – Access mode: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-I> (date of appeal: 05.12.2018).
- [2] Mochalov V. P. Automated control system of parameters of stationary and mobile objects / V. P. Mochalov, N. Yu. Bratchenko, S. V. Yakovlev // *Sovremennaya nauka i innovatsii*. – 2016. – № 2 (14). – P. 65–70. (In Russian)
- [3] Yakovlev S. V. Real time systems / S. V. Yakovlev // – Stavropol: SevKavGTU, 2012. – 308 p.
- [4] Mochalov V. P. Method of analysis of incident management processes of communication services management system based on Petri networks / V. p. Mochalov, S. V. Yakovlev // *Infocommunication technologies*. - 2007. Т 5. - № 1. - P. 48-52. (In Russian)
- [5] Mochalov V. P. Formalized description of the process of developing a system to support the operational and business activities of the operator / V. P. Mochalov, S. V. Yakovlev, D. V. Mochalov // *Theory and technology of radio communication*. - 2011. - № 4. - P. 108-112. (In Russian)
- [6] Slyusarev G.V. Analytical model of the system service orders operator / G. V. Slyusarev, V. P. Mochalov, S. V. Yakovlev, S. V. Gureev, A. A. Chulpanov, D. V. Mochalov // *high technologies*. - 2012. – Vol.13. No. 7. - P. 71-76. (In Russian)
- [7] Mochalov V. P. Development of a process-oriented quality management system for information and communication services based on the NGOSS concept / V. P. Mochalov, N. Yu. Bratchenko, N. I. Chervyakov, S. V. Yakovlev. – Stavropol: SCFU, 2013. – 180 p.
- [8] Mochalov V. P., Bratchenko N. Yu., Yakovlev S. V. Analytical model of object request broker based on Corba standard. *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1015, № 2, p. 022012, May 2018. DOI: 10.1088/1742-6596/1015/2/022012.
- [9] Joint Tactical Networking Center website [electronic resource]. – Access mode: <http://www.public.navy.mil/jtnc/Pages/home.aspx> (date of appeal: 05.12.2018).
- [10] Mitola J. Cognitive radio---an integrated agent architecture for software defined radio. – May 2000.
- [11] Pronin K. SDR Design, Optimization and Simulation / K. Pronin // *Elektronnyye komponenty* – 2012. № 2. – P. 49–53. [electronic resource]. – Access mode:

- <http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/2187/doc/59223/> (date of appeal: 05.12.2018).
- [12] Dutra S. A. et al. Experimental wireless networking research using software-defined radios. In Brazilian Symposium on Computer Networks and Distributed Systems-XXXV SBRC 2017. P.p. 1–49.
- [13] National Instruments website [electronic resource]. – Access mode: <http://www.ni.com/ru-ru.html> (date of appeal: 05.12.2018).
- [14] SORA website [electronic resource]. – Access mode: <https://www.microsoft.com/en-us/research/project/microsoft-research-software-radio-sora/> (date of appeal: 05.12.2018).
- [15] WARP website [electronic resource]. – Access mode: <http://warpproject.org/trac> (date of appeal: 05.12.2018).
- [16] RTL-SDR website [electronic resource]. – Access mode: <https://www.rtl-sdr.com/> (date of appeal: 05.12.2018).
- [17] OsmoDevCon2018 homepage on Open Source Mobile Communications [electronic resource]. – Access mode: <https://osmocom.org/projects/osmo-dev-con/wiki/OsmoDevCon2018> (date of appeal: 05.12.2018).
- [18] GNU Radio website [electronic resource]. – Access mode: <https://gnuradio.org/> (date of appeal: 05.12.2018).

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГИЙ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ

Павлюченко И.С.¹
ozzmosis94@googlemail.com

Косов И.А.¹
cool.alfa2012@yandex.ru

Новикова Е.Н.¹
кандидат физико-математических наук, доцент
novikovaelena_nik@mail.ru

¹ Северо-Кавказский Федеральный Университет, Ставрополь, 355028, Российская Федерация

Аннотация

Статья посвящена сравнительной характеристике технологий беспроводных сетей связи Wi-Fi, с использованием стандартов 802.11b/g/n и 802.11a/c, которые часто используются в настоящее время, при передаче данных на канальном уровне. Показано, что Wi-Fi сигналу свойственны проблемы, связанные с низкой скоростью, слабым уровнем сигнала и т.п. На основе проведенного исследования авторами предлагается сравнить данные технологии, для выявления более современного, надежного и быстрого стандарта для передачи данных по Wi-Fi сети.

Abstract

The article is devoted to the comparative characteristics of wireless networks Wi-Fi, using the standards 802.11b / g / n and 802.11a / c, which are often used nowadays, when transmitting data at the data link level. It is shown that Wi-Fi signal has problems associated with low speed, low signal level, etc. Based on the study, the authors propose to compare these technologies in order to identify a more modern, reliable and fast standard for transmitting data over a Wi-Fi network.

Ключевые слова: протокол, беспроводная сеть, пропускная способность, зона покрытия, частота, зашумленность канала, уровень сигнала.

Keywords: protocol, wireless network, bandwidth, coverage, frequency, channel noise, signal level.

Введение

В последнее время беспроводные сети широко используются в различных областях человеческой деятельности. Популярность применения беспроводной связи связано с устранением ограничения проводных соединений и обеспечивает быстрый доступ к Интернету. Интегрированная сеть Wi-Fi имеет большой потенциал обеспечения высокой пропускной способности. В настоящее время беспроводная технология передачи данных позволяет осуществлять связь между разными устройствами: телефонами, компьютерами, в смарт телевиденье и в цифровом телевиденье [6]. Использование беспроводное соединение гораздо удобней и выгодней использовать как при работе в Интернет, так и в информационных системах. Wi-Fi может использоваться для поддержки внутренней высокоскоростной передачи данных как в среде университета, так же в общественном транспорте в каждом офисе и доме [1].

Многие статьи, которые посвящены беспроводным сетям, рассматривают технические характеристики различных стандартов, проводят сравнительную характеристику, дают рекомендации по конфигурированию в соответствии с теми или иными требованиями пользователей, предлагают решения по оптимизации различных показателей и параметров сети [5].

Но на практике уже в построенных беспроводных сетях возникает ряд проблем, мало обсуждаемых в статьях.

К таким проблемам относятся:

- Периодические отключения устройств от Wi-Fi сети;
- Обрыв связи интернет на некоторое время (без доступа к интернету);
- Ограничения при скачивании данных;
- Устройства не подключаются к Wi-Fi сети с первого раза, либо не видят Wi-Fi сеть;
- Wi-Fi сеть полностью пропадает;
- Низкая скорость интернета по беспроводной сети;
- Подключение к Wi-Fi сети работает только вблизи роутера, либо постоянно изменяется уровень сигнала беспроводной сети [7].

Все эти проблемы являются известными и доставляют много неудобств пользователям.

В связи с этим, в данной статье проводится исследование используемых технологий передачи данных по беспроводной сети, поддерживаемых современными телекоммуникационными устройствами [3].

Целью исследования является выявление преимуществ современных технологий передачи данных Wi-Fi поддерживаемых современными устройствами.

1 Постановка задачи

В настоящее время вся современная электроника, микроволновые печи, устройства Bluetooth, беспроводные телефоны и др., работают в одном диапазоне частот [8]. При совместной работе нескольких таких устройств происходит наложение сигналов, вследствие чего нарушается стабильность работы беспроводной сети, которая проявляется в понижении скорости и качества передачи данных, стабильности соединения, уровня сигнала. Для изучения возможности повышения качества работы беспроводной сети на базе современных технологий необходимо провести исследование и оценить при каких условиях лучше использовать те или иные технологии 802.11 беспроводной сети [4].

2 Разработка методики

В данной статье сравниваются такие технологии как 802.11b/g/n – для частоты 2,4 ГГц и 802.11a/c – для частоты 5 ГГц. Данные технологии широко используются в настоящее время при организации беспроводных сетей [9].

Преимущество использования режима b/g/n на частоте 2.4 ГГц объясняется тем, что он обеспечивает большую зону покрытия сигнала. За счёт легкой проходимости на данной частоте радиоволн через различные предметы и препятствия. Недостатком является то, что на данной частоте работает большая часть различных электронных устройств, и приводит к снижению пропускной способности [2].

Режим a/c на частоте 5 ГГц обеспечивает большую пропускную способность, но при этом уменьшается зона покрытия сигнала.

Для сравнения данных беспроводных технологий, использовалось оборудование Router Tenda AC6 и мобильные устройства Xiaomi с поддержкой протоколов 802.11b/g/n – с частотами 2,4 ГГц и 802.11a/c – для частоты 5 ГГц, сервис по замеру скорости Speedtest.net и следующие программные обеспечения с функциями анализа параметров беспроводных сетей:

- Wi-Fi Analyzer
- Acrylic Wi-Fi.

Данное программное обеспечение использовалось в исследовании для параметров работы беспроводной сети. Главные критерии исследования: пропускная способность, качество сигнала и пересечение каналов. Все эти критерии важны для обеспечения стабильного и скоростного канала при передаче данных по беспроводной сети.

Экспериментальные измерения проводились в двух направлениях:

1. При исследовании технологии 802.11b/g/n и разных частотах;
2. При исследовании технологий 802.11b/g/n и 802.11a/c.

Рассмотрим первое направление измерений.

Исследование технологии 802.11b/g/n проводилось при разных частотах для выше приведенных критериев. Измерения проводились при одинаковых аппаратно-программных конфигурациях сети с использованием двух каналов. Среди них 2-ой канал был менее зашумленный, чем 9-ый. Второй канал использует диапазон частот 2.406 - 2.428 ГГц, а девятый канал использует 2,441- 2,463 ГГц.

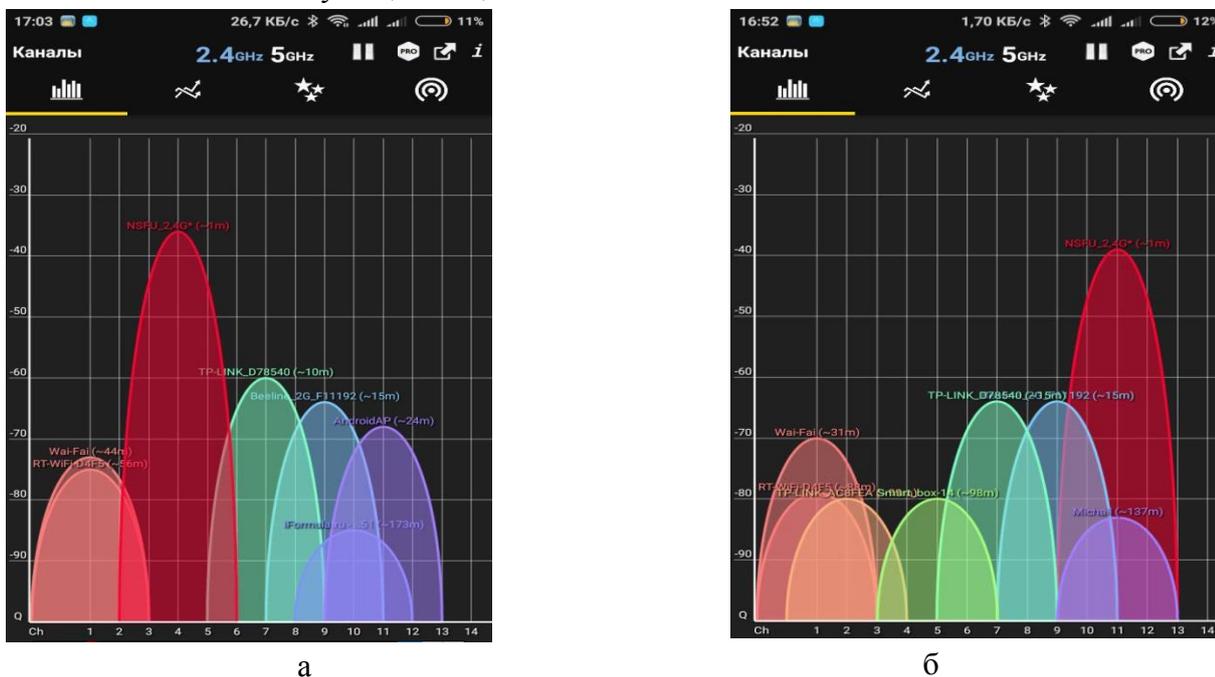


Рисунок 1. Влияние каналов на зашумлённость сигнала 2.4 ГГц

На рисунке 1.а видно, что исследуемая сеть NSFU_2_4G имеет самый высокий уровень сигнала и минимальное перекрытие каналов в отличие от рисунка 1.б.

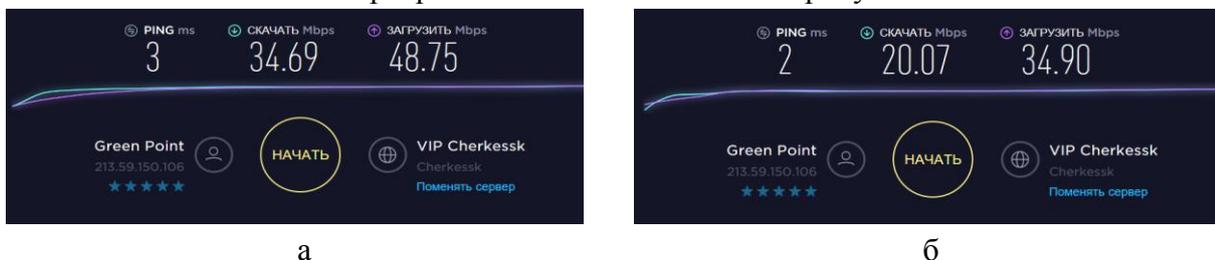


Рисунок 2. Влияние каналов на зашумлённость сигнала 2.4 ГГц

Проанализировав зашумленность каналов, было определено, что при меньшей загруженности канала, скорость передачи данных возрастает, примерно на 57%. Рассмотрим второе направление измерений.

Исследование технологий 802.11b/g/n и 802.11a/c, проводились на оборудовании Tenda AC6 с двумя транслирующими частотами 2,4 ГГц и 5 ГГц. Основными критериями сравнения являются показатели пропускной способности канала, пересечения каналов и

качества сигнала. Анализ пропускной способности канала проводился на открытой местности.

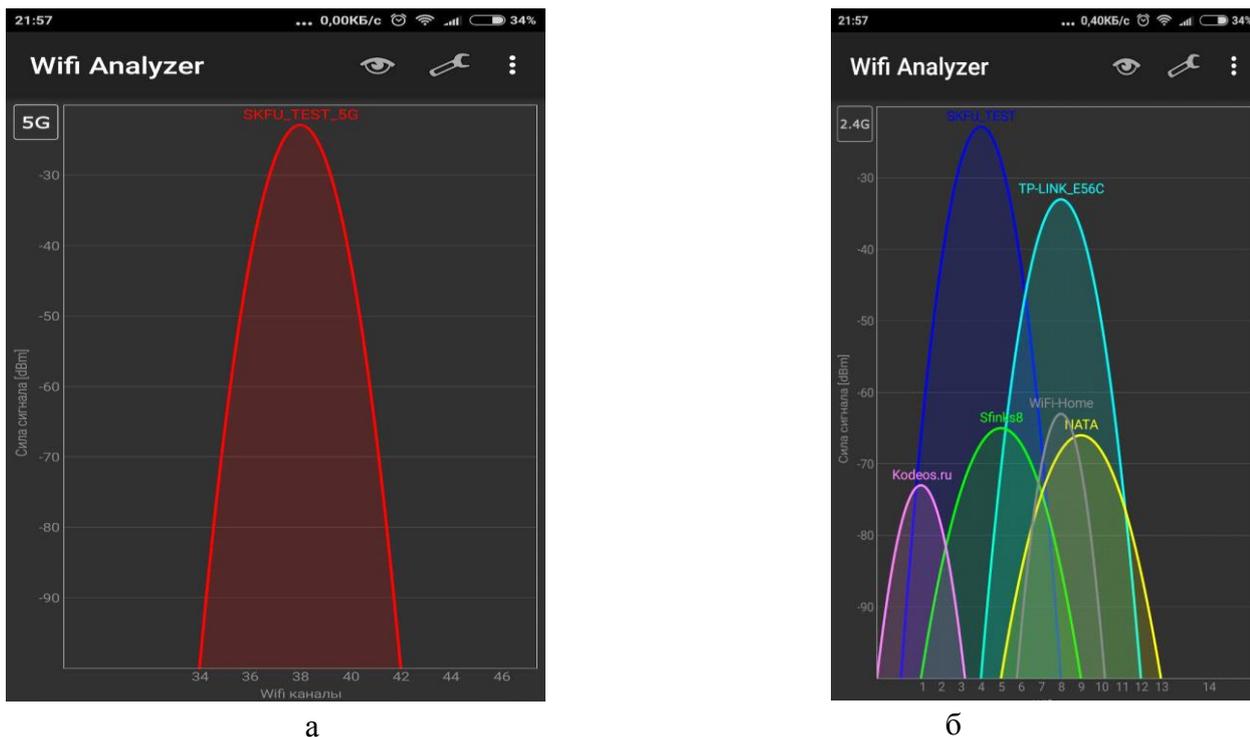


Рисунок 3. Влияние каналов на зашумлённость сигнала 5ггц и 2.4ггц

На рисунке 3 представлены графики зашумленности сигналов. На рисунке 3.б при частоте 2.4 ГГц идет перекрытие другими каналами, что в свою очередь влечет за собой потерю качества сигнала, а в следствии и низкую пропускную способность. На рисунке 3.а при частоте 5 ГГц, видна только единственная сеть, т.к. в окружении нет других источников сигнала с транслирующей частотой 5 ГГц. Необходимо сравнить так же и скорость передачи данных.

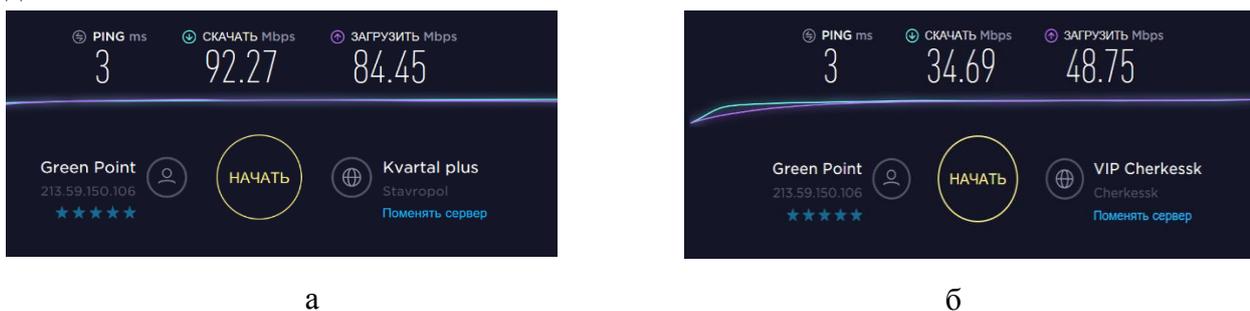


Рисунок 4. Сравнительная характеристика пропускной способности для 5 ГГц и 2.4 ГГц

На рисунке 4, производились замеры пропускной способности при частоте 5 ГГц – Рисунок 4.а, с использованием протокола 802.11a/c, скорость передачи данных намного выше, чем при частоте 2.4 ГГц – Рисунок 4.б, с использованием протокола 802.11b/g/n.

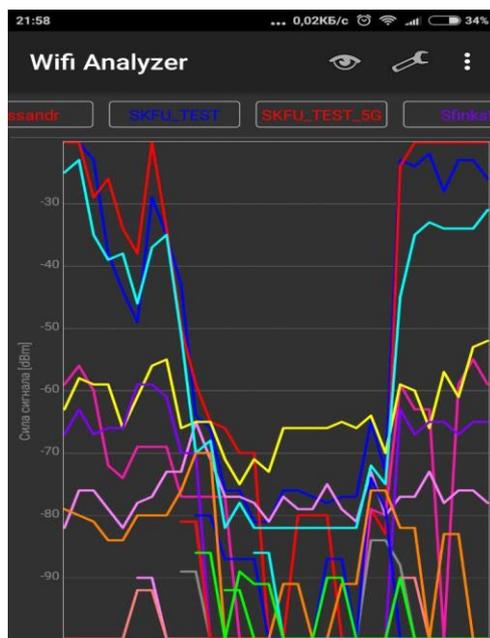


Рисунок 5. Динамика изменений уровня сигнала для всех Wi-Fi сетей в окружении

На рисунке 5 представлена динамика изменения уровня сигнала для всех Wi-Fi сетей в окружении. На графике исследуемая Wi-Fi сеть с частотой 5 ГГц была отмечена красной линией. На открытой местности по сравнению с другими сетями диапазона 2.4 ГГц, сеть с частотой 5 ГГц показала наилучший уровень сигнала.

3 Результаты исследования

Таблица 1. Результат исследования технологии 802.11b/g/n при разных каналах

802.11	2.4 ГГц	5 ГГц	Скачать, Mbps	Загрузить, Mbps	MAX Speed, Mbps	RSSI, dBm	Chan
b/g/n	+	–	20,07	34,90	300	-39	9
b/g/n	+	–	34,69	48,75	300	-36	2

- 802.11 – рассмотренные технологии беспроводных сетей по Wi-fi
- 2.4 ГГц и 5 ГГц – поддержка частоты: + поддерживается; – не поддерживается;
- Скачать – скорость приема данных за определённое время Мбит/с;
- Загрузить – скорость отдачи данных за определённое время Мбит/с;
- Max Speed – максимальная пропускная способность;
- RSSI – уровень качества показателя сигнала до приёмника;
- Chan – канал используемый в данной технологии.

Таблица 2. Результаты исследований технологий 802.11b/g/n и 802.11a/c

802.11	2.4 ГГц	5 ГГц	Скачать, Mbps	Загрузить, Mbps	MAX Speed, Mbps	RSSI, dBm	Chan
b/g/n	+	–	20,07	34,90	300	-39	9
a/c	–	+	92,27	84,45	6800	-22	34

- 802.11 – рассмотренные технологии беспроводных сетей по Wi-fi
- 2.4 ГГц и 5 ГГц – поддержка частоты: + поддерживается; – не поддерживается;
- Скачать – скорость приема данных за определенное время Мбит/с;
- Загрузить – скорость отдачи данных за определенное время Мбит/с;
- Max Speed – максимальная пропускная способность;
- RSSI – уровень качества показателя сигнала до приёмника;
- Chan – канал используемый в данной технологии.

Исходя из результатов таблицы 1, скорость передачи данных зависит от свободного канала. Т.к. 2 канал является, менее зашумленным, то и уровень сигнала, и скорость передачи данных будут выше. По данным результатам можно определить, что пропускная способность увеличилась в 1,7 раз.

Исходя из результатов таблицы 2, видно, что в целом уровень сигнала, на открытой местности между частотой 2.4 ГГц и 5 ГГц, одинаковый. Но исходя из-за большей частоты несущей волны стандарта 802.11a/c, пропускная способность выше в 4,6 раза, о чем свидетельствуют показания измерений пропускной скорости на рисунке 4.

4 Обсуждение

На основании приведенных исследований видно, что возможности исследуемых технологий являются высокие физические показания, которые соответствуют стандарту 802.11a/c. К сожалению, ограничение по скорости при частоте 5 ГГц составляет не так пропускная способность канала, как услуги провайдера, которые ограничивают скорость до 100 Мбит/с по тарифному плану. Стандарт 802.11a/c поддерживает максимальную передачу данных по беспроводной сети до 6,8 Гбит/с. В то время, как протокол 802.11b/g/n только до 300 Мбит/с.

Заключение

При исследовании технологии 802.11b/g/n с изменением диапазона ширины каналов были выделены следующие достоинства и недостатки. Изменение канала на свободный привело к тому, что скорость передачи данных увеличилась в 1,7 раз. Но в связи с тем, что количество каналов ограничено (всего 13), другие сети со временем будут искать более свободный канал. Это приведет к тому, что каждая из свободных частот будет перегружена. Уровень сигнала и скорость передачи данных соответственно уменьшится.

При исследовании технологий 802.11b/g/n и 802.11a/c были выявлены следующие достоинства и недостатки. На частоте 2.4 ГГц, в реальных условиях, больше дальность сигнала, и лучшее преодоление преград, благодаря хорошей проникающей способности волны. Меньше, относительно не перекрывающихся, каналов. Дополнительная зашумленность эфира другими источниками устройств, которые работают на данной частоте. Частота 5 ГГц имеет более высокую пропускную способность, за счёт большей частоты. Большое количество неперекрывающихся каналов (имеет 19 каналов). Более широкий диапазон частот для каждого канала. Большая дальность сигнала на открытой местности. Такие препятствия как стены, двери, зеркала, магнитные волны преодолевает гораздо хуже, чем 2.4 ГГц, за счет своей длины волны – 12,5 см.

На основании вышеописанных исследований можно сделать вывод о том, что технология 802.11a/c превосходит технологию 802.11b/g/n, по таким ключевым параметрам, как пропускная способность канала, качество сигнала и зашумленность каналов. А вследствие чего, решается ряд проблем, присущих частоте 2.4 ГГц.

Список используемой литературы

- [1] Беспроводные сети Wi-Fi. – М.: Интернет-университет информационных технологий, Бином. Лаборатория знаний, 2013. – 216 с.
- [2] Шубин, В. И. Беспроводные сети передачи данных / В.И. Шубин, О.С. Красильникова. – М.: Вузовская книга, 2013. – 104 с.
- [3] Олифер В., Олифер Н. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы; Питер - Москва, 2013. – 944 с.
- [4] Радке, Хорст-Дитер Все о беспроводных сетях / Хорст-Дитер Радке , Йеремиас Радке. - М.: НТ Пресс, 2011. – 320 с.
- [5] Ватаманюк, А. И. Беспроводная сеть своими руками / А.И. Ватаманюк. – М.: Книга по Требованию, 2011. – 194 с.
- [6] Вильям Столингс., Беспроводные линии связи и сети / В. Столингс. – М.:Вильямс, 2003.
- [7] Джим Гейер., Беспроводные сети. Первый шаг. Д. Гейер. – М.:Вильямс; 2005.
- [8] Гайер, Дж. Беспроводная сеть за 5 минут. От выбора оборудования до устранения любых неполадок / Дж. Гайер, Э. Гайер, Дж.Р. Кинг. – М.: НТ Пресс, 2012. – 176с.
- [9] Стандарт IEEE 802.11 для широкополосного беспроводного [Электронный ресурс] / URL: http://kunegin.com/ref3/wireless/razl_6.htm. (дата обращения: 30.11.2018).

List of references

- [1] Wireless networks Wi-Fi. - M .: Internet University of Information Technology, Binom. Laboratory of knowledge, 2013. - 216 с.
- [2] Shubin, V.I. Wireless Data Networks / V.I. Shubin, O.S. Krasilnikova. - M .: University Book, 2013. - 104 p.

- [3] Olifer V., Olifer N. Computer networks. Principles, technologies, protocols; Peter - Moscow, 2013. - 944 c.
- [4] Radke, Horst-Dieter All about wireless networks / Horst-Dieter Radke, Jeremias Radke. - M.: NT Press, 2011. - 320 c.
- [5] Vatamanyuk, A.I. A wireless network with their own hands / A.I. Vatamanyuk. - M.: Book on Demand, 2011. - 194 c.
- [6] William Stolings. Wireless networks and networks / V. Stolings. - M.: Williams, 2003.
- [7] Jim Geyer., Wireless networks. First step. D. Geyer. - M.: Williams; 2005.
- [8] Gayer, J. Wireless in 5 minutes. From the choice of equipment to troubleshoot any problems / J. Gayer, E. Gayer, J.R. King - M.: NT Press, 2012. - 176 p.
- [9] IEEE 802.11 standard for broadband wireless [Electronic resource] / URL: http://kunegin.com/ref3/wireless/razl_6.htm. (the date of circulation: 11/30/2018).

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СИНХРОНИЗАЦИИ ПЕРЕДАЮЩЕЙ И ПРИЁМНОЙ АППАРАТУРЫ ЗАЩИЩЁННОГО НАВИГАЦИОННОГО СИГНАЛА СО СТОХАСТИЧЕСКИМ ФОРМИРОВАНИЕМ РАСШИРЯЮЩИХ КОДОВЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

Орёл Дмитрий Викторович¹
kde.def@gmail.com

Жук Александр Павлович¹
alekszhuk@mail.ru

¹ Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, 355000, Россия

Аннотация

В статье отмечена актуальность защиты интерфейса потребителей глобальных навигационных спутниковых систем от злоумышленного вмешательства в его работу путём радиоэлектронного противодействия, которое может быть осуществлено с помощью имитирующих помех, с помощью которых возможно организовать подавление навигационных сигналов или их подмену ложными сигналами. Повышение помехозащищённости навигационных сигналов с кодовым разделением каналов при организации имитирующих помех и подмены сигналов следует осуществить путём повышения структурной скрытности навигационных сигналов на основе стохастического использования систем кодовых последовательностей, представляющих собой дальномерные коды. Использование стохастически сменяемых расширяющих кодовых последовательностей для защиты навигационных сигналов глобальных навигационных спутниковых систем порождает необходимость синхронизации процесса формирования расширяющего кода. Использование предложенной структуры блоков формирования расширяющего кода

наряду с использованием предложенного алгоритма синхронизации работы созвездия навигационных космических аппаратов и аппаратуры потребителей позволит организовать передачу и приём защищённого навигационного сигнала со стохастической сменой расширяющих кодовых последовательностей и тем самым повысить защищённость интерфейса потребителей глобальных навигационных спутниковых систем от атак, основанных на формировании имитирующих помех.

Abstract

The article notes the relevance of protecting the consumer interface of global navigation satellite systems from malicious interference in its work by electronic countermeasures, which can be implemented using simulating interference, with which it is possible to organize the suppression of navigation signals or their substitution with spurious signals. Improving the noise immunity of navigation signals with code division of channels when organizing simulating interference and signal substitution should be done by increasing the structural secrecy of navigation signals based on the stochastic use of code sequence systems, which are ranging codes. The use of stochastically interchangeable spreading code sequences to protect the navigation signals of global navigation satellite systems necessitates the synchronization of the extension code generation process. Using the proposed structure of the extension code generation units, along with the use of the proposed algorithm for synchronizing the operation of the constellation of navigation spacecraft and consumer equipment, it will allow to organize the transmission and reception of a protected navigation signal with a stochastic change of expanding code sequences and thereby increase the security of the interface of global navigation satellite systems based on attacks on the formation of simulating interference.

Ключевые слова: навигация, спутник, радиоэлектронное противодействие, помеха, синхронизация, кодовая последовательность.

Keywords: navigation, satellite, electronic countermeasures, interference, synchronization, code sequence.

1 Введение

В ряде работ [1] отмечается актуальность защиты интерфейса потребителей глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) от злоумышленного вмешательства в его работу путём радиоэлектронного противодействия (РЭП). Наибольшую опасность представляют имитирующие помехи, с помощью которых возможно организовать подавление навигационных сигналов (НС) или их подмену ложными сигналами. Для повышения защищённости НС ГНСС предлагается [4] предоставить потребителям с повышенными требованиями к функционированию системы специальный сервис ГНСС, обеспечиваемый НС с кодовым разделением каналов (КРК) с повышенной помехозащищённостью.

2 Постановка задачи

Повышение помехозащищённости НС с КРК при организации имитирующих помех и подмены сигналов следует осуществить путём повышения структурной скрытности НС на основе стохастического использования систем кодовых последовательностей, представляющих собой дальномерные коды [5].

Проведённый анализ применимости существующих подходов к построению генераторов расширяющих последовательностей [10] для повышения помехозащищённости НС ГНСС с КРК показал, что критериям низкой вычислительной сложности алгоритма формирования и удовлетворяющих корреляционных характеристик получаемых последовательностей удовлетворяют генераторы Голда и Касами.

Использование стохастически сменяемых расширяющих кодовых последовательностей для защиты НС ГНСС порождает необходимость синхронизации процесса формирования расширяющего кода.

3 Разработка методики

Такая синхронизация должна осуществляться, в первую очередь, между созвездием навигационных космических аппаратов (НКА) ГНСС, чтобы в один момент времени НКА генерировали расширяющие коды, принадлежащие к одной системе двоичных квазиортогональных кодовых последовательностей (СДККП) и, как следствие, обладающих минимальным межканальным влиянием [7]. Синхронизация формирования копий расширяющих кодов, используемых в принимаемых НС, также должна осуществляться и в аппаратуре потребителей (АП): каскад корреляторов в АП должен сравнивать расширяющие коды принимаемых НС с теми, которые, вероятно, должны быть сформированы на НКА в настоящее время, а не со всеми возможными вариантами, иначе вычислительных ресурсов АП не хватит на решение этой задачи [8].

Доступ к АП, способной принимать сигнал со стохастической сменой расширяющих кодовых последовательностей должен быть регламентирован с целью предотвращения попадания в руки злоумышленника информации о параметрах защищённого НС и алгоритме

смены расширяющих кодов. Предполагается, что такие приёмники будут распространяться среди особых категорий потребителей, относящихся к критической инфраструктуре.

При этом для повышения защищённости НС необходимо разработать такой алгоритм синхронизации формирования расширяющих кодов в АП, который позволял бы изменять алгоритм выбора последующих расширяющих кодов таким образом, чтобы попавшая в руки злоумышленника защищённая АП не позволила бы спрогнозировать последовательность используемых расширяющих кодов на длительное время вперёд [6]. В таком случае необходимо, чтобы выбор каждого последующего расширяющего кода осуществлялся созвездием НКА под управлением Сегмента управления, а АП получала бы информацию о каждом последующем расширяющем коде из принимаемого навигационного сообщения. В таком случае возможность завладения злоумышленником АП, способной принимать защищённый НС, не принесёт существенных преимуществ по сравнению с использованием прямого радиомониторинга для формирования имитирующей помехи.

4 Результаты

Реализован такой метод синхронизации может быть следующим образом. На всех НКА и во всей АП должны храниться в памяти специальные таблицы, содержащие все доступные структуры обратных связей регистров сдвига с линейными обратными связями (РСЛОС) для формирования СДККП Голда и Касами, пронумерованные в определённом порядке, едином для всего оборудования (таблица 1).

Таблица 1. Структура обратных связей РСЛОС для формирования расширяющих кодов

№	Структура обратных связей РСЛОС (в 8-ричном представлении)
1	102067
2	110075
3	163005
4	117423
5	123263
...	...
<i>N</i>	142327

В бортовой аппаратуре НКА должны содержаться генераторы псевдослучайных чисел с большим периодом, например, генераторы «Вихрь Мерсенна» с периодом $N=2^{19937}-1=4,32 \cdot 10^{6001}$. Сигнал по специальному каналу от Сегмента управления будет устанавливать начальный бит использования периода ГПСЧ. Помимо этого, Сегмент управления должен также передавать специальный управляющий бит, определяющий, какой из алгоритмов – Голда или Касами – будет использоваться далее.

Поскольку максимальное количество возможных структур обратных связей РСЛОС для рассматриваемых длин кодовых последовательностей 8191 и 10230 бит составляет сотни штук, то для определения их порядкового номера будет достаточно десятичного числа в три знака. Такое число можно представить с использованием половинной точности (half-

precision) согласно стандарта IEEE 754-2008 точности представления чисел с плавающей точкой. Для представления чисел с половинной точностью необходимо использовать 16 бит двоичной последовательности, генерируемой ГПСЧ. Тогда 16 бит последовательности, генерируемой Вихрем Мерссена, начиная с начального бита, полученного от сегмента управления, будут задавать порядковый номер структуры обратных связей РСЛОС, хранящейся в памяти бортовой аппаратуры НКА. Если в качестве алгоритма формирования расширяющего кода выбран алгоритм Голда, то следующие 16 бит будут определять номер структуры обратных связей РСЛОС для формирования второй образующей M-последовательности.

Эта же информация по различным каналам связи будет доводиться до специальной АП, способной принимать защищённый НС. Структура обратных связей под полученным номером выбирается в программируемом РСЛОС НКА и АП, и на её основе формируются расширяющие кодовые последовательности для защищённого навигационного сигнала. При этом каждый НКА в созвездии имеет свой счётчик, определяющий порядковый номер кодовой последовательности из СДККП, который именно он должен сформировать в качестве расширяющего кода. Это позволит обеспечить формирование различных двоичных кодовых последовательностей на различных НКА. Для определения следующего порядкового номера структуры обратных связей РСЛОС из периода двоичной последовательности Вихря Мерссена выбираются 80 бит, следующие за использованными битами. Эти 80 бит используются в качестве адреса следующего начального бита, который будет использоваться для формирования следующего расширяющего кода (рисунок 1).



Рисунок 1. Схема выбора структуры обратных связей РСЛОС для формирования расширяющих кодовых последовательностей

Эта операция синхронно осуществляется на всех НКА, адрес следующего начального бита передаётся в навигационном сообщении по защищённому НС для того, чтобы АП имела возможность сгенерировать копию следующей расширяющей последовательности для обработки следующего сегмента полученного НС. Кроме того, в навигационном сообщении передаётся и специальный управляющий бит, определяющий алгоритм формирования следующего расширяющего кода.

Сохранение в тайне сведений о начальном состоянии генератора псевдослучайных чисел (ГПСЧ), используемого для формирования СДККП, является ключевым моментом в обеспечении повышенной защищённости НС. Для обеспечения доступа авторизованных пользователей к защищённому НС разработан подход, представленный на рисунке 2.

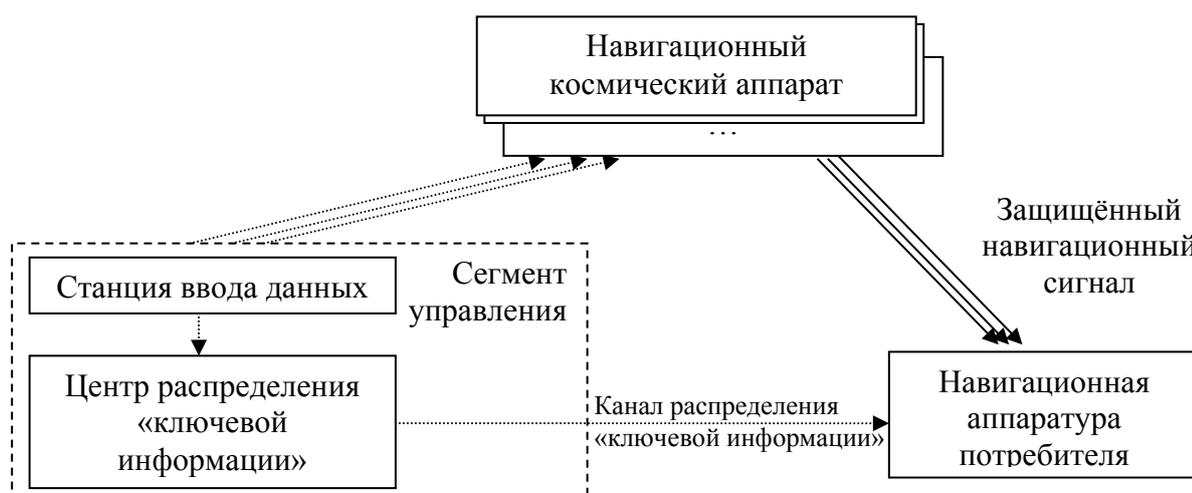


Рисунок 2. Подход к организации доступа к защищённому НС

На основе представленного рисунка можно сформировать следующий алгоритм доступа авторизованных пользователей к защищённому НС:

- главная станция сегмента управления ГНСС формирует «ключевую информацию». «Ключевая информация» представляет собой значение начального бита ГПСЧ и бит выбора алгоритма формирования расширяющих кодов;
- распределение «ключевой информации» среди круга авторизованных потребителей;
 - 1) «ключевая информация» от главной станции передаётся на станцию ввода данных;
 - 2) «ключевая информация» от главной станции передаётся в центр распределения «ключевой информации»;
- станция ввода данных сегмента управления ГНСС формирует управляющее сообщение, содержащее «ключевую информацию», и передаёт его по каналу управления на борт НКА;
- на основе принятой «ключевой информации» из управляющего сообщения бортовая ЭВМ НКА формирует защищённый НС, который затем транслируется в околоземное пространство;

- центр распределения «ключевой информации» по каналу распределения «ключевой информации» передаёт её АП;

- АП обрабатывает принятый защищённый НС с помощью «ключевой информации», получает навигационное сообщение и решает навигационную задачу.

Распространение «ключевой информации» среди авторизованных пользователей может осуществляться как по защищённым каналам связи, так и с использованием внешних носителей информации – специальных карт доступа (смарт-карт) по аналогии с системами ограничения спутникового мультимедиа-вещания.

Для каждого сигнала на каждом НКА имеется генератор расширяющего кода, генерирующий закреплённую за этим спутником расширяющую последовательность [2]. В настоящее время блок формирования расширяющего кода любого открытого НС ГНСС представляет собой либо некоторый РСЛОС, циклически формирующий одну и ту же кодовую последовательность, либо элемент памяти, хранящий единственную кодовую последовательность, которая также циклически используется.

В структуре АП также присутствует блок формирования расширяющих кодовых последовательностей [9], используемый совместно с каскадом корреляторов для выделения навигационного сигнала каждого НКА из принимаемого антенным блоком АП комплексного сигнала [3].

В рамках разработки рекомендаций по повышению защищённости интерфейса потребителей ГНСС предлагается заменить в бортовой аппаратуре НКА формирование НС, а также в АП блок формирования расширяющего кода на блок, представленный на рисунке 3.

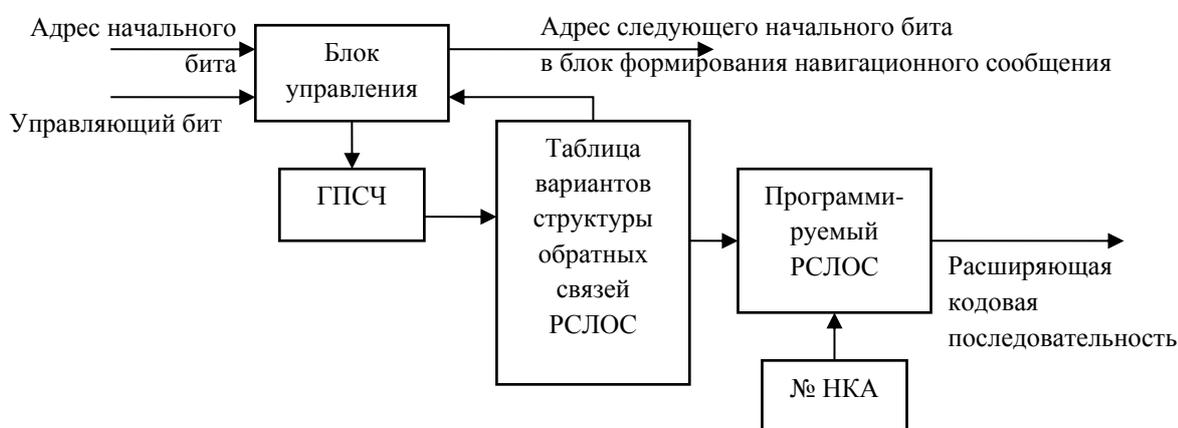


Рисунок 3. Структурная схема предлагаемого блока формирования расширяющих кодовых последовательностей для защищённого НС

На входы блока управления поступают адрес начального бита ГПСЧ и управляющий бит, определяющий алгоритм формирования расширяющей кодовой последовательности. Если управляющий бит, определяющий типа алгоритма, поступил со значением «0», то алгоритмом формирования расширяющего кода выбирается алгоритм Голда. Тогда на основе 16 бит периода ГПСЧ, начиная с поступившего на вход начального бита, определяется номер структуры обратных связей РСЛОС для формирования первой образующей М-

последовательности. У каждого НКА есть ячейка памяти, в которой хранится его порядковый номер, определяющий, какую именно кодовую последовательность Голда из СДККП, образуемой двумя сформированными М-последовательностями, будет использовать НКА в качестве расширяющей кодовой последовательности. В случае, если управляющий бит, определяющий выбор алгоритма, поступает со значением «1», алгоритмом формирования расширяющей кодовой последовательности выбирается алгоритм Кассами, и тогда используется только одна структура обратных связей РСЛОС. Короткие М-последовательности получаются путём децимации исходной.

Блок управления также определяет следующие за использованными 80 бит периода ГПСЧ и передаёт это число в десятичном виде блоку формирования навигационного сообщения, чтобы АП могла определить адрес следующего начального бита для формирования копии расширяющей последовательности. Блок, размещаемый в АП, отличается от блока НКА лишь тем, что он способен генерировать все варианты расширяющих кодовых последовательностей, формируемых в текущий момент всем созвездием НКА.

5 Заключение

Использование предложенной структуры блоков формирования расширяющего кода наряду с использованием предложенного алгоритма синхронизации работы созвездия НКА и АП позволит организовать передачу и приём защищённого НС со стохастической сменой расширяющих кодовых последовательностей и тем самым повысить защищённость интерфейса потребителей ГНСС от атак, основанных на формировании имитирующих помех.

6 Благодарность

Исследование финансировалось Российским фондом фундаментальных исследований в ходе выполнения исследовательского проекта № 18-07-01020.

Список используемой литературы

- [1] Орел Д.В. Анализ угроз функционирования аппаратуры гражданских потребителей глобальных спутниковых радионавигационных систем. // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. – 2011. – С. 44.
- [2] Раджабов З.Г., Жук А.П., Орел Д.В. Модель передатчика информации в защищенных глобальных спутниковых радионавигационных системах. // Научные технологии в космических исследованиях Земли. – 2011. – Т. 3. № 2. – С. 33-35.
- [3] Раджабов З.Г., Жук А.П., Орёл Д.В. Моделирование процесса передачи информации в защищенных глобальных спутниковых радионавигационных

- системах. // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. – 2011. – № 1. – С. 111-115.
- [4] Орёл Д.В. Введение в состав спутниковых навигационных радиосигналов нового сигнала с повышенной структурной скрытностью. // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. – 2010. – № 1. – С. 249-252.
- [5] Жук А.П., Иванов А.С., Голубь Ю.С., Орёл Д.В. Способ передачи информации на основе хаотически формируемых ансамблей дискретных многоуровневых ортогональных сигналов. Патент на изобретение RUS № 2428795 от 24.02.2010.
- [6] Орёл Д.В., Жук А.П. Метод повышения помехозащищённости навигационного сигнала спутниковой радионавигационной системы. // Труды Московского физико-технического института. – 2014. – Т. 6. № 4 (24). – С. 119-125.
- [7] Ворошилов Р.А., Минкина Т.В. Перспективные методы и алгоритмы решения технических задач. // Целевые ориентиры экономического и информационного развития региона: теория и практика. – 2016. – С. 37-41.
- [8] Резеньков Д.Н., Горденко Д.В., Минкина Т.В., Брыкалова А.А. Обнаружение и коррекция ошибок в системе остаточных классов систематическими кодами. // Вестник СевКавГТИ. – 2015. – № 4 (23). – С. 172-175.
- [9] Османов А.А., Юдин Д.Е., Минкина Т.В. Принципы связи между элементами систем, их свойства. // Студенческая наука для развития информационного общества сборник материалов IV Всероссийской научно-технической конференции: в 2-х томах. – 2016. – С. 171-172.
- [10] Жук А.П., Петренко В.И., Кузьминов Ю.В., Жук Е.П. Совершенствование аппарата синтеза и оценки свойств новых типов ансамблей ортогональных дискретных последовательностей. // Инфокоммуникационные технологии. – 2012. – Т. 10. № 4. – С. 9-14.

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СКРЫТНОСТИ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ПОНИЖЕННЫЕ НЕСУЩИЕ ЧАСТОТЫ И МЕТОД ПРОСТРАНСТВЕННО-РАЗНЕСЁННОГО ПРИЁМА

Костюк Д.В.¹
dkostiuk@ncfu.ru

Песков М.В.¹
mvpeskov@hotmail.com

Пашинцев В.П.¹
док. техн. наук, профессор
pashintsevp@mail.ru

¹ Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, 355029, РФ

Аннотация

Проведена оценка энергетической скрытности системы спутниковой связи на основе имитационного моделирования данной системы связи в среде Simulink Ver. 8.2 (MATLAB) при выборе несущих частот в диапазоне $f_0 \approx 30$ МГц...1 ГГц и применении одиночного ($n = 1$) и разнесённого приёма сигналов на несколько ($n = 2, 4, 8$) антенн. На этой основе получены зависимости коэффициента энергетической скрытности от параметра Райса γ^2 и несущей частоты f_0 . Анализ этих зависимостей показывает, что в диапазоне пониженных частот ($f_0 \approx 30$ МГц...100 МГц) можно увеличить коэффициент энергетической скрытности с $\gamma_{\text{э}(2)} \approx 24$ дБ при использовании сдвоенного приёма до $\gamma_{\text{э}(8)} \approx 42$ дБ – при использовании приёма на 8 антенн.

Abstract

The article presents an evaluation of the coefficient of energy secrecy based on imitation modeling of the satellite communication system in the Simulink Ver. 8.2 (MATLAB) in selection of carrier frequencies in the range $f_0 \approx 30$ MHz...1 GHz and using of receive techniques on single ($n = 1$) and several

($n = 2, 4, 8$) antennas with spatial diversity. Based on this, the functions of the energy secrecy coefficient of carrier frequency were obtained. Analysis of these functions demonstrates that in range of reduced carrier frequencies ($f_0 \approx 30 \text{ MHz} \dots 100 \text{ MHz}$) it is possible to increase the energy secrecy coefficient from $\gamma_{\text{э}(2)} \approx 24 \text{ dB}$ by using the spatial diversity reception on 2 antennas to $\gamma_{\text{э}(8)} \approx 42 \text{ dB}$ by using the spatial diversity reception on 8 antennas.

Ключевые слова: Спутниковые системы связи, замирания сигналов, параметр Райса, пространственный разнесённый приём, коэффициент энергетической скрытности, имитационное моделирование, MATLAB, Simulink.

Keywords: Satellite Communication Systems, signals fading, Rician K-factor, spatial diversity reception, coefficient of energy secrecy, imitation, simulation, MATLAB, Simulink.

1 Введение

Защищенность информации в системах связи определяется помехоустойчивостью и скрытностью. Однако [1, 2] защищенность систем спутниковой связи (ССС) недостаточно высока из-за низкой энергетической скрытности (ЭСк), обусловленной электромагнитной доступностью источника радиоизлучения для наземного приёмника несанкционированной доступа (обнаружения сигналов, измерения их параметров, радиоперехвата сообщений и т. д.).

В работах [1, 2] освещается новый подход к защите информации в системах спутниковой связи за счёт достижения высокой энергетической скрытности сигналов ($\gamma_{\text{э}} \approx 22 \dots 34 \text{ дБ}$) благодаря использованию пониженных несущих частот ($f_0 \approx 30 \dots 100 \text{ МГц}$) и методов пространственного разнесённого приёма сигналов на несколько ($n = 2 \dots 4$) антенн.

2 Постановка задачи оценки энергетической скрытности ССС

Столь высокие коэффициенты энергетической скрытности достигаются только на несущей частоте $f_0 \approx 30 \text{ МГц}$ при условии возникновения наиболее глубоких (релеевских) замираний принимаемых сигналов (когда параметр Райса $\gamma^2 = 0$) и обеспечения некоррелированности замираний (когда коэффициент корреляции $R = 0$) на выходах разнесённых антенн. На более высоких частотах $f_0 > 100 \text{ МГц}$, когда глубина замираний уменьшается ($\gamma^2 > 0$) и возрастает их пространственная корреляция ($R > 0$), коэффициент ЭСк снижается ($\gamma_{\text{э}} < 22 \dots 34 \text{ дБ}$).

Очевидно, что применение пространственно-разнесённого приёма на большее ($n > 2$) число антенн позволит существенно повысить коэффициент ЭСк $\gamma_{\text{э}(n)}$. Однако при кратности разнесения больше двух ($n > 2$) получить аналитическую зависимость $\gamma_{\text{э}(n)} = \psi(f_0, P_{\text{ош доп}}, n > 2)$ для оценки коэффициента ЭСк не представляется возможным ввиду следующих причин.

Определение коэффициента энергетической скрытности ССС. Коэффициент ЭСк $\gamma_{э(n)}$ при близком размещении приёмника радиоперехвата от наземного приёмника ССС определяется как отношение $\gamma_{э(n)} = h^2_{\text{доп}(1)} / h^2_{\text{доп}(n)}$ допустимого отношения сигнал/шум (С/Ш) на входе приёмника радиоперехвата $h^2_{\text{доп}(1)}$, использующего одну ($n = 1$) антенну, к допустимому отношению С/Ш на входе приёмника ССС $h^2_{\text{доп}(n)}$, использующего разнесённый приём на n антенн.

Для определения значений допустимых отношений С/Ш $h^2_{\text{доп}(n)}$ необходимо оценить помехоустойчивость ССС, которая определяется зависимостью $P_{\text{ош}(n)} = \psi(h^2, \gamma^2, R, n)$. Однако [3 - 5] известные аналитические зависимости $P_{\text{ош}(n)} = \psi(h^2, \gamma^2, R, n)$ ограничиваются случаями применения одиночного ($n = 1$) и сдвоенного ($n = 2$) приёма. Аналитических зависимостей $P_{\text{ош}(n)} = \psi(h^2, \gamma^2, R, n)$ для случая более высокой кратности разнесения ($n > 2$) не существует.

Отсюда следует вывод, что целесообразно воспользоваться возможностями имитационного моделирования для построения зависимостей $P_{\text{ош}(n)} = \psi(h^2, \gamma^2, R, n)$, на основе которых можно получить искомые зависимости $\gamma_{э(n)} = \psi(f_0, P_{\text{ош доп}}, n > 2)$.

Цель статьи заключается в разработке метода оценки коэффициента энергетической скрытности ССС на основе имитационного моделирования ССС с целью получения зависимостей $P_{\text{ош}(n)} = \psi(h^2, \gamma^2, R, n \geq 1)$ и расчёте на их основе зависимости $\gamma_{э(n)} = \psi(f_0, P_{\text{ош доп}}, n > 2)$.

3 Разработка имитационной модели ССС

Энергетический выигрыш при пространственно-разнесённом приёме зависит от схемы сложения ветвей разнесения. Наиболее эффективной и достаточно простой в реализации является схема когерентного сложения ветвей с некогерентной обработкой результирующего сигнала [5, 6]. Имитационная модель низкочастотной ССС с разнесённым приёмом сигналов на произвольное ($n \geq 2$) число разнесённых антенн реализована в среде Simulink Ver. 8.2 (MATLAB) и представлена на рисунке 1.

Имитационная модель низкочастотной ССС (рис. 1) состоит из передатчика, трансферного канала связи, схемы сложения ветвей и приёмника со счётчиком вероятности ошибки (ВО). В передатчике генератор псевдослучайной последовательности (блок Random Integer) формирует исходную последовательность информационных символов $x(t)$ с объемом алфавита (основанием кода) $M = 2$, который в модуляторе (блок 2-FSK) преобразуется ортогональный двоичный частотно-манипулированный сигнал $s(t)$. Далее сигнал $s(t)$ проходит через трансферный канал связи, в котором подсистемой MIMO Канал (блоки MIMO Channel, Select Columns) моделируются райсовские замирания ($0 \leq \gamma^2 < \infty$) и происходит разделение на n канальных сигналов $s_i(t)$ ($i = 1, 2, \dots, n$) с коэффициентом корреляции замираний R , который может изменяться в пределах $0 \leq R \leq 1$. Блоки AWGN в добавляют к сигналам $s_i(t)$ с замираниями аддитивный белый гауссовский шум (АБГШ) $\xi_i(t)$, спектральная плотность мощности N_{0i} которого может регулироваться.

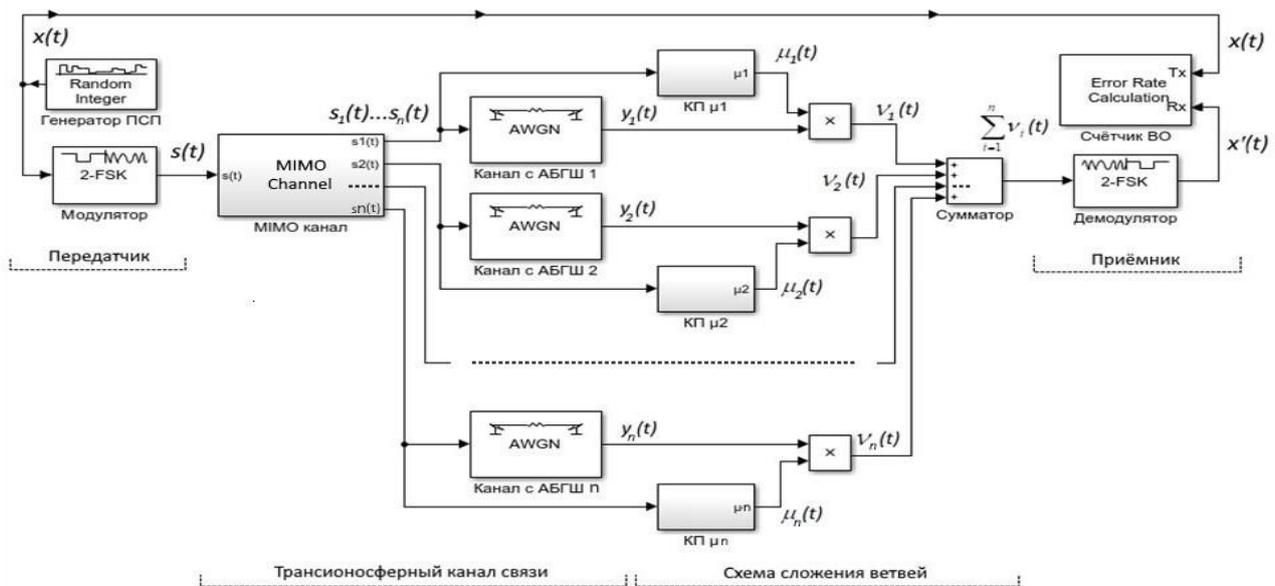


Рисунок 1. Имитационная модель низкочастотной ССС с разнесённым приёмом на произвольное ($n \geq 2$) число антенн, когерентным сложением ветвей и некогерентной обработкой результирующего сигнала

После этого колебания $y_i(t) = s_i(t) + \zeta_i(t)$ поступают на схему когерентного сложения ветвей. Она требует априорных сведений о комплексных коэффициентах передачи $\mu_i(t)$ в каждой ветви. В данной схеме происходит «взвешивание» (умножение) принимаемых колебаний $y_i(t)$ пропорционально ожидаемой амплитуде сигналов $s_i(t)$, которая учитывается коэффициентом передачи $\mu_i(t) = s_i(t)/s(t)$. Далее сформированные выходы умножителей сигналы $v_i(t) = y_i(t) \cdot \mu_i(t)$ подаются в сумматор и полученный результат $\sum v_i(t)$ ($i = 1, 2, \dots, n$) поступает на вход демодулятора (блок 2-FSK).

Демодулятор производит некогерентное детектирование суммы сигналов $\sum v_i(t)$ ($i = 1, 2, \dots, n$) и на выходе формирует последовательность информационных символов $x'(t)$. Счётчик вероятности ошибки (блок Error Rate Calculation) подсчитывает количество ошибочно переданных символов на основе сравнения принятого $x'(t)$ и переданного $x(t)$ потока данных и выдаёт значение вероятности ошибки $P_{\text{ош}}$. Кривые зависимости $P_{\text{ош}} = \psi(h^2, \gamma^2, R, n)$ строятся с помощью встроенного в MATLAB приложения BER Error Rate Analysis Tool.

Данная имитационная модель позволяет получать кривые зависимости $P_{\text{ош}} = \psi(h^2, \gamma^2, R, n \geq 1)$. На их основе можно найти допустимые (для обеспечения $P_{\text{ош}} = P_{\text{ош доп}} = 10^{-5}$) отношения С/Ш на входе приёмника при одиночном ($n = 1$) приёме $h^2_{\text{доп}(1)}$ и при разнесённом приёме $h^2_{\text{доп}(n)}$ сигналов на произвольное число ($n \geq 2$) антенн. Эти отношения С/Ш являются основой для получения коэффициента энергетической скрытности $\gamma_{\text{э}} = h^2_{\text{доп}(1)} / h^2_{\text{доп}(n)}$.

4 Зависимости коэффициента ЭСк

На рисунке 2 приведены кривые зависимостей коэффициента ЭСк $\gamma_{\varepsilon(n)} \approx \psi(\gamma^2, f_0)$ при пространственно-разнесённом приёме на $n = 2, 4, 8$ антенн от параметра Райса γ^2 и несущей частоты f_0 , которые вычислены на основе кривых зависимостей $P_{\text{ош}} = \psi(h^2, \gamma^2, R, n)$, полученных путём имитационного моделирования, и аналитических зависимостей параметра Райса $\gamma^2 = \psi(f_0)$ и коэффициента корреляции замираний $R = \psi(f_0)$ [3, 4, 7].

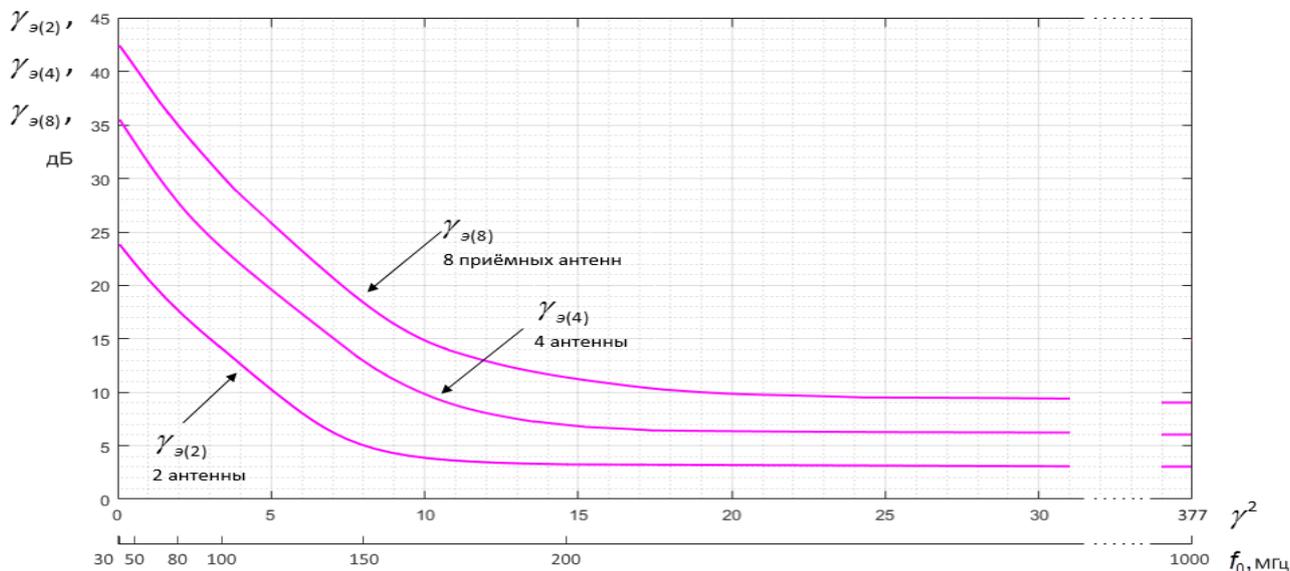


Рисунок 2. Зависимости коэффициента энергетической скрытности ССС от параметра Райса γ^2 и несущей частоты f_0 при разнесённом приёме сигналов на $n = 2, 4, 8$ антенн

5 Анализ зависимостей коэффициента ЭСк

Анализ приведенных на рисунке 2 зависимостей коэффициента ЭСк $\gamma_{\varepsilon(n)} \approx \psi(\gamma^2, f_0)$ показывает, что на традиционной для ССС несущей частоте $f_0 = 1$ ГГц при использовании $n = 2, 4, 8$ приёмных антенн величина коэффициента ЭСк составляет $\gamma_{\varepsilon(2)} \approx 3$ дБ, $\gamma_{\varepsilon(4)} \approx 6$ дБ и $\gamma_{\varepsilon(8)} \approx 9$ дБ соответственно. Так как корреляция замираний на несущей частоте $f_0 = 1$ ГГц составляет почти $R \approx 1$, такие значения коэффициентов ЭСк $\gamma_{\varepsilon(n)}$ обусловлены просто увеличением суммарной площади приёмных антенн в 2, 4 и 8 раз.

Понижение несущей частоты ССС до $f_0 = 30 \dots 1$ ГГц, обуславливающее увеличение глубины замираний принимаемых сигналов до $\gamma^2 \approx 0,05 \dots 3,3$, и применение разнесённого приёма сигналов на $n = 2$ антенны обеспечивает повышение коэффициента ЭСк до $\gamma_{\varepsilon(2)} \approx 24 \dots 14$ дБ. Разнесённый приём на $n = 4$ антенны обеспечивает коэффициент ЭСк в пределах $\gamma_{\varepsilon(4)} \approx 35 \dots 24$ дБ, а приём на $n = 8$ антенн: $\gamma_{\varepsilon(8)} \approx 42 \dots 30$ дБ.

Очевидно, что дальнейшее увеличение числа разнесённых антенн ($n > 8$) в ССС нецелесообразно, поскольку максимальный выигрыш в энергетической скрытности при переходе от сдвоенного приёма к четверённому составляет $\gamma_{\varepsilon(4)} - \gamma_{\varepsilon(2)} \approx 35 - 24 = 11$ дБ, а при переходе от четверённого приёма к восьмёрному он уменьшается до $\gamma_{\varepsilon(8)} - \gamma_{\varepsilon(4)} \approx 42 - 35 = 7$ дБ.

6 Заключение

Таким образом, на основе разработки имитационной модели низкочастотной ССС (рис. 1), разработан метод, позволяющий оценивать значение коэффициента ЭСк γ_3 ССС.

На основе результатов имитационного моделирования на рис. 2 приведены искомые зависимости $\gamma_3 = \psi(\gamma^2, f_0)$ коэффициента ЭСк γ_3 низкочастотных ССС от параметра Райса γ^2 и несущей частоты f_0 при пространственно-разнесённом приёме сигналов на $n = 2, 4, 8$ антенн.

Анализ этих графиков (рис. 2) указывает на возможность увеличения коэффициента ЭСк γ_3 в низкочастотных ССС с $\gamma_{3(2)} \approx 24$ дБ при использовании сдвоенного $n = 2$ приёма сигналов до $\gamma_{3(4)} \approx 35$ дБ при четверённом приёме и до $\gamma_{3(8)} \approx 42$ дБ – при использовании приёма на 8 антенн.

Работа выполнена при поддержке РФФИ в рамках выполнения проекта № 18-07-01020.

Список используемой литературы

- [1] Чипига А.Ф., Сенокосова А.В. Защита информации в системах космической связи за счёт изменения условий распространения радиоволн. *Космические исследования*, 2007. Т. 45. № 1. с. 59-66.
- [2] Чипига А.Ф., Сенокосова А.В. Способ обеспечения энергетической скрытности систем спутниковой связи. *Космические исследования*. 2009. Т. 47. № 5. с. 428-433.
- [3] Цимбал В.А., Пашинцев В.П., Чипига А.Ф. Аналитическая зависимость энергетической скрытности спутниковой связи от выбора несущей частоты радиоволн. Труды 18 Международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация, связь», г. Воронеж, 17-19 апреля 2012 г. – с. 2113-2120.
- [4] Chipiga, A.F., Pashintsev, V.P., Tsymbal, V.A., Shimanov, S.N. Procedure for calculating the dependence of the energy concealment factor on carrier frequency selection for low-frequency satellite communications system. *Automatic Control and Computer Sciences*, 2016, 50(6), с. 408-414.
- [5] Андронов И.С., Финк Л.М. Передача дискретных сообщений по параллельным каналам. М.: Сов. радио, 1971. 408 с.
- [6] Малинкина О.В., Натальин А.Б., Сергиенко А.Б. Цифровая связь: Методические указания к выполнению лабораторных работ. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2009. 44 с.
- [7] Маслов О.Н., Пашинцев В.П. Модели трансферных радиоканалов и помехоустойчивость систем космической связи. Самара: ПГАТИ, 2006. 357 с

List of references

- [1] Chipiga A.F., Senokosova A.V. Information Protection in Space Communication Systems based on changing the conditions of Propagation of Radiowaves. *Kosmicheskie issledovaniya*. [Space research. Vol. 45. No. 1]. 2007, p. 59-66. (In Russian)

- [2] Chipiga A.F., Senokosova A.V. Technique to Provide the Energy Secrecy of Satellite Communication Systems. *Kosmicheskie issledovaniya*. [Space research. Vol. 47. No. 5]. 2009, p. 428-433. (In Russian)
- [3] Tsimbal V.A., Pashintsev V.P., Chipiga A.F. Analytical Function of the Energy Secrecy of the Satellite Communication Systems from the choice of the Carrier Frequency of Radiowaves. *Trudy XVIII Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Radiolokatsiya, navigatsiya, svyaz"* [Proc. XVIII International Sci. and Techn. Conf. "Radiolocation, navigation, communication"]. – Voronezh, 17-19 April 2012, p. 2113-2120. (In Russian)
- [4] Chipiga A.F., Pashintsev V.P., Tsymbal V.A., Shimanov S.N. Procedure for Calculating the Dependence of the Energy Concealment Factor on Carrier Frequency Selection for Low-frequency Satellite Communications System. *Automatic Control and Computer Sciences*, 2016, 50(6), p. 408-414.
- [5] Andronov I.S., Fink L.M. *Transmission of Discrete Messages on Parallel Channels*. Moscow, Sov. radio Publ., 1971, 408 p. (In Russian)
- [6] Malinkina O.V., Natalin A.B., Sergienko A.B. *Digital Communication. Guidelines for the laboratory works*. Saint-Petersburg. SPEU ETU "LETI" Publ., 2009, 44 p. (In Russian)
- [7] Maslov O.N., Pashintsev V.P. *Models of Transionospheric Radio Channels and Noise Immunity of Space Communication Systems*. Samara, PSATI Publ., 2006. 357 p. (In Russian)

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ СТРУКТУРНО-ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН, УЧИТЫВАЮЩЕЙ ПОГЛОЩЕНИЕ И ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ СЦИНТИЛЛЯЦИИ ВОЛНЫ НА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЯХ ИОНОСФЕРЫ

Песков М.В.
mvpeskov@hotmail.com

Пашинцев В.П.
д.т.н., профессор
pashintsevp@mail.ru

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», г. Ставрополь, 355009,
Российская Федерация

Аннотация

На основе описания процесса распространения радиоволн через неоднородную ионосферу методами построения многолучевых моделей и методами описания дифракции волны на неоднородностях ионосферы установлены аналитические зависимости мощности принимаемого сигнала, а также регулярной и флуктуационной составляющих коэффициента передачи (по мощности) трансionoсферного канала от несущей частоты передаваемых сигналов, статистических характеристик флуктуаций полного электронного содержания ионосферы и среднего значения эффективной частоты соударения электронов.

Abstract

Based on the description of the process of propagation of radio waves through the inhomogeneous ionosphere by methods of

constructing multipath models and methods of describing the wave diffraction on the irregularities of the ionosphere, analytical dependences of the received signal power, as well as regular and fluctuation components of the transmission coefficient of the transionospheric channel on the carrier frequency of the transmitted signals, statistical characteristics of the fluctuations of the total electron content of the ionosphere and the average effective frequency of the collision of electrons are established.

Ключевые слова: системы спутниковой связи, мелкомасштабные неоднородности, полное электронное содержание, мощность сигнала, поле волны, сцинтилляции, поглощение, коэффициент передачи.

Keywords: satellite communication systems, small-scale irregularities, total electron content, signal power, wave field, scintillation, absorption, transmission coefficient.

1 Введение

Известно [1 – 4], что возмущения ионосферы, сопровождаемые образованием интенсивных мелкомасштабных неоднородностей (ММН) электронной концентрации (ЭК), обуславливают возникновение сцинтилляций (то есть амплитудно-фазовых флуктуаций, замираний) волны на входе приемника (ПРМ) систем спутниковой связи (ССС). Это вызывает существенное снижение их помехоустойчивости. Зачастую одновременно с образованием ММН возрастает и среднее (фоновое) значение ЭК ионосферы. Это обуславливает дополнительное поглощение волны в ионосфере и, как следствие, снижение мощности принимаемого сигнала и помехоустойчивости СССР [5 – 8].

Чтобы спрогнозировать влияние сцинтилляций и поглощения волны в ионосфере на помехоустойчивость СССР, необходимо разработать структурно-физическую модель трансионосферного канала связи (КС) с целью установления зависимости передаточной функции КС (определяющей мощность принимаемого сигнала) от физических параметров неоднородной ионосферы (среднего значения ЭК и их флуктуаций в ММН).

Целью статьи является разработка методики установления зависимости $\{\alpha_p^2, 2\sigma_e^2\} = \psi(f_0, \sigma_{\Delta N_T}, \bar{N}_T, \bar{v}_3)$ регулярной α_p^2 и флуктуационной $2\sigma_e^2$ составляющих коэффициента передачи трансионосферного КС по мощности от несущей частоты f_0 передаваемого сигнала СССР, значений СКО мелкомасштабных флуктуаций полного электронного содержания ионосферы $\sigma_{\Delta N_T}$ (определяющих проявление ее сцинтилляционных свойств), а также средних значений полного электронного содержания \bar{N}_T и эффективной частоты соударений электронов \bar{v}_3 в ионосфере (определяющих проявление ее поглощающих свойств).

Для достижения поставленной цели необходимо сначала разработать модель изменения электронной концентрации в неоднородной ионосфере с учетом указанных параметров ионосферы ($\sigma_{\Delta N_T}, \bar{N}_T, \bar{\nu}_3$). Затем на основе модели ионосферы разработать математическую модель трансionoсферного канала связи с учетом поглощения и сцинтилляций, которая позволит найти зависимость составляющих коэффициента передачи этого канала связи ($\alpha_p^2, 2\sigma_s^2$) от несущей частоты сигнала и указанных параметров ионосферы ($f_0, \sigma_{\Delta N_T}, \bar{N}_T, \bar{\nu}_3$).

2 Модель пространственного изменения электронной концентрации в неоднородной ионосфере

Комплексную модель распределения ЭК неоднородной ионосферы по высоте z и пространству $\rho = (x, y)$ можно представить в виде (рисунок 1) совокупности трех слоев:

- однородного слоя с эквивалентной толщиной z_3 , расположенного на высоте $z = z_m$ максимума ионизации, и характеризующегося средним значением ПЭС \bar{N}_T ;
- расположенного на его нижней границе тонкого слоя, где происходят столкновения электронов с ионами и нейтральными молекулами с эффективной частотой $\bar{\nu}_3$;
- тонкого слоя неоднородностей, расположенного на высоте $z = z_m$ максимума ионизации, который описывается статистическими характеристиками пространственных флуктуаций ПЭС $\Delta N_T(\rho)$: нулевым математическим ожиданием $\langle \Delta N_T(\rho) \rangle = 0$ и постоянным СКО $\sigma_{\Delta N_T}$.

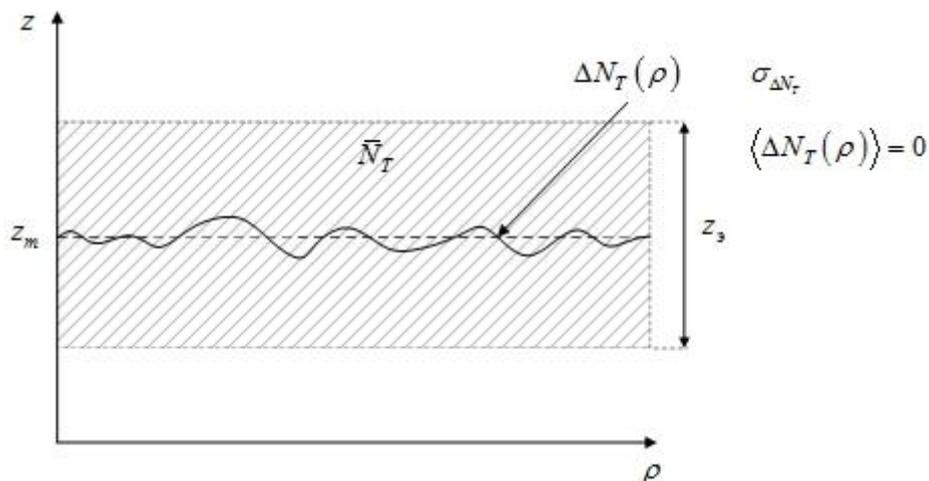


Рисунок 1. Комплексная модель ионосферы в виде совокупности толстого однородного слоя электронной концентрации, тонкого слоя ее неоднородностей и тонкого слоя, в котором происходят соударения электронов

Достоинством данной модели является использование для ее описания параметров неоднородной ионосферы \bar{N}_T и $\sigma_{\Delta N_T}$, которые можно определить методом пассивного мониторинга с помощью двухчастотного приемника СРНС.

3 Этапы разработки математической модели трансionoсферного канала связи с учетом поглощения и сцинтилляций волны

На основе анализа процесса распространения радиоволн от передатчика (ПРД) ССС, размещенного на искусственном спутнике Земли (ИСЗ), к ПРМ ССС через неоднородную ионосферу, описываемую разработанной комплексной моделью изменения ее ЭК по высоте и пространству (рисунок 1), можно получить выражения, определяющие зависимости регулярной α_p^2 и флуктуационной $2\sigma_\epsilon^2$ составляющих коэффициента передачи трансionoсферного многолучевого КС по мощности от несущей частоты f_0 передаваемого сигнала, среднего значения ПЭС ионосферы \bar{N}_T и СКО его мелкомасштабных флуктуаций $\sigma_{\Delta N_T}$.

Методика разработки математической модели трансionoсферного канала связи с учетом поглощения и многолучевого распространения (рисунок 2) должна в общем случае включать следующие этапы [4]:

- определение комплексного поля $\dot{u}(t, z_0)$ плоской волны на некотором расстоянии z_0 от ИСЗ, соответствующем верхней границе ионосферы;
- определение поля волны $\dot{u}(t, z_m)$ в плоскости тонкого неоднородного слоя (фазового экрана, расположенного на высоте $z = z_m$, соответствующей расстоянию $z_0 + 0,5z_s$ от ИСЗ);
- определение поля волны $\dot{u}(t, z = z_0 + z_s)$ на нижней границе ионосферы (на расстоянии $z_0 + z_s$ от ИСЗ) с учетом поглощения из-за соударений электронов с ионами и нейтральными молекулами;
- определение поля волны $\dot{u}(t, z)$ на входе приемной антенны (на расстоянии $z = z_0 + z_s + z_1$ от ИСЗ);
- определение комплексного сигнала $\dot{s}_r(t)$ на входе ПРМ ССС;
- определение мощности сигнала P_r на входе ПРМ ССС.

Далее на основе анализа полученных выражений для средней мощности принимаемого сигнала \bar{P}_m и средней интенсивности поля принимаемой волны \bar{I}_r можно получить зависимость $\{\alpha_p^2, 2\sigma_\epsilon^2\} = \psi(f_0, \sigma_{\Delta N_T}, \bar{N}_T, \bar{v}_3)$ регулярной (α_p^2) и флуктуационной ($2\sigma_\epsilon^2$) составляющих коэффициента передачи трансionoсферного многолучевого канала связи по мощности от несущей частоты (f_0) передаваемого сигнала, среднего значения ПЭС ионосферы (\bar{N}_T) и СКО его мелкомасштабных флуктуаций ($\sigma_{\Delta N_T}$).

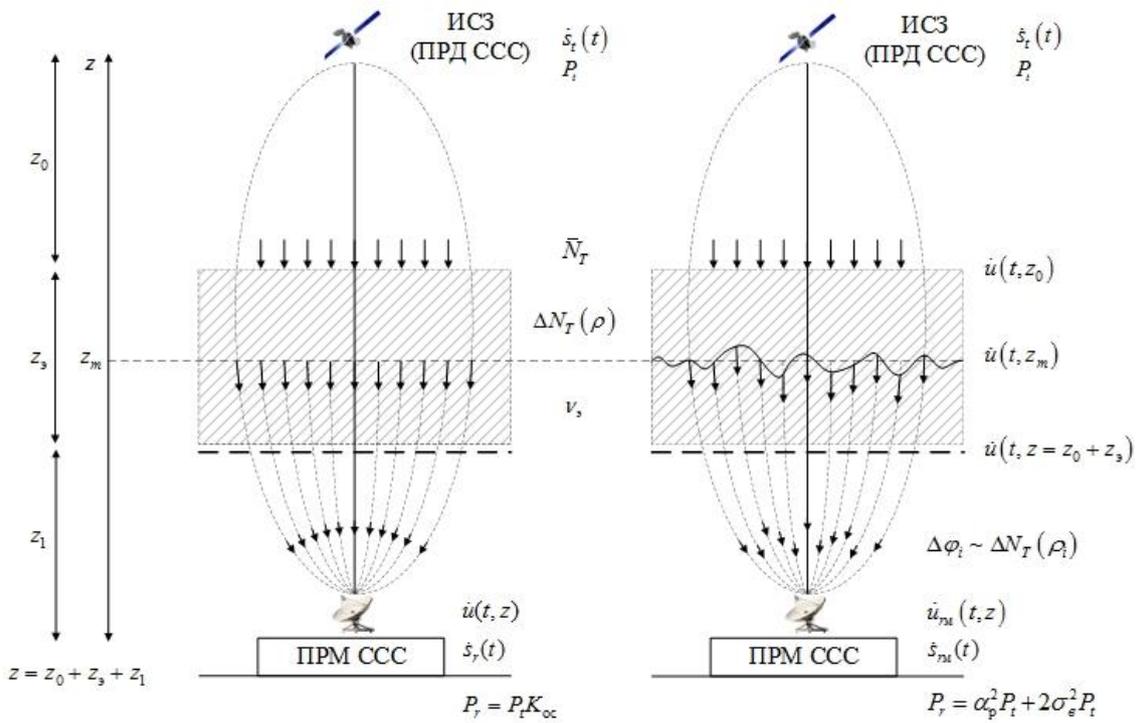


Рисунок 2. Процесс распространения радиоволн через ионосферу

4 Заключение

Представлена комплексная модель распределения ЭК неоднородной ионосферы по высоте z и пространству $\rho = (x, y)$, которую можно представить в виде (рисунок 1) совокупности трех слоев:

- однородного слоя с эквивалентной толщиной z_s , расположенного на высоте $z = z_m$ максимума ионизации, и характеризующегося средним значением ПЭС \bar{N}_T ;
- расположенного на его нижней границе тонкого слоя, где происходят столкновения электронов с ионами и нейтральными молекулами с эффективной частотой $\bar{\nu}_s$;
- тонкого слоя неоднородностей, расположенного на высоте $z = z_m$ максимума ионизации, который описывается статистическими характеристиками пространственных флуктуаций ПЭС $\Delta N_T(\rho)$: нулевым математическим ожиданием $\langle \Delta N_T(\rho) \rangle = 0$ и постоянным СКО $\sigma_{\Delta N_T}$.

На основе анализа процесса распространения радиоволн от ИСЗ к ПРМ ССС через неоднородную ионосферу, описываемую разработанной комплексной моделью изменения ее ЭК по высоте и пространству, включающего 6 этапов, и анализа полученных выражений для средней мощности принимаемого сигнала $\bar{P}_{рм}$ и средней интенсивности поля принимаемой волны \bar{I}_r можно получить зависимость $\{\alpha_p^2, 2\sigma_\epsilon^2\} = \psi(f_0, \sigma_{\Delta N_T}, \bar{N}_T, \bar{\nu}_s)$ регулярной (α_p^2) и

флуктуационной ($2\sigma_s^2$) составляющих коэффициента передачи трансионосферного многолучевого канала связи по мощности от несущей частоты (f_0) передаваемого сигнала, среднего значения ПЭС ионосферы (\bar{N}_T) и СКО его мелкомасштабных флуктуаций ($\sigma_{\Delta N_T}$) $\sigma_{\Delta N_T}$.

Комплексная модель распределения ЭК неоднородной ионосферы и полученная зависимость $\{\alpha_p^2, 2\sigma_s^2\} = \psi(f_0, \sigma_{\Delta N_T}, \bar{N}_T, \bar{v}_s)$ описывают структурно-физическую модель спутникового радиоканала с учетом поглощения и сцинтилляций волны в ионосфере.

Работа выполнена при поддержке РФФИ в рамках выполнения проекта № 18-07-01020.

Список используемой литературы

- [1] Yeh K.C., Liu C.H. Radio wave scintillations in the ionosphere // Proceedings of the IEEE. – 1982. – Vol. 70. – No 4. – pp. 324-360.
- [2] Bogusch R.L., Gugliano F. W., Knepp D.L. Frequency-selective scintillation effects and decision feedback equalization in high data-rate satellite links // Proceedings of the IEEE. – 1983. – Vol. 71. – No 6. – pp. 754-767.
- [3] Rino C.L. The theory of scintillation with applications in remote sensing. Wiley-IEEE Press. 2011. – 230 p.
- [4] Маслов О.Н., Пашинцев В.П. Модели трансионосферных радиоканалов и помехоустойчивость систем космической связи. Приложение к журналу «Инфокоммуникационные технологии». Вып. 4. Самара: ПГАТИ, 2006. – 357 с.
- [5] Черенкова Л.Е., Чернышов О.В. Распространение радиоволн. М.: Радио и связь, 1984. – 272 с.
- [6] Колосов М.А., Арманд Н.А., Яковлев О.И. Распространение радиоволн при космической связи. М.: Связь, 1969. – 155 с.
- [7] Сенокосова А. В., Солчатов М. Э., Стрекалов А. В., Чипига А. Ф. Математическая модель ионосферы для оценки поглощения радиоволн в системах космической связи // Инфокоммуникационные технологии. – 2006. – Т.4. – № 1. – С. 77-82.
- [8] Чипига А.Ф., Дагаев Э.Х., Сенокосова А.В., Шевченко В.А. Модель ионосферы для расчета поглощения волны в системах спутниковой связи // Теория и техника радиосвязи. – 2011. – № 4. – С. 97-101.

List of references

- [1] Yeh K.C. and Liu C.H. (1982) “Radio wave scintillations in the ionosphere”, Proceedings of the IEEE, vol. 70, no. 4, pp. 324-360.
- [2] Bogusch R.L., Gugliano F. W. and Knepp D.L. (1983) “Frequency-selective scintillation effects and decision feedback equalization in high data-rate satellite links”, Proceedings of the IEEE, vol. 71, no. 6, pp. 754-767.

- [3] Rino C.L. (2011) The theory of scintillation with applications in remote sensing, Wiley-IEEE Press, Piscataway, NJ.
- [4] Maslov O.N and Pashincev V.P. (2006) Modeli transionosfernyh radiokanalov i pomekhoustojchivost' sistem kosmicheskoy svyazi [Models of transionospheric radio channels and noise immunity of space communication systems], PSUTI, Samara, Russia.
- [5] Cherenkova L.E. and Chernyshov O.V. (1984) Rasprostranenie radiovoln [Radiowave propagation], Radio i svyaz, Moscow, Russia.
- [6] Kolosov M.A., Armand N.A. and Yakovlev O.I. (1969) Rasprostranenie radiovoln pri kosmich-eskoj svyazi [Radiowaves propagation in space communication], Svyaz, Moscow, Russia.
- [7] Senokosova A. V., Solchatov M. E., Strelalov A. V. and Chipiga A. F. (2006) “A mathematical model of the ionosphere for assessment of the absorption of radio waves in space communication systems”, Infokommunikacionnye tekhnologii, vol 4, no. 1. pp, 77-82.
- [8] Chipiga A.F., Dagaev E.H., Senokosova A.V. and Shevchenko V.A. (2011) “Ionosphere model for calculation of wave absorption in satellite communication systems”, Teoriya i tekhnika radi-osvyazi, no. 4, pp. 97-101.

ВЫЯВЛЕНИЕ ПРЕДПОЧТЕНИЙ СТУДЕНТОВ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРИРОВАНИЯ ФУНКЦИИ КАЧЕСТВА

Сучилкина А. Д.¹
AlyonaSD95@mail.ru

Кудрявцева А. А.¹
kudriavtsieva98@gmail.com

Преображенская Т. В.¹
Ст. преподаватель
preobr@fb.nstu.ru

¹ НГТУ, Новосибирск, 630073, РФ

Аннотация

Система образования по своей сути консервативна и трудноизменима. Но современный мир и требования к компетентностям выпускников быстро изменяются. Существует проблема несоответствия образовательных процессов потребностям студентов, особенно в ИТ-сфере.

Целью проведенного исследования явилось выявление требований студентов к процессу обучения, в частности к очному обучению в университете в условиях современных ИТ.

В рамках данной работы был использован один из новейших инструментов качества – «домик качества», на основе которого сделана попытка выявить особо важные для студентов характеристики учебной деятельности. Они должны послужить основой организации учебного процесса на кафедре.

В результате работы получены значения относительной важности выявленных характеристик. Сформулированы выводы на основе получением результатов исследования.

Abstract

The education system is inherently conservative and hard to change. But the modern world and the requirements for graduates' competencies are changing rapidly. There is a problem of inconsistency of educational processes with the needs of students, especially in the IT field.

The purpose of the study was to identify students' requirements for the learning process, in particular for full-time study at the university in the context of modern IT.

As part of this work, one of the newest quality tools, the “quality house,” was used, on the basis of which an attempt was made to identify the characteristics of educational activity that are especially important for students. They should serve as the basis for the organization of the educational process at the department.

As a result, the obtained values of the relative importance of the identified characteristics. Conclusions are formulated on the basis of obtaining research results.

Ключевые слова: Структурирование функция качества, менеджмент качества, домик качества, качество, инструменты качества, процессы образовательной деятельности, характеристики образовательной деятельности, предпочтения студентов

Keywords:

Structuring the quality function, quality management, Quality Function Deployment, quality, quality tools, educational activity processes, characteristics of educational activities, student preferences

Введение

Подготовка кадров высокой квалификации – необходимая составляющая развития общества. Она осуществляется в высших учебных заведениях (вузах). Вузы достаточно консервативные системы, сложившиеся за многие десятки лет существования. Их консерватизм отчасти оправдан стремлением сохранить культуру и традиции. Подстройка вузов под требования рынка на государственном уровне реализуется на основе Федеральных государственных стандартов [1]. Высокая динамика современных рынков и технологий (информационных технологий) меняют предпочтения студентов и требуют изменений вузовских процессов.

В условиях доступности информационных технологий (ИТ) у современных студентов подходы к обучению и возможности становятся другими, в особой степени это проявляется при подготовке кадров в области ИТ. Но пока организация деятельности вуза, структура учебных планов, структура часов в рабочих программах дисциплин, требования обязательного присутствия и др. такие же, как и десятки лет назад.

Одной из стратегических целей любой образовательной организации является постоянное улучшение процессов для совершенствования деятельности и обеспечения выгод ее заинтересованным сторонам [2]. На достаточно насыщенном рынке образования каждое образовательное учреждение должно заботиться о том, чтобы слышать своих клиентов и улучшать внутренние процессы. Услышать голос потребителя и конвертировать его во внутренние процессы организации [5] позволяют современные инструменты качества, в частности метод развертывания функции качества. В настоящей работе дан пример использования функции развертывания качества с целью выявления студентами предпочтений характеристик учебного процесса.

Постановка задачи и ее реализация

Существует множество инструментов качества, которые помогают достичь желаемого результата. В настоящей работе использован инструмент качества - развертывание функций качества (Quality Function Deployment - QFD) или «Домик качества». В русскоязычном варианте эту методику называют структурирование функции качества. Это подход к проектированию систем и процессов, основанный на понимании желаний потребителей. Основной целью QFD является перевод субъективных характеристик потребителя в набор технических характеристик организации, качество которых необходимо контролировать (в нашем случае - в набор характеристик учебного процесса), чтобы удовлетворить потребителя [8]. Суть инструмента QFD в пошаговой конкретизации предпочтений потребителя – переводе языка потребителя на язык производителя. На каждом шаге создается матричная диаграмма особого вида – домик качества, выявляются наиболее важные факторы для потребителя, которые переводятся в важные факторы для производителя. Они, в свою очередь, являются важными факторами для построения следующей матрицы, детализирующей процесс обучения [3].

В настоящем исследовании поставлена следующая задача: определить наиболее важные требования (наиболее предпочтительные факторы) студентов к образовательному процессу при очной форме обучения в университете. В исследовании участвовала группа студентов четвертого курса НГТУ, обучающаяся по специальности «Прикладная информатика в экономике», студенты выступали в качестве экспертов.

Работа выполнялась в два этапа. Студенты отвечали на вопрос: «Каким должно быть обучение в университете?» На первом этапе выявлялся набор факторов важных для студентов при обучении в вузе (с помощью диаграммы сродства). На втором этапе строился домик качества.

В исследовании приняли участие студенты НГТУ группы ФБИ-51 (всего 14 человек). Они были разделены на три подгруппы случайным образом. Каждая подгруппа строила свой отдельный домик качества, с тем, чтобы можно было проанализировать и сравнить результаты. Каждая группа строила свой домик качества по алгоритму (методике проведения QFD), который включает в себя 10 шагов:

1. определение требований потребителя;
2. определение важности требований для потребителя;
3. определение конкурентного рейтинга потребителя;

4. определение технических требований (элементов учебного процесса);
5. построение матрицы взаимосвязи;
6. определение сложности реализации требований;
7. проведение технического анализа продукции конкурентов;
8. определение значений технических характеристик и направлений для улучшения;
9. определение взаимосвязи технических характеристик;
10. расчет абсолютной и относительной важности каждой из технических характеристик [3].

В силу сложности метода QFD и ограниченности времени подгруппы создали только по одной матричной диаграмме (из возможных трех), для перевода пожеланий студента в структурные элементы учебного процесса. Полезность QFD зависит от качества данных, полученных на самом первом этапе исследования [3]. Каждая из подгрупп построила свою диаграмму (домик качества) и внесла в нее свои данные о предпочтениях. Построенный домик качества третьей подгруппы представлен на рисунке 1. Данные обработаны по правилам QFD, результаты расчетов сведены в таблицу 1. Значения являются средними для подгрупп (индивидуальные оценки студентов просуммированы и разделены на количество студентов в подгруппе).

Таблица 1. Относительные важности предпочтений структурных элементов учебного процесса (в %)

Подгруппы студентов	Структурные элементы учебного процесса								
	Учебный план			Оснащение		Методическое обеспечение		Преподаватели	
	Лекции	Практики	Лаб. работы	Наличие нового оборудования	Наличие ПО	Наличие методичек	Наличие ИС хранения	Опыт преподавания	Практический опыт
1 п/группа	8,7	10,8	17,5	14,9	14,3	15,7	13,7	1,2	0
2 п/группа	20	7	17,1	10	5,7	8,6	1,1	5,7	21,4
3 п/группа	6,5	6,5	7,7	7,9	7,9	19,5	19,5	3,6	14,4

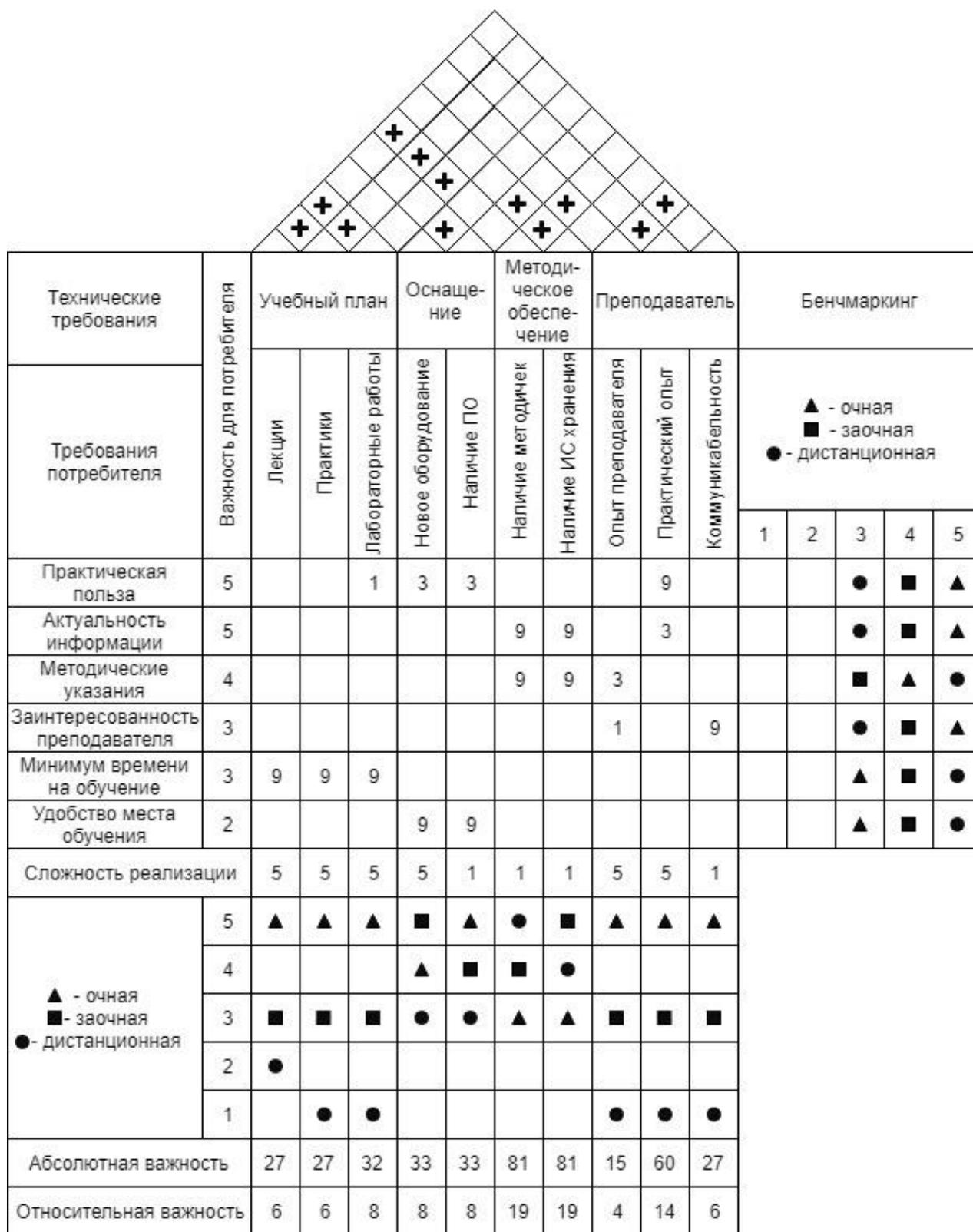


Рисунок 1. Домик качества, созданный студентами третьей подгруппы

Для подгрупп 1 и 3 максимальные значения, равные 14,7% и 19,5% соответственно, получились в категории “методическое обеспечение”. Для этих студентов при обучении важнее всего наличие методического обеспечения по дисциплинам и простота доступа к нему.

По результатам второй подгруппы видно, что необходимо обратить наибольшее внимание на учебный план, так как максимальное значение для этого фактора - 14,7%. Необходимо также обратить внимание на лабораторные работы. Для этой подгруппы студентов наиболее важно научиться применять полученные знания на практике в рамках учебного процесса.

При сравнении полученных результатов (таблица 1) видно, что максимальные значения, указывающие на наиболее важные элементы учебного процесса, для всех подгрупп сильно расходятся. И сделать какой-либо общий вывод представляется невозможным. Такой результат мог получиться, главным образом, по двум причинам.

Во-первых, из-за индивидуальных особенностей мышления. Каждый человек думает по своему, поэтому необходимо теснее работать в команде, чтобы обсуждая, прийти к общему, устраивающих всех решению, что требует значительного времени.

Второй причиной (по-видимому, главной) является нечеткость в формулировке задания при выявлении потребностей студентов (из-за отсутствия опыта у исследователей). Необходимо большое внимание уделять первоначальным этапам формализации (здесь идет работа со знанием) – более тщательно работать над формулировками вопросов. И весьма полезно добавить исчерпывающие описания (пояснения) к формулировкам требований и предпочтений.

Заключение

В работе приведены результаты выявления предпочтений студентов (на основе метода QFD), которые важно учитывать при совершенствовании учебного процесса вуза. В дальнейших исследованиях может быть оценено влияние отдельных выявленных факторов (например, методического обеспечения) на качество образования в высших учебных заведениях.

Данное исследование проведено в рамках учебного процесса на практических занятиях по дисциплине «Инструменты обоснования принятия проектных решений» направления подготовки 09.03.03 «Прикладная информатика» профиля «Прикладная информатика в экономике».

Одна из целей работы - показать ценность и важность работ на этапах начальной формализации, что особенно важно для студентов бакалавриата профиля Прикладная информатика в экономике. Эти специалисты на практике имеют дело со слабоструктурированными системами, их деятельность связана с первоначальной формализацией и описанием бизнес-процессов для построения информационных систем. Кажущаяся простота описания процессов и систем накладывает, однако, огромную ответственность, так как допущенные ошибки на первых этапах формализации, дорого обходятся заказчикам и разработчикам [4],[8]. Молодым специалистам необходимо уже на первых порах обладать достаточной свободой и самостоятельностью мышления, и сознавать ответственность за принимаемые ими решения [10].

Основой получения реальных знаний в вузе является включенность студентов в реальную деятельность и такого рода исследования полезны при обучении студентов. Результаты проведенного исследования могут послужить сигналом обратной связи для совершенствования деятельности кафедры.

Список использованной литературы

1. Федеральные государственные образовательные стандарты [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://fgos.ru/> (дата обращения: 6.12.2018) – Загл. с экрана.
2. Процесс постоянного улучшения качества [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://www.elitarium.ru/process_uluchsheniya_kachestva/ (дата обращения: 5.12.18) - Загл. с экрана.
3. Домик качества [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.kpms.ru/Implement/Qms_QFD.htm (дата обращения: 5.12.2018) – Загл. с экрана.
4. Преображенская Т. В. Инструменты управления качеством в построении когнитивных моделей систем = Quality management tools in construction of cognitive models of systems / Т. В. Преображенская // Высшее техническое образование: проблемы и пути развития = Nginieering education: challenges and developments : 10 междунар. науч.-метод. конф., Минск, 1–2 нояб. 2018 г. - Минск : БГУИР, 2018. – С. 371-374. - ISBN 978 - 985 - 543 - 449 - 9.
5. Менеджмент качества [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.kpms.ru/Implement/Qms_Tool.htm (дата обращения: 5.12.2018) – Загл. с экрана.
6. Поиск подходов к решению проблем/ И.В.Прангишвили, Н.А. Абрамова, В.Ф.Спиридонов и др. – М.:СИНТЕГ, 1999, -192с.
7. Яблочников С.Л., Яблочникова И.О., Яблочникова М.С. Роль информационных технологий в подготовке компетентных специалистов в вузах / Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2016: сб. тр. междунар. науч.-техн. и науч.-метод. конф.: в 4-х т. Т.3. / под ред. О.В. Миловзорова. Рязань: РГРТУ, 2016. С. 200–203.
8. Дом качества [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.inventech.ru/lib/sfq/sfq-0005/> (дата обращения: 5.12.18) - Загл. с экрана.
9. Инструменты качества: Структурирование функции качества (QFD) [Электронный ресурс] - Режим доступа <https://1cert.ru/stati/instrumenty-kachestva-struktur..>(дата обращения: 5.12.18) - Загл. с экрана.
10. Яо Л.М. ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В СОВРЕМЕННОМ РОССИЙСКОМ ОБЩЕСТВЕ // Современные проблемы науки и образования. – 2009. – № 6-2.

List of references

1. Federal state educational standards [Electronic resource] - Access mode: <https://fgos.ru/> (access date: 6.12.2018) – Title from the screen. (In Russian)
2. *Process postoyannogo uluchsheniya kachestva* [The process of continuous quality improvement] [Electronic resource] - Access mode: http://www.elitarium.ru/process_uluchsheniya_kachestva/ (access date: 5.12.18) - Title from the screen. (In Russian)
3. *Domik kachestva* [House of quality] [Electronic resource] - Access mode: http://www.kpms.ru/Implement/Qms_QFD.htm (access date: 5.12.2018) - Title. from the screen. (In Russian)
4. Preobrazhenskaya T. V. *Instrumenty upravleniya kachestvom v postroenii kognitivnyh modelej sistem* [Quality management tools in construction of cognitive models of systems] / T. V. Preobrazhenskaya // *Vysshee tekhnicheskoe obrazovanie: problemy i puti razvitiya* [Engineering education: challenges and developments] : 10 int. scientific method. Conf., Minsk, 1-2 Nov. 2018 - Minsk: BSUIR, 2018. - p. 371-374. - ISBN 978 - 985 - 543 - 449 – 9. (In Russian)
5. *Menedzhment kachestva* [Quality management] [Electronic resource] - Access mode: http://www.kpms.ru/Implement/Qms_Tool.htm (access date: 5.12.2018) - Title. from the screen. (In Russian)
6. *Poisk podhodov k resheniyu problem* [Search for approaches to solving problems] / I.V. Prangishvili, N.A. Abramova, V.F. Spiridonov and others - M.: SINTEG, 1999, -192s. (In Russian)
7. Yablochnikov S.L., Yablochnikova I.O., Yablochnikova M.S. *Rol' informacionnyh tekhnologij v podgotovke kompetentnyh specialistov v vuzah / Sovremennye tekhnologii v nauke i obrazovanii* [The role of information technology in the preparation of competent specialists in universities / Modern technologies in science and education] - STNO-2016: Sat. tr. international scientific and technical and scientific method. Conf .: in 4 tons. T.3. / ed. O.V. Milovzorov. Ryazan: RGTU, 2016. p. 200–203. (In Russian)
8. *Dom kachestva* [House of quality] [Electronic resource] - Access mode: <https://www.inventech.ru/lib/sfq/sfq-0005/> (access date: 5.12.18) - Title from the screen. (In Russian)
9. *Instrumenty kachestva: Strukturirovanie funkcii kachestva (QFD)* [Quality tools: Structuring the quality function (QFD)] [Electronic resource] - Access mode

<https://1cert.ru/stati/instrumenty-kachestva-struktur> (access date: 5.12.18) - Title from the screen. (In Russian)

10. Yao L.M. *Problemy vysshego obrazovaniya v sovremennom rossijskom obshchestve // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Problems of higher education in modern russian society // Modern problems of science and education]. - 2009. - № 6-2. (In Russian)

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ

Пуля С. А.
20p111@mail.ru

Бердник К. П.
Berdnik884@mail.ru

Шишаков А. П.
starshish@mail.ru

Бачурина В. С.
icomm@ncfu.ru

Мочалов В. П.
доктор технических наук, профессор
mochalov.valery2015@yandex.ru

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»,
г. Ставрополь, 355037, Россия

Аннотация

Системы связи на основе беспроводных оптических технологий используют свободное пространство в качестве среды передачи для доставки оптических сигналов данных с высокими скоростями передачи. Системы беспроводной связи на основе оптических технологий имеют существенные преимущества по сравнению с обычными беспроводными сетями. Беспроводные оптические сети могут простираться на расстояния от нескольких метров до тысячи километров. В данной статье проанализированы особенности реализации беспроводных оптических сетей. Сформулированы проблемы, возникающие при развертывании FSO-сетей. Рассмотрена классификация беспроводных оптических сетей на спутниковые, наземные и домашние сети. Проведена детализация свойств различных беспроводных оптических сетей. Рассмотрены особенности проектирования сетей данного типа.

Abstract

Communication systems based on wireless optical technology use free space as a transmission medium for delivering optical data signals with high transmission speeds. Wireless communication systems based on optical technology have significant advantages over conventional wireless networks. Wireless optical networks can extend over distances from a few meters to thousands of kilometers. This article analyzes the features of the implementation of wireless optical networks. The problems arising from the deployment of FSO-networks are formulated. The classification of wireless optical networks on satellite, terrestrial and home networks is considered. A detailed elaboration of the properties of various wireless optical networks has been carried out. Considered features of the design of networks of this type.

Ключевые слова: беспроводные сети доступа, оптические сети свободного пространства, оптические коммуникации свободного пространства, сетевая архитектура, оптические беспроводные сети, спутниковые сети.

Keywords: Wireless Access Networks, Free Space Optical Networks, Free Space Optical Communications, Network Architecture, Optical Wireless Networks, Satellite Networks.

1 Введение

Системы связи на основе беспроводных оптических технологий (FSO, Free Space Optical) используют свободное пространство (атмосферу, вакуум или космическое пространство) в качестве среды передачи для доставки оптических сигналов данных с высокими скоростями передачи [1]. В связи с новыми достижениями в оптических и коммуникационных технологиях наблюдается повышенный интерес к анализу и развитию беспроводных оптических линий связи и внедрению FSO-технологии в беспроводных сетях. Данные технологии могут найти применение в широкополосных беспроводных сетях следующего поколения (NGN, Next Generation Networks) [2].

Сети следующего поколения относятся к мультисервисным сетям связи, ядром которых являются транспортные IP-сети. Информация, циркулирующая в NGN, разбита на две составляющие: сигнальную информацию, обеспечивающую коммутацию абонентов и предоставление услуг, и пользовательские данные вида «Triple Play» (данные, голос, видео). При разработке, внедрении, эксплуатации и техническом обслуживании NGN-сетей необходимо учитывать принципы построения распределенных систем управления сетями и услугами [3–5], а также концепцию Framework от TM Forum [6]. Это позволит создать систему управления OSS/BSS (Operation Support System/Business Support System) и автоматизировать выполнение бизнес-процессов оператора связи [7–9].

В общем, беспроводная связь имеет следующие преимущества перед проводными коммуникациями: низкая стоимость развертывания из-за отсутствия необходимости прокладки кабелей; простота топологии сети; возможность гибкого обслуживания сети и т. д. Беспроводная связь также позволяет пользователям мобильных устройств получать доступ к Интернету в любое время и во многих местах (например, IEEE 802.11 (Wi-Fi), Bluetooth и IrDA предназначены для ближней передачи данных, а стандарт LTE (Long-Term Evolution) – для связи на большие расстояния для мобильных телефонов и терминалов данных).

Количество мобильных устройств постоянно растет, что приводит к созданию всепроникающих сетей (Ubiquitous Networks). Услуги беспроводной связи теперь необходимы множеству людей, наряду с поставками воды и электроэнергии. Объем трафика данных в беспроводных сетях растет с огромной скоростью. В общем случае обмен данными в различных мультимедийных сервисах: аудио по запросу – AOD (Audio On Demand), видео по запросу – VOD (Video on Demand) и одноранговая сеть – P2P (peer-to-peer), стимулирует необходимость в сетях с более высокой скоростью передачи данных.

2 Особенности реализации беспроводных оптических сетей

Системы беспроводной связи на основе оптических технологий имеют следующие преимущества по сравнению с обычными беспроводными сетями [1]:

1. FSO-линии обеспечивают высокую скорость передачи данных для поддержки широкополосных услуг передачи данных.
2. Для работы в оптическом диапазоне спектра не надо получать лицензию.
3. Оптическое излучение невосприимчиво к электромагнитным помехам.
4. В отличие от радиочастотных компонентов, оптические являются недорогими и потребляют меньше энергии.
5. Из-за свойств источника света и двухточечной передачи FSO-линии имеют низкие значения вероятностей перехвата и обнаружения.
6. Источники света с одинаковыми характеристиками могут быть использованы повторно в соседнем пространстве или помещении, в результате малых взаимных помех.

Практическому развертыванию беспроводных оптических сетей препятствуют две основные проблемы [1].

1. Атмосферная турбулентность снижает надежность канала связи. Атмосферная турбулентность влияет на распространение оптических сигналов, что приводит к ухудшению основных показателей: отношение сигнал/шум (SNR, Signal-to-Noise Ratio), частота возникновения ошибок (BER, Bit per Error Rate), частота нарушения канала связи (outage frequency) и т. д.
2. Реализация методов наведения, обнаружения и слежения (PAT, Pointing, Acquisition and Tracking), является очень важной в FSO-системах из-за неуправляемого распространения узкого луча через свободное пространство. Передатчик в системе беспроводной оптической связи имеет узкую диаграмму направленности, что

определяет необходимость обеспечения расхождения луча не более чем на несколько миллирадиан для концентрации оптической энергии на приемнике. При двусторонней связи оптические приемопередатчики должны быть одновременно направлены друг на друга.

3 Классификация беспроводных оптических сетей

Беспроводные оптические сети могут простираются на расстояния от нескольких метров до тысячи километров. FSO-сети можно условно разделить на три типа, в зависимости от сетевого диапазона и местоположения оптических передатчиков и приемников (рис. 1) [1]:

- беспроводные оптические спутниковые сети (OWSN, Optical Wireless Satellite Networks);
- беспроводные оптические наземные сети (OWTN, Optical Wireless Terrestrial Networks);
- беспроводные оптические домашние сети (OWHN, Optical Wireless Home Networks).

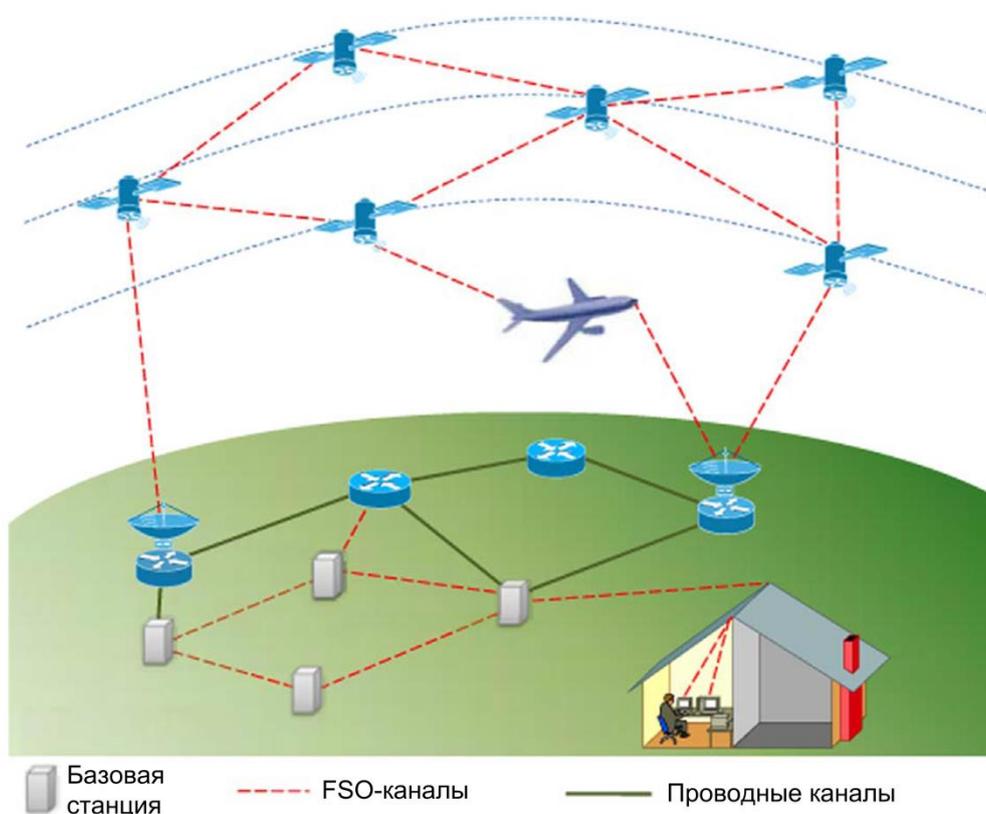


Рисунок 1. Топология интегрированных оптических сетей [1].

Беспроводные оптические спутниковые сети

Беспроводные оптические спутниковые сети (OWSN) покрывают большие территории и спроектированы таким образом, чтобы обеспечить доступ с высокой пропускной способностью [1, 10]. OWSN создают глобальную космическую магистральную сеть с оптическими линиями связи. Спутники могут поддерживать канал с любым наземным

абонентом независимо от топографических ограничений, если существует линия прямой видимости (LOS, Line-of-Sight). OWSN состоят из различных типов FSO-линий свободного пространства, включая межспутниковые (inter-satellite), спутник-воздух (satellite-to-air) и спутник-земля (satellite-to-surface).

Межспутниковые линии связи предназначены для передачи данных через спутники в направлении конечного спутника назначения, который имеет направления передачи вверх-вниз (up-and-down) между воздушным судном или наземной станцией. Обычно такие ссылки имеют очень высокие скорости передачи данных (> 10 Гбит/с). Таким образом, межспутниковые линии связи используются для межконтинентальных коммуникаций. Приемники могут быть стационарными (например, на зданиях, в горах, башнях) или подвижными (например, в самолетах, морских судах и наземных транспортных средствах).

Беспроводные оптические наземные сети

Беспроводные оптические наземные сети (OWTN) обеспечивают соединение «точка-точка» на линии прямой видимости между двумя приемопередатчиками через наружные атмосферные турбулентные каналы [1, 11]. Из-за требования обеспечения линии прямой видимости расстояние распространения света через атмосферу составляет от сотен метров до десятков километров. Данная технология имеет большой потенциал и становится важным средством для широкополосного доступа в Интернет. Рассмотрим некоторые сценарии применения беспроводных оптических наземных сетей.

OWTN используются для соединения с высокой скоростью передачи данных существующих фрагментов сетей, когда они географически разделены. Например, FSO-канал между зданиями может быть установлен без прокладки оптических волокон. Также поддерживается подключение к мобильным терминалам.

OWTN являются эффективными решениями для решения проблем «последней мили» или «первой мили». Несмотря на то, что при этом широко используются оптоволоконные кабели, существует множество конечных пользователей, у которых отсутствует возможность реализовать оптоволоконную абонентскую линию по технологии FTTH (Fiber to Home). OWTN может обеспечить канал связи на большое расстояние с высокой пропускной способностью для удаленных конечных пользователей (например, жителей сельских районов). OWTN могут быть интегрированы с беспроводными радиосетями для снижения ограничений по пропускной способности и масштабируемости частотного диапазона.

При проектировании беспроводных оптических наземных сетей необходимо учитывать возможное ухудшение связи, вызванное атмосферными потерями, такими как поглощение, рассеяние и преломление в ясную погоду и при плохих погодных условиях. Обеспечение надежной связи для пользователей FSO-сети контролируется соответствием показателей канала требуемому уровню качества обслуживания – QoS (Quality of Service).

Беспроводные оптические домашние сети

Беспроводные оптические домашние сети (OWHN), также известны как внутренние FSO-сети. OWHN используются для построения локальной вычислительной сети (ЛВС – LAN,

Local Area Network), состоящей из ячеек, где каждая ячейка является одним из отдельных пространств в здании [1, 11, 12]. Внутри каждой ячейки имеется базовая станция, к которой по оптическим беспроводным линиям подключены несколько терминалов с инфракрасными или светоизлучающими диодами (LED, Light-Emitting Diode). В отличие от радиоволн, излучение от инфракрасных или светоизлучающих диодов не проникает сквозь стены здания. Каждая беспроводная ячейка должна быть ограничена комнатой и должна быть подключена к инфраструктуре магистральной широкополосной связи. В данном случае ячейка свободна от помех от соседних ячеек, и в результате характеристики луча могут повторяться.

Основываясь на разных режимах распространения, можно провести классификацию внутренних FSO-ссылок (в зависимости от использования линий прямой видимости – LOS) на два типа:

- канал связи прямой видимости (LOS links);
- канал связи непрямой видимости (non-LOS links), также известные как разбросанные ссылки.

Канал прямой видимости требует свободного пути между отправителем и получателем. Неожиданные препятствия между передатчиком и приемником могут прервать канал связи прямой видимости. По сравнению с альтернативным вариантом канал прямой видимости имеет более высокую емкость из-за лучшего бюджета мощности и отсутствия эффектов многолучевого распространения. Для поддержки мобильных терминалов в данном методе необходим механизм управления лучом.

В канале связи непрямой видимости используется специальный источник излучения для обеспечения рассеивания светового пучка в помещении и использования преимуществ многолучевого распространения, вызванного отражениями от всех видов поверхностей (мебель, потолки и полы) в ограниченном пространстве. В результате канал связи непрямой видимости более устойчив при возникновении препятствий, но при этом поддерживает более низкую скорость передачи данных.

Кроме этого, все электрооборудование в доме или офисе соединено линиями электропередачи. Интеграцию отдельных ячеек в беспроводную оптическую домашнюю сеть можно провести с помощью технологии PLC (Power line communication) [13]. Таким образом, дополнительная базовая инфраструктура для соединения ячеек в OWHN не потребуется.

Беспроводные оптические домашние сети – эффективное решение для предоставления инфокоммуникационных услуг в офисных и домашних сетях. OWHN обеспечивают достаточную скорость передачи данных и пропускную способность канала связи при низкой цене. Существенным недостатком является невозможность предоставления услуги плавного роуминга для мобильного оборудования, т. к. световые волны не могут проникать в границы помещения.

4 Особенности проектирования беспроводных оптических сетей

Характеристика FSO-канала

В беспроводных оптических сетях используется неуправляемый луч, который распространяется через свободное пространство. Характеристики FSO-канала ухудшаются при усилении влияния атмосферной турбулентности, которая была одним из основных факторов, препятствующих практическому развертыванию данных систем. Существует множество факторов влияющих на уровень атмосферной турбулентности (погодные явления и сцинтилляция (мерцание) вызванная изменением давления, влажности и температуры). Когда погодные условия являются плохими, производительность беспроводной оптической линии связи будет значительно снижена. Сцинтилляционные эффекты от перепадов температуры более значительны, а вызванные давлением и влажностью относительно малы.

Проблемы низкого качества канала, вызванные воздушной турбулентностью, обычно возникают в спутниковых и наземных беспроводных оптических сетях. В работе [14] были предложены различные статистические модели каналов: логнормальная (log-normal), k -, логнормальная-Райса (lognormal-Rician) и Gamma-gamma. Однако межспутниковые линии связи и OWHN обычно свободны от атмосферных влияний, поскольку в первом случае оптические пучки распространяются через вакуум пространства, а расстояние между OWHN-звеньями пренебрежимо мало.

Модели доступности и надежности канала связи

Доступность и надежность беспроводных оптических линий являются важными факторами для сетей FSO. При низкой доступности и надежности канала связи, передача данных будет прервана и общая производительность FSO-сети будет снижена. Существует несколько причин, которые ухудшают качество связи FSO. В OWTN, атмосферная турбулентность является основной причиной ухудшения характеристик канала связи.

Свойство узконаправленного оптического луча является еще одной причиной низкой надежности канала связи. Типичный оптический луч распространяется с малым углом расхождения луча – несколько миллирадиан, а поле зрения (FOV, Field of View) приемника также невелико. Из-за небольших значений углов может происходить полная или частичная потеря связи. Таким образом, методы наведения, обнаружения и слежения (PAT) являются незаменимыми, которые особенно важны для мобильных платформ, таких как спутники и самолеты [15].

Автоматизация работы беспроводных оптических сетей

При работе беспроводных оптических сетей существуют компромиссы между ручными или автоматическими системами для установления и поддержания соединения. Степень автоматизации работы зависит от конкретного приложения. Если линия связи FSO обладает высокой надежностью и не нуждается в изменении направления в течение длительного периода времени, можно использовать ручное управление с помощью простых механизмов отслеживания для экономии расходов.

OWSN требуют высокого уровня автоматизации при управлении топологией сети, поскольку невозможно управлять направлением после запуска спутников. Если

приемопередатчики FSO работают автономно, алгоритмы самонастройки и самовосстановления должны быть разработаны и включены в систему.

Обеспечение качества обслуживания в беспроводных оптических сетях

Беспроводные оптические сети превосходят радиосети в пропускной способности. Оптический лазер с длиной волны 1,55 мкм, работающий на частоте 200 ТГц обеспечивает почти 200000 раз большую пропускную способность, чем микроволновая связь 2 ГГц [16]. Связи FSO обеспечивают конкурентное решение проблемы «последней мили», увеличивая пропускную способность существующих беспроводных сетей и составляя важный компонент для сетей широкополосной беспроводной связи следующего поколения. Пропускная способность FSO-связей ограничена производительностью приемопередатчика и ограничениями безопасности глаза.

В дополнение к требованиям на широкополосную связь, можно указать на различные требования к QoS, такие как задержки передачи «из конца в конец», дрожание, частота потери пакета, которые следует принимать во внимание при проектировании сетевых алгоритмов и протоколов в FSO-сетях. Например, сквозная задержка является важным фактором из-за большого расстояния в оба конца в OWSN, в то время как равномерная загрузка каналов (fairness) может быть проблемой для OWHN в комнате, обслуживающей несколько устройств. Механизм управления перегрузкой в протоколе управления передачей (TCP) не может хорошо работать в FSO-сети и, следовательно, должны быть разработаны более гибкие протоколы для FSO-сетей.

Стоимость связи в беспроводных оптических сетях

Канал в беспроводных оптических сетях представляет собой соединение точка-точка. Таким образом, для каждой линии требуется два приемопередатчика с обоих концов. Это означает, что количество требуемых комплектов аппаратуры пропорционально количеству соединений в сети FSO. Поэтому стоимость устройств в беспроводных оптических сетях является важным конструктивным фактором с точки зрения развертывания и работы сети.

Обеспечение безопасности в беспроводных оптических сетях

Высокая мощность передатчиков в оптических беспроводных сетях позволяет преодолеть атмосферные возмущения и обеспечить требуемые скорости передачи данных в суровых погодных условиях. Лазерные источники, превышающие определенный порог мощности, наносят вред человеческому организму, в частности глазам. Таким образом, важно обеспечить ограничение мощности излучения лазера в оптических беспроводных сетях. Для работы с маломощными источниками оптического излучения энергии требуется наличие высокочувствительных приемников, которые могут получать больше помех от окружающей среды.

Были установлены стандарты безопасности лазера, такие как ANSI Z136.1 и IEC 60825-1 [17]. Согласно МЭК 60825-1, целью является защита человеческого тела от чрезмерного лазерного излучения с длиной волны от 180 нм до 1 мм путем классификации лазеров и

лазерных изделий на основе степени опасности. Оптические пучки 1-го и 2-го классов считаются полностью безопасными, за исключением случаев прямого и длительного воздействия. Системы 3-го класса обеспечивают хороший бюджет мощности, но их излучение не рекомендуется для контакта с человеческим телом.

5 Заключение

В данной статье проанализированы особенности реализации беспроводных оптических сетей. Сформулированы проблемы, возникающие при развертывании FSO-сетей. Рассмотрена классификация беспроводных оптических сетей на спутниковые, наземные и домашние сети. Проведена детализация свойств различных беспроводных оптических сетей. Рассмотрены особенности проектирования сетей данного типа.

Список используемой литературы

- [1] Son I. K., Mao I. A survey of free space optical networks. *Digital Communications and Networks*. Vol. 3. p.p. 67–77. May 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dcan.2016.11.002>
- [2] Рекомендация МСЭ-Т Y.2060: Сети последующих поколений – Структура и функциональные модели архитектуры. Обзор интернета вещей [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-I> (дата обращения: 05.12.2018).
- [3] Мочалов В. П. Метод анализа процесса управления проблемами системы управления услугами связи на раскрашенных сетях Петри / В. П. Мочалов, С. В. Яковлев // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2007. – № 8. – С. 39–42.
- [4] Мочалов В. П. Метод анализа процессов управления инцидентами системы управления услугами связи на основе сетей Петри / В. П. Мочалов, С. В. Яковлев // Инфокоммуникационные технологии. – 2007. Т 5. – № 1. – С. 48–52.
- [5] Мочалов В. П. Разработка отказоустойчивых распределенных систем управления телекоммуникационными сетями и услугами / В. П. Мочалов, Э. И. Ямбулатов, Н. Ю. Братченко, С. В. Яковлев. – Ставрополь: СКФУ, 2015. – 147 с.
- [6] Официальный сайт ТМ Forum. [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tmforum.org/> (дата обращения: 05.12.2018).
- [7] Мочалов В. П. Формализованное описание процесса разработки системы поддержки операционной и бизнес-деятельности оператора связи / В. П. Мочалов, С. В. Яковлев, Д. В. Мочалов // Теория и техника радиосвязи. – 2011. – № 4. – С. 108–112.
- [8] Слюсарев Г. В. Аналитическая модель системы обслуживания заказов оператора связи / Г. В. Слюсарев, В. П. Мочалов, С. В. Яковлев, С. В. Жубреев, А. А. Кульпинов, Д. В. Мочалов // Наукоемкие технологии. – 2012. – Т. 13. № 7. – С. 71–76.

- [9] Мочалов В. П. Разработка процессно-ориентированной системы управления качеством инфокоммуникационных услуг на основе концепции NGOSS / В. П. Мочалов, Н. Ю. Братченко, Н. И. Червяков, С. В. Яковлев. – Ставрополь: СКФУ, 2013. – 180 с.
- [10] Karafolas N. Optical satellite networks. *Lightwave Technology, IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology*. Vol. 18. p.p. 1792–1806. Dec 2000. DOI: 10.1109/50.908734
- [11] Mahdy A., Deogun J. S. Wireless optical communications: a survey. *Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)'04, Atlanta, GA*. p.p. 2399–2404. Mar 2004.
- [12] Langer K.-D., Grubor J. Recent developments in optical wireless communications using infrared and visible light. *Proceedings of the 9th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON), Rome, Italy*. p.p. 146–151. July 2007.
- [13] Cano C., Pittolo A., Malone D., Lampe L., Tonello A. M., Dabak A. G. State of the art in power line communications from the applications to the medium. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*. Vol. 34. 1935–1952. July 2016.
- [14] Andrews L. C., Phillips R. L., Hopen C. Y. *Laser Beam Scintillation with Applications*. SPIE Publications. Vol. 99. 2001. DOI: <https://doi.org/10.1117/3.412858>
- [15] Baister G., Gatenby P. V. Pointing, acquisition and tracking for optical space communications. *Electronics & communication engineering journal*. Vol. 6(6). p.p. 271–280. 1994.
- [16] Davis C. C., Smolyaninov I. I., Milner S. D. Flexible optical wireless links and networks. *IEEE Communications Magazine*, Vol. 41(3). p.p. 51–57. 2003. DOI: 10.1109/MCOM.2003.1186545
- [17] Chan V.W. Some research directions for future integrated satellite and terrestrial networks. *Proceedings of the IEEE Military Communications Conference (MILCOM)'07, Orlando, FL*. p.p. 1–7. Oct. 2007. DOI: 10.1109/MILCOM.2007.4455067

List of references

- [1] Son I. K., Mao I. A survey of free space optical networks. *Digital Communications and Networks*. Vol. 3. p.p. 67–77. May 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dcan.2016.11.002>
- [2] Recommendation Y.4000/Y.2060 (06/12): Overview of the Internet of things [electronic resource]. – Access mode: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-I> (date of appeal: 05.12.2018).
- [3] Mochalov V. P. Method for analyzing the process of managing problems of a communication service management system on colored Petri nets / V. P. Mochalov, S. V. Yakovlev // *Avtomatizatsiya, telemekhanizatsiya i svyaz' v neftyanoy promyshlennosti*. – 2007. – № 8. – P. 39–42. (In Russian)

- [4] Mochalov V. P. Method of analysis of incident management processes of communication services management system based on Petri networks / V. P. Mochalov, S. V. Yakovlev // Infocommunication technologies. - 2007. T 5. - № 1. - P. 48-52. (In Russian)
- [5] Mochalov V. P. Development of fault-tolerant distributed control systems for telecommunication networks and services / V. P. Mochalov, E. I. Yambulatov, N. YU. Bratchenko, S. V. Yakovlev. – Stavropol: SKFU, 2015. – 147 p. (In Russian)
- [6] TM Forum website [electronic resource] – Access mode: <https://www.tmforum.org/> (date of appeal: 05.12.2018).
- [7] Mochalov V. P. Formalized description of the process of developing a system to support the operational and business activities of the operator / V. P. Mochalov, S. V. Yakovlev, D. V. Mochalov // Theory and technology of radio communication. - 2011. - № 4. - P. 108-112. (In Russian)
- [8] Slyusarev G.V. Analytical model of the system service orders operator / G. V. Slyusarev, V. P. Mochalov, S. V. Yakovlev, S. V. Gureev, A. A. Chulpanov, D. V. Mochalov // high technologies. - 2012. – Vol.13. No. 7. - P. 71-76. (In Russian)
- [9] Mochalov V. P. Development of a process-oriented quality management system for information and communication services based on the NGOSS concept / V. P. Mochalov, N. Yu. Bratchenko, N. I. Chervyakov, S. V. Yakovlev. – Stavropol: SCFU, 2013. – 180 p.
- [10] Karafolas N. Optical satellite networks. Lightwave Technology, IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology. Vol. 18. p.p. 1792–1806. Dec 2000. DOI: 10.1109/50.908734
- [11] Mahdy A., Deogun J. S. Wireless optical communications: a survey. Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)'04, Atlanta, GA. p.p. 2399–2404. Mar 2004.
- [12] Langer K.-D., Grubor J. Recent developments in optical wireless communications using infrared and visible light. Proceedings of the 9th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON), Rome, Italy. p.p. 146–151. July 2007.
- [13] Cano C., Pittolo A., Malone D., Lampe L., Tonello A. M., Dabak A. G. State of the art in power line communications from the applications to the medium. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. Vol. 34. 1935–1952. July 2016.
- [14] Andrews L. C., Phillips R. L., Hopen C. Y. Laser Beam Scintillation with Applications. SPIE Publications. Vol. 99. 2001. DOI: <https://doi.org/10.1117/3.412858>
- [15] Baister G., Gatenby P. V. Pointing, acquisition and tracking for optical space communications. Electronics & communication engineering journal. Vol. 6(6). p.p. 271–280. 1994.
- [16] Davis C. C., Smolyaninov I. I., Milner S. D. Flexible optical wireless links and networks. IEEE Communications Magazine, Vol. 41(3). p.p. 51–57. 2003. DOI: 10.1109/MCOM.2003.1186545
- [17] Chan V.W. Some research directions for future integrated satellite and terrestrial networks. Proceedings of the IEEE Military Communications Conference

(MILCOM)'07, Orlando, FL. p.p. 1-7. Oct. 2007. DOI:
10.1109/MILCOM.2007.4455067

СИНХРОННЫЕ И АСИНХРОННЫЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

Ширяев Егор Михайлович¹
ea_or@list.ru

Голимблевская Елена Игоревна¹
elena.golimblevskaya@gmail.com

Безуглова Екатерина Сергеевна¹
bezyglovakat13@mail.ru

Самус Михаил Владимирович²
кандидат технических наук, доцент
samusm@yandex.ru

¹ Северо-Кавказский Федеральный Университет, Ставрополь, 355029, Россия

² Северо-Кавказский Федеральный Университет, Ставрополь, 355029, Россия

Аннотация

Связь, в своем понимании, как системы коммуникации, является важной частью жизни современного общества. В знакомом нам виде связь начинает свою историю с телеграфа и приходит в наш век в виде Интернета. Со временем развития коммуникаций данное направление улучшалось на множество ветвей, различные технологии развивались параллельно друг другу, отходя от исключительно проводных телеграфов к радиопередаче, и возвращаясь обратно к проводной передаче информации, как подводные оптоволоконные кабели. Кроме того, с научно-техническим прогрессом, для связи серьезными переменами является появление цифровых технологий. До этого связь существовала исключительно в аналоговом виде. При появлении цифровых технологий использовался такой способ передачи данных как асинхронный. Позже появился синхронный способ передачи данных. Однако не существует единого мнения, какой способ построения систем связи является наиболее практичным, в Российской Федерации имеются ГОСТ на каждый метод. В данной статье будет проведен анализ асинхронных и синхронных методов

передачи данных, исследованы их требования к построению сети, эффективность и сложность эксплуатации и работы системы. Методами исследования способов передачи данных будет анализ научных работ, технической документации по данной тематике и оборудования для организации передачи. Забегая вперед, исследования привели к неоднозначному выводу, однако, с технологической точки зрения, синхронный способ передачи данных является наиболее развитым.

Abstract

Communication as communication systems is an essential part of the life of modern society. In a familiar form, communication begins its story from the telegraph and comes into our century as the Internet. With the development of communications this direction has evolved into many branches, various technologies have evolved parallel to each other, departing from exclusively wired telegraphs to the radio program, returning back to wired information transmission, like submarine fiber-optic cables. In addition, with the scientific and technological progress, major changes for communicating became the emergence of digital technology. Previously connection existed exclusively in analog form. With the advent of digital technology, this data transferred by an asynchronous transfer method. Later the synchronous method of data transfer appeared. However, there is no consensus what method of building communication systems is the most practical, in the Russian Federation there are GOST for each method. In this article will be analyzed the asynchronous and synchronous data transfer methods, investigated their requirements for building a network, the effectiveness and complexity of the operation and operation of the system. Researching data transfer methods will be analyzing of scientific works, technical documentation on the subject and equipment for organizing the transfer. Looking ahead, research has led to an ambiguous conclusion, but from a technological point of view, the synchronous method of data transfer is the most developed.

Ключевые слова: Системы передачи данных, асинхронные передачи данных, синхронные передачи данных, цифровая передача данных, краевые искажения, синхросигнал, тактовый генератор, модуляция сигнала.

Keywords: Data transfer systems, asynchronous data transfer, synchronous data transfer, digital data transfer, edge distortion, clock signal, clock generator, signal modulation.

1 Введение

Различные сети вобрала в себя различные аппаратурные и программные объекты, которые работают совместно при приеме и передаче данных. Огромное количество объектов сетей взаимодействуют друг с другом, исходя из общепринятых правил.

Цифровая связь – это область техники, отвечающая за передачу цифровых данных и сигналов на расстояние, используя дискретные состояния. Эти данные существуют как последовательности чисел во времени. Обычно используются два числа, 0 и 1. [1]

Электросвязь – заранее созданная конструкция, итогом деятельности которой является передача информации из источника информации в приемник, что позволяет изменить точку воспроизведения. Указанным итогом является информация, которая понимается в техническом аспекте, как совокупность обработанных символов, чисел, различных объектов и параметров. Информация есть то, без чего не могут быть решены общечеловеческие проблемы, она обеспечивает выживание и нормальное состояние людей. [1]

Телеграф является не только самой ранней формой электрической связи, но и цифровой. Был сконструирован Сэмюелем Морзе и представлен в 1837 году, также Морзе является изобретателем двоичного кода переменной длины.

В 1875 году Эмиль Бодо создал код для телеграфной связи, в котором каждая буква стала двоичным кодом, имевшим фиксированную длину.

Несмотря на то, что Морзе является создателем телеграфной связи – первой электрической системы цифровой связи, но ее родоначальником является Найквист, именно в его работах поднимается проблема передачи сигнала с максимальной скоростью по телеграфному каналу, которая позже была выведена и получила название «Скорость Найквиста».

Ральф Хартли занимался рассмотрением вопросов связанных с количеством данных, которые можно передавать по каналу. Его исследования показали, что имеется такая максимальная скорость передачи данных с ограниченным числом частот, которая зависит от величины и максимальной амплитуды сигнала.

Нельзя также не оценить вклад Винера, который обратил внимание на проблему оценивания полезного сигнала на фоне аддитивного шума. Результатом его деятельности стало определение «Оптимального линейного (Винеровский) фильтра».

Далее Клодом Шенноном были установлены основы передачи информации по каналам связи в математике, это стало базовыми ограничениями для систем цифровой связи. Шеннон также вывел и доказал пропускную способность канала. Далее ученым была найдена универсальная логарифмическая мера для количества информации источника. Нельзя также не упомянуть, что позже Шеннон установил предельный показатель – пропускную способность канала. Шеннона можно по праву назвать отцом «теории информации», которая является ограничением передачи информации.

2 Постановка задачи

Целью исследований является определение оптимального способа построения системы коммутации. Проводятся данные исследования будут с помощью изучения литературы по данным методам связи, их характеристикам и моделям данных сетей, а так же изучения оборудован

В случае асинхронной передачи данных передатчик и приемник не зависят друг от друга. Передача данных может осуществляться в любое время. Чтобы реализовать прием данных приемником, в начале и в конце кодового элемента идут определенные последовательности битов. В пример можно поставить обмен информацией между такими устройствами, как компьютер и его клавиатура. Ввод информации в таком случае будет происходить неравномерно по времени, с паузами различной длины.

Изначально выбирается скорость передачи, благодаря которой задается частота опроса. Эта частота бывает в 16 раз выше, чем скорость передачи данных. Это необходимо для того, чтобы точно определить длительность и положение начальной последовательности битов.

Впоследствии приемник может определить биты данных, опрашивая канал в моменты времени, которые будут означать середине бита передаваемых данных. Для каждого последующего такта определяется добавление значения длительности бита. Началом служит середина стартового бита (рис. 1). Если взять как пример восьмибитную последовательность, то такой опрос производится для всех восьми битов, а во время девятого временного интервала происходит финальная выборка. Она осуществляется, чтобы выявить стоповый бит и выяснить, сохранилась ли синхронизация в течение передачи сообщения. [2]

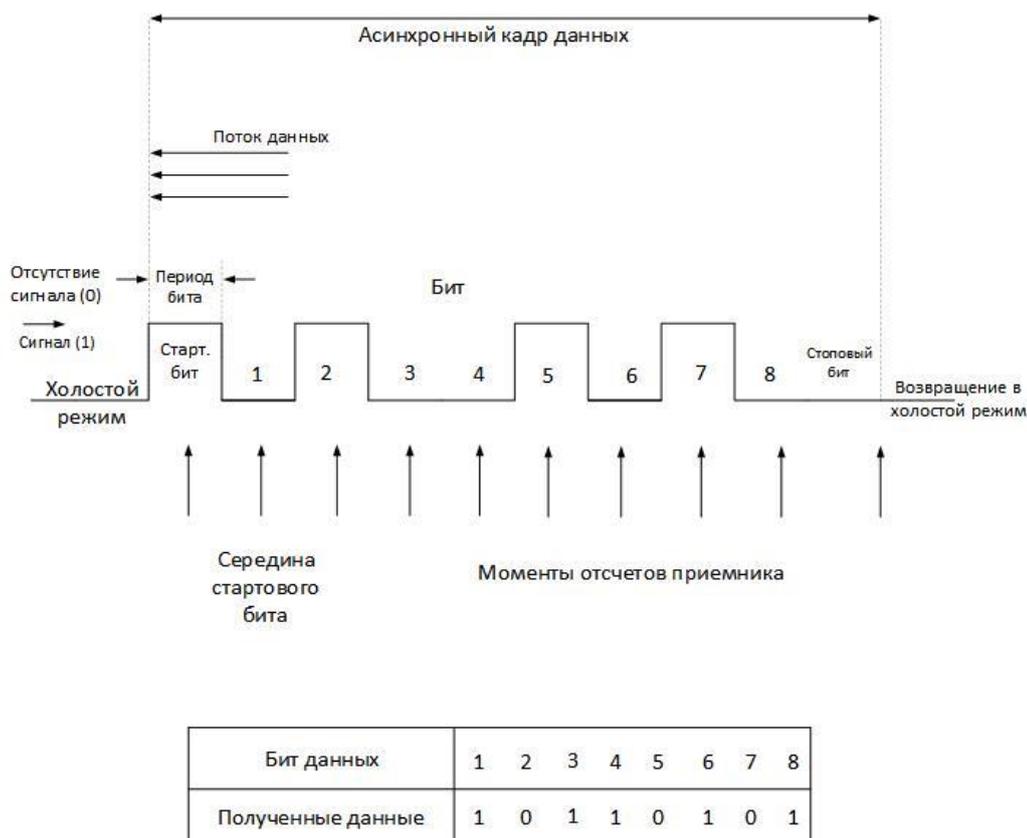


Рисунок 1. Асинхронная передача данных.

В этом случае передатчик и приемник изначально синхронизируются, и во время передачи данных поддерживают это состояние. Это осуществляется с помощью особых схем кодирования данных, один из примеров которых это манчестерское кодирование. Эти схемы позволяют записывать в поток передаваемых данных тактовые сигналы передатчика. Таким образом, синхронизация сохраняется при передаче всего сообщения от начала до конца, а оно, в свою очередь, может содержать в себе 4500 байтов. Синхронный метод позволяет быстро передавать большие объемы данных. Рассматриваемая система отправляет множество символов, упакованных вместе, непрерывным потоком. Такой поток обозначается блоком. Каждый блок имеет заголовок, который содержит стартовый ограничитель для начальной синхронизации и необходимую информацию о блоке данных, а также конечный элемент, необходимый для удостоверения правильности переданных данных (рис. 2). [3]



Рисунок 2. Синхронная передача данных.

3 Разработка методики

Основываясь на выше озвученных данных, проводится исследование способов цифровой передачи данных. Исходя из особенностей построения сетей связи, наибольшая простота построения сети наблюдается при использовании асинхронного метода передачи данных. Так как асинхронный метод передачи данных использовался до появления цифровых технологий, таких как, например, «Телетайп», можно решить, что данная технология морально себя изжила. Однако, в эпоху цифровых технологий асинхронный метод передачи данных так же используется. В промышленных сетях автоматизации используются такие стандарты как RS-232 и пришедший ему на смену RS-485. Так как стандарт RS-485 или EIA/TIA-485 является самым популярным для асинхронной передачи данных, исследование мы будем проводить с его помощью.

Данный стандарт при передаче предоставляет электрические и временные характеристики интерфейса, однако не предоставляет ни параметры качества сигнала, не тип кабелей, соединителей развязки. Также он не несет в себе информацию о протоколе обмена.

Электрические и временные характеристики интерфейса RS-485

- До 32 приёмопередатчиков в одном сегменте сети.
- Максимальная длина одного сегмента сети: 1200 метров.
- В один момент активным может быть только один передатчик.
- Максимальное количество узлов в сети – 256, с учётом магистральных усилителей.
- Характеристика скорость обмена/длина линии связи:
- 62,5 кбит/с 1200 м (одна витая пара),
- 375 кбит/с 500 м (одна витая пара),
- 500 кбит/с,
- 1000 кбит/с,
- 2400 кбит/с 100 м (две витых пары),
- 10000 кбит/с 10 м.

Исходя из данных характеристик, можно заключить, что на расстояниях передачи до 10 м на территории одного предприятия можно развить скорость до 10 мбит/с. Затраты на

оборудования при этом будут заключаться в покупке кабелей и разветвительных коробок, при условии, что все рабочие машины готовы к передаче данных стандарта RS-485. [4]

Для синхронной передачи данных мы рассмотрим, во-первых, MLT-3, во-вторых, стандарт Fast Ethernet, который его использует.

В MLT-3 используются три уровня линейного сигнала: «-1», «0», «+1». Логической единице соответствует явный переход между уровнями сигнала. Логическому нулю же соответствует отсутствие перехода между уровнями сигнала.

При передаче последовательности единиц период изменения уровня сигнала включает четыре бита. В этом случае $f_0=N/4$ (Гц). Это максимальная основная частота сигнала в коде MLT-3. В случае чередующейся последовательности нулей и единиц основная гармоника сигнала находится на частоте $f_0=N/8$ (Гц)

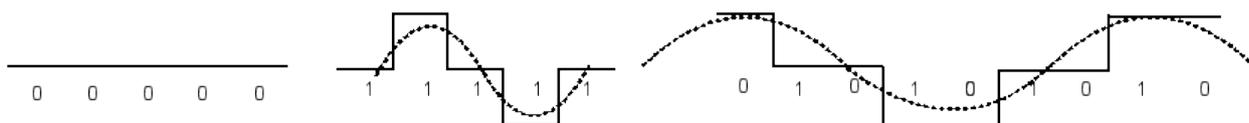


Рисунок 3. Сигнал в коде MLT-3.

Логическое кодирование выполняется передатчиком до физического кодирования, рассмотренного выше, обычно средствами физического уровня. На этапе логического кодирования происходит исправление недостатков физического цифрового кодирования – отсутствие синхронизации и наличие постоянной составляющей. Таким образом, сначала с помощью средств логического кодирования формируются синхронная передача данных. Однако, как синхронность, так и наличие постоянности требуется поддерживать различными устройствами. [5]

Кроме того, Fast Ethernet использует для передачи данных витую пару UTP Cat.5 (5e) и разъемы 8P8C, что добавляет определенные требования к сети.

Электрические характеристики UTP Cat.5 (5e)

- Нет ограничений приёмопередатчиков в одном сегменте сети.
- Максимальная длина одного сегмента сети: до 100 м.
- Максимальное количество узлов в сети – так же не является ограниченным. Границы в этом случае – средства для создания сети
- Характеристика скорость обмена/длина линии связи:
- скорость до 1000 Мбит/с.

При высокой скорости и пропускной способности системы появляется высокая степень расходов на оборудование. Исходя из проведенных исследований, требуется провести анализ полученных результатов. Он будет заключаться в сравнении наиболее важных характеристик сети, таких как: сложность построения, скорость передачи данных, надежность сети и стоимость построения.

Проведя исследование методов связи, были выделены факторы отражающие основы построения данных сетей связи, их особенности.

4 Результаты

Результаты проведенных исследований показали определенные результаты можно привести в виде графиков, на основе которых будет отображена оценка эффективности построения данных сетей. Сравнение скорости передачи данных можно произвести на основе следующего графика.

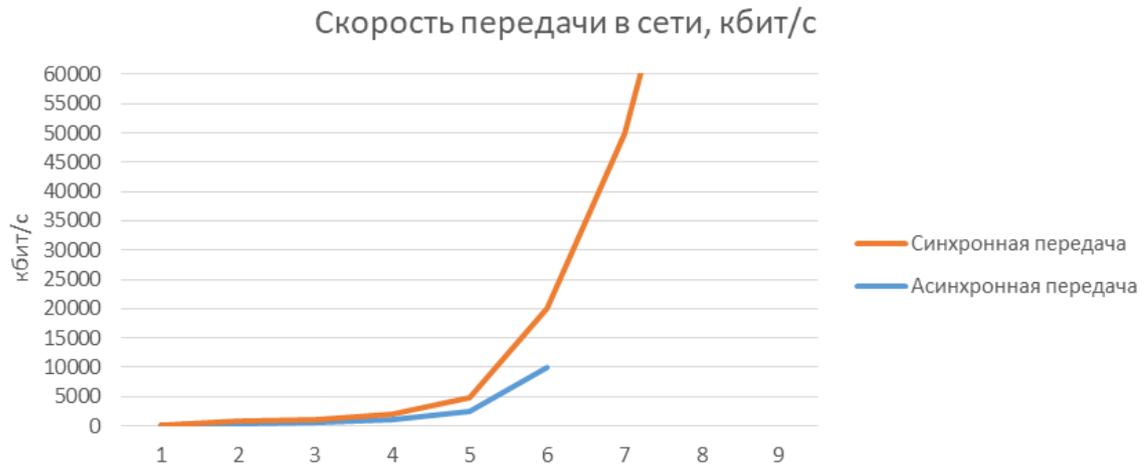


Рисунок 4. График соотношения скорости синхронной и асинхронной передачи данных.

Как видно из графика, максимальная скорость в синхронных методах передачи данных превышает асинхронную в несколько раз, что определенно указывает на то, что синхронные методы передачи данных, рассмотренные на примере Fast Ethernet, уже опережает стандарт RS-485 на несколько поколений, не говоря уже о более современных и дорогих технологиях. Кроме того, RS-485 имеет ограничение на количество приемопередатчиков, когда как Fast Ethernet таких не имеет.

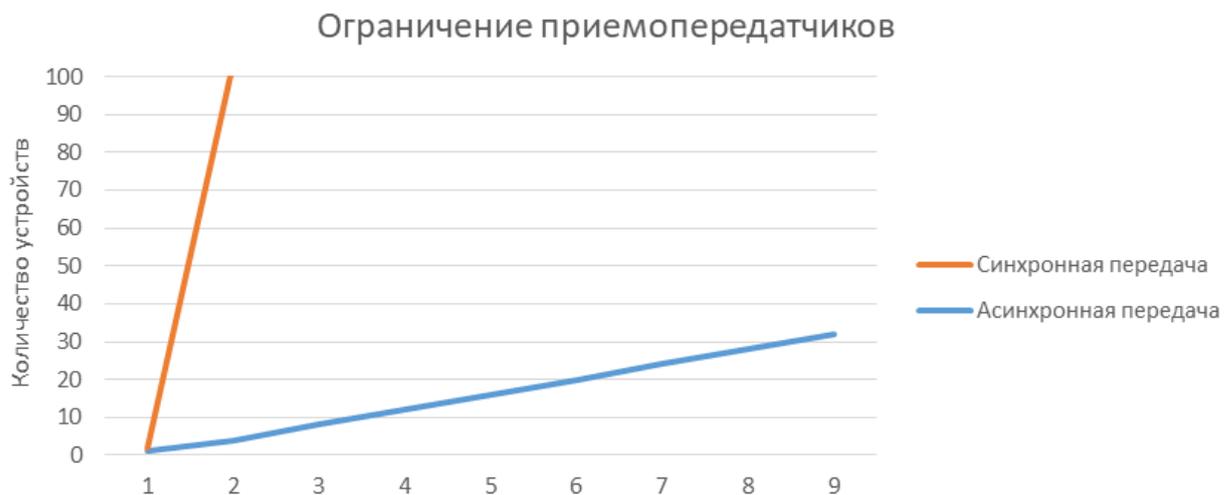


Рисунок 5. График соотношения количества устройств синхронной и асинхронной передачи данных.

Однако асинхронная сеть имеет свои преимущества. Построить данную сеть будет дешевле. Сравнение цен, взятых с интернет-магазина OZON.ru, представлено на диаграмме ниже.



Рисунок 6. Диаграмма цен.

5 Обсуждение

На основе вышеизложенного материала можно сказать, что синхронные сети, несомненно, имеют большую скорость передачи данных, нежели асинхронные. Но проблема заключается в том, что они сложнее и требуют более дорогостоящее оборудование. Для предприятий, где требуется высокая скорость и качество сети, а также существует потребность в большом объеме приемно-передающих станций, количество которых выходит за пределы стандарта RS-485, необходимо использовать синхронные методы передачи данных. Тогда как на предприятиях с малой плотностью потока данных, а также где их скорость зачастую неважна или необходимо отсутствие промежуточного оборудования, применяется асинхронный метод передачи данных. [6]

При необходимости существует возможность гибридного использования обеих этих систем, что позволит добиться достаточно высокой скорости передачи данных и одновременно меньшей стоимости и сложности системы.

6 Заключение

Исходя из проведенных выше исследований можно заключить, что асинхронные методы передачи данных морально устарели, а синхронные методы подняли качество передачи данных на новый уровень. Однако, вместе с тем, выросла цена и сложность построения сети, что создает некие трудности для предприятий, которые имеют сильно ограниченный бюджет. Поэтому, в реальности асинхронные методы все так же применяются на больших производствах, где требуется система связи, и материальная база не позволяет перейти на современные методы передачи данных. Также применяются гибридные способы построения сети, где связь с "внешним миром" осуществляется с помощью синхронных методов передачи данных, а инфраструктура внутри предприятия строится на основе асинхронной передачи данных. Все же, с развитием технологий асинхронные методы передачи данных изживут себя, а оборудование для них перестанет выпускаться, и стандарты синхронной передачи данных полностью завладеют данным рынком.

7 Используемая литература

- [1] Нефедов В.И., Сигов А.С. Теория электросвязи. Москва: Издательство ЮРАЙТ, 2017 – 495 с.
- [2] Дэвид Бейли, Эдвин Райт Волоконная оптика. Теория и практика. Москва: Издательство КУДИЦ-Пресс, 2008 – 320 с.
- [3] В. П. Шувалов, Н. В. Захарченко, В. О. Шварцман и др. ; Под ред. В. П. Шувалова. Передача дискретных сообщений: Учебник для вузов. Москва: Издательство Радио и Связь, 1990 – 464 с.
- [4] Слепов Н.Н. Синхронные цифровые сети SDH. - Москва: Издательство Эко-Трендз, 1998 – 148с.
- [5] Яшкадин В.Л. RS-485 - стандарт передачи данных по последовательному симметричному каналу. - SoftElectro 2009.
- [6] Гольдштейн Б. С. Протоколы сети доступа. Санкт-Петербург: Издательство БХВ-Петербург, 2005 – 288 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ СВЯЗИ

Скоробогатова А. В.
skoalyona@yandex.ru

Михайленко Т. В.
tatyanka_mir@mail.ru

Сулова Е. А.
petrova.zhenya.scc@mail.ru

Гиргель Г. В.
boichuk_galina@mail.ru

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»,
г. Ставрополь, 355037, Россия

Аннотация

Предполагается, что цифровая трансформация отрасли связи принесет глубокие изменения в вопросы связанные с предоставлением и управлением телекоммуникационными услугами. При переходе на автоматизированное цифровое управление сетями и услугами коммуникационные провайдеры должны искать новые показатели для мониторинга этих сетей. Рассмотрены основные направления цифровизации отрасли связи, разрабатываемые при непосредственном участии специалистов ТМ Forum. Проанализированы необходимость и особенности цифровизации процессов поставщика услуг связи. Определены характеристики, которыми должны обладать показатели и результаты измерений. Представлена модель цифровой зрелости, которая оценивает готовность и эффективность предприятия в его цифровом путешествии. Отдельно рассмотрены показатели для вычислительных систем, веб-сайтов и цифровых платформ и экосистем.

Abstract

It is assumed that the digital transformation of the telecommunications industry will bring profound changes to the issues related to the provision and management of telecommunications services. When switching to automated

digital management of networks and services, communication providers should look for new indicators to monitor these networks. The main directions of digitalization of the communications industry, developed with the direct participation of TM Forum specialists, are considered. Analyzed the need and features of the digitalization of communication service provider processes. The characteristics that indicators and measurement results should have are determined. A model of digital maturity is presented, which assesses the readiness and efficiency of an enterprise in its digital journey. Separately considered indicators for computing systems, websites and digital platforms and ecosystems.

Ключевые слова: цифровая трансформация, поставщик услуг связи, модель цифровой зрелости, показатель, бизнес-процесс, измеряемая величина, производительность, улучшение

Keywords: digital transformation, communication service provider, digital maturity model, indicator, business process, measurable value, productivity, improvement

1 Введение

Предполагается, что цифровая трансформация (цифровизация) отрасли связи принесет глубокие изменения в вопросы связанные с предоставлением и управлением телекоммуникационными услугами [1, 2]. Современные аппаратные компоненты могут обеспечить достаточную вычислительную мощность и память, позволяя полностью виртуализировать многие процессы в программном обеспечении. Например, применение технологий программно-определяемых сетей (Software-Defined Networking, SDN), виртуализации сетевых функций (Network Functions Virtualization, NFV), а также использование сетевой аналитики (network analytics) обеспечивают беспрецедентную гибкость в конфигурации – предоставление услуг связи при оптимизации использования сетевых ресурсов. Будущие сети связи (Future Networks, FN) будут полностью автономными (самоорганизующимися, самовосстанавливающимися, самозащищенными и самооптимизирующимся) [3].

Существующие подходы к управлению сетями и услугами связи, основанные методологии NGOSS [4–9] не позволяют полностью обеспечить эффективное предоставление перспективных инфокоммуникационных услуг. Международная некоммерческая ассоциация TM Forum (Tele Management Forum), объединяющая предприятия электросвязи и их поставщиков, помогает своим участникам трансформироваться в успешные цифровые предприятия [10].

2 Направления цифровизации отрасли связи

При непосредственном участии специалистов TM Forum [10] в телекоммуникационной отрасли разрабатываются новые решения, в том числе [1]:

1. Интерфейсы прикладного программирования (APIs, Applications Programming Interface) – набор способов, с помощью которых компьютерные программы взаимодействуют друг с другом. Использование API позволяет реализовать стандартизованный и безопасный доступ к услугам электросвязи. Данная технология поддерживает метод предоставления видеослужб через Интернет – OTT (Over the Top) для различных типов пользователей, и может быть использована для оптовых продаж других приложений.
2. Цифровые платформы (Digital Platforms) – это универсальные торговые площадки, соединяющие цифровых производителей с потребителями. Примеры реализации: умный город (Smart City), беспилотные транспортные средства (Autonomous Vehicles) и предоставление потокового видео ультравысокого разрешения (Ultra-High Resolution Video Streaming Services). Цифровые платформы напоминают операционные системы и обычно размещаются в облаках.
3. Цифровые бизнес-модели (Digital Business Models) часто формируются по принципу «все-как-услуга» – XaaS (Anything-s-a-service), где X может быть платформой, инфраструктурой, сетью, программным обеспечением или чем-либо еще.
4. Цифровые экосистемы (Digital Ecosystems) являются комплексными решениями и стратегиями предоставления цифровых услуг. Они определяют организацию архитектур, инфраструктур, интерфейсов, политик и определений сервисов.
5. Системы поддержки операционной деятельности и бизнеса (Operations and Business Support Systems, OSS/BSS) – основанные на политиках автономные системы, поддерживающие ключевые процессы и бизнес-модели предприятий связи. Они включают системы для прогнозной аналитики (predictive analytics), интеллектуального анализа бизнес-данных (business intelligence) и управления взаимоотношениями с клиентами (Customer Relationship Management, CRM).
6. Сети пятого поколения мобильной связи (5G networks) нацелены на поддержку различных прикладных областей с совершенно разными требованиями: сверхширокополосный мобильный доступ (enhanced Mobile Broadband, eMBB), ультранадежная связь с низкими задержками (Ultra-Reliable and Low Latency Communications, URLLC), массовое подключение различных датчиков и устройств Интернета вещей (massive Machine Type Communications, mMTC).
7. Цифровая дорожная карта (Digital Roadmap) – это стратегия цифровой трансформации предприятия, направленная на полностью цифровой мониторинг и управление его процессами и операциями.
8. Интернет всего (Internet of Everything, IoE) – это совокупность взаимосвязанных цифровых платформ и интернета вещей: (Internet of Things, IoT) в рамках различных иерархий обслуживания и производства. Основным драйвером развития IoE является клиентский опыт (customer experience) и эффективное использование инфраструктуры и других ресурсов.

9. Периферийные (туманные) вычисления (edge (fog) computing) реализуют отдаленный мониторинг и обработку данных непосредственно на краях сети, доводя их до потребителей, для минимизации задержек и снижения нагрузки основной сети.
10. Кибер-физические системы (Cyber-physical systems) – информационно-технологическая концепция, подразумевающая интеграцию вычислительных ресурсов в физические процессы. Это позволяет существенно повысить эффективность процессов лежащих в основе физических систем, а также улучшить бизнес-процессы и клиентский опыт.

3 Особенности цифровизации процессов поставщика услуг связи

Объем доходов поставщиков услуг связи (Communication Service Providers, CSPs) в телекоммуникационной отрасли снижается, о чем свидетельствуют сокращения средних доходов на одного пользователя (Average Revenue Per User, ARPU) [11]. Большие доходы, получаемые от передачи голоса и сообщений сменились существенной прибылью получаемой на предоставлении цифрового контента, который предлагают популярные приложения ОТТ. Таким образом, наличие подключения к сети и инфраструктуры аналогичное провайдеру интернет-услуг (Internet Service Providers, ISP), уже недостаточно. Сегодня поставщики услуг связи должны использовать возможности подключения для предоставления услуг на новых бизнес-условиях и потребительских рынках – B2C (Business-to-Consumer) и B2B (Business-to-Business). Это создает для поставщиков услуг связи условия для использования возможностей получения, обработки и генерации данных, для стимулирования использования инноваций, клиентского опыта и получения доходов, как поставщик цифровых услуг.

Привлечение и сохранение клиентской базы является важным аспектом выживания бизнеса. Повышается роль процессов взаимодействия с клиентами. Правильная интеграция и управление всеми каналами взаимодействия имеет решающее значение для качественного обслуживания клиентов. Маневренность и оперативность разработки новых приложений (по сути, всего бизнеса) достигается посредством использования модульности и микросервисов, к которым обращаются через APIs. Технологии микросервисов и APIs являются фундаментальными в создании цифровых облачных платформ. Цифровые платформы значительно сокращают препятствия, затраты и время на взаимодействие сторонних производителей для предоставления товаров и услуг ОТТ в веб-ориентированной экономике (рис. 1). Реализация процессов цифрового преобразования не является тривиальной задачей, но неизбежна для того, чтобы CSP оставались конкурентоспособными с цифровыми корпорациями (например, Google и Amazon), которые могут расширить в будущем свою деятельность от вычислений до предоставления услуг связи.

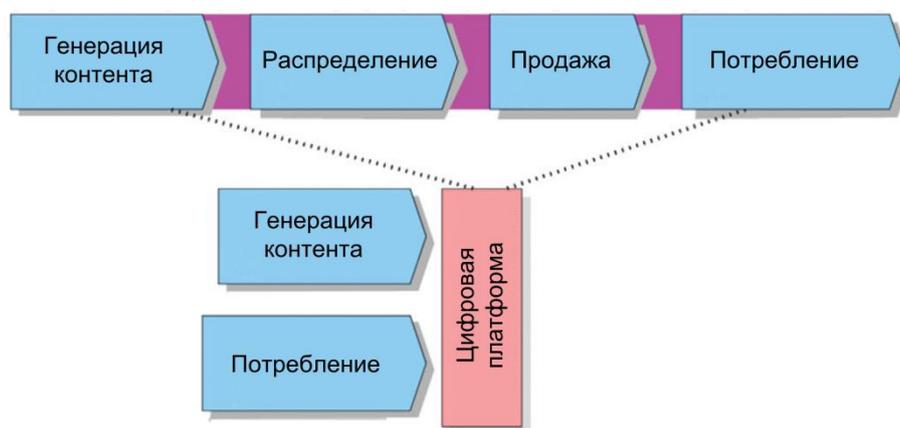


Рисунок 1. Сравнение принципов реализации различных бизнес-моделей [1].

Преимуществом поставщиков услуг связи является их предыдущий опыт в построении коммуникационной инфраструктуры, управлении связностью и анализе больших объемов клиентских и сетевых данных. Тем не менее, необходимость быстрой разработки телекоммуникационных систем создает множество деловых и технологических задач. Поэтому возникает потребность не в контроле, а в эффективной оценке (evaluate), проверке (validate), оптимизации (optimize) и оркестрации (orchestrate) этих все более сложных систем, на основе корректно подобранных показателей или метрик (metrics) и правильно выполненных измерений (measurements).

Правильные показатели позволяют принимать обоснованные решения и определять долгосрочные стратегии компании связи, а также взаимодействие между различными заинтересованными сторонами, включая производителей оборудования, субподрядчиков, провайдеров инфраструктуры, поставщиков услуг, поставщиков контента, сетевых операторов, конечных пользователей, правительств и регулирующих органов.

Рассмотрим характеристики, которыми должны обладать показатели и результаты измерений [12, 13]:

- Точность (Accuracy): ошибки измерений и погрешности должны быть в допустимых пределах.
- Обоснованность (Validity): процесс и результат измерений должны быть проверены на правильность.
- Осуществимость (Feasibility): результаты измерений должны собираться как можно чаще.
- Надежность (Robustness): на качество измерений не влияют изменения условий.
- Эффективность (Efficiency): процесс измерений не должен потреблять слишком много системных ресурсов.
- Желательность (Desirability): результаты измерений должны быть востребованы при проектировании и эксплуатации.
- Жизнеспособность (Viability): результаты измерений должны явно обеспечивать измеримые преимущества.

Одной из основных целей проектирования технологических систем для предоставления услуг конечным пользователям является производительность. Ключевыми параметрами оценки производительности системы являются: доходы и прибыль (revenues and profits), опыт работы с клиентами (customer experience) и операционная эффективность (operational efficiency).

TM Forum предлагает онлайн-инструмент – модель цифровой зрелости (Digital Maturity Model) [10], которая оценивает готовность и эффективность предприятия в его цифровом путешествии. Данная модель учитывает пять основных параметров, 28 подпараметров и 179 критериев (рис. 2):

1. Клиент (Customer). Учет опыта клиентов, в котором они рассматривают организацию как своего цифрового партнера, используя свои предпочтительные каналы взаимодействия для управления своим подключенным будущим в автономном режиме.
2. Стратегия (Strategy). Особенности функционирования или трансформации бизнеса для увеличения конкурентного преимущества с помощью цифровых инициатив. Данный параметр является частью общей бизнес-стратегии.
3. Технология (Technology). Поддерживает успех цифровой стратегии, помогая создавать, обрабатывать, хранить, защищать и обмениваться данными для удовлетворения потребностей клиентов при низких затратах и накладных расходах.
4. Операции (Operations). Особенности выполнения и развития процессов и задач с использованием цифровых технологий для стратегического управления и повышения эффективности и результативности бизнеса.
5. Культура, люди и организация (Culture, People, and Organization). Формирование и развитие организационной культуры, процессов управления и талантов для поддержки развития цифровой техники и гибкости для достижения целей роста и инноваций.

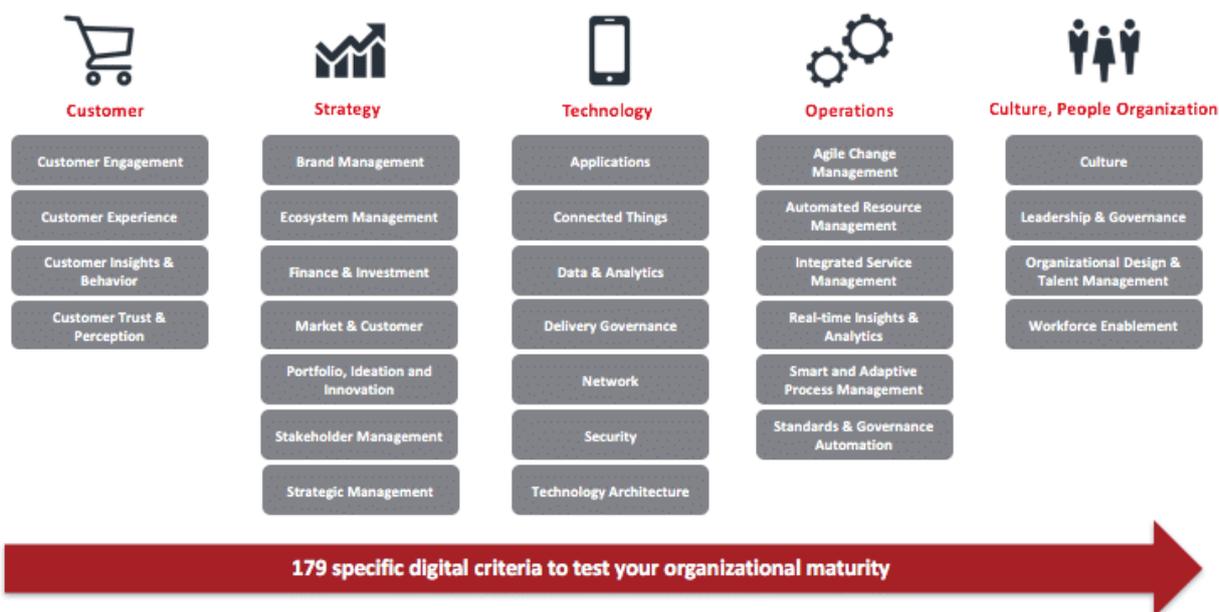


Рисунок 2. Модель цифровой зрелости (по материалам сайта <https://www.tmforum.org/>).

При использовании модели цифровой зрелости по каждому параметру присваивается оценка от 1 (начальные, специальные улучшения) до 5 (высоко оптимизированное цифровое предприятие).

4 Показатели для вычислительных систем

Многие вычислительные системы реализованы в облаках, и их доступ регулируется политиками безопасности и спроса, а также правилами приема. В этой области есть три основные группы: поставщики облачной инфраструктуры и приложений, сторонние поставщики приложений и контента и потребителей услуг. Для оценки технологических и бизнес-параметров вычислительных систем можно использовать следующие показатели [14].

1. Доступность услуги и системы (Service and system availability) – это процент времени, в течение которого система работает и может предоставлять услуги без снижения качества. Данный показатель может быть эквивалентен среднему времени восстановления после сбоя или среднему времени между отказами в течение определенного периода времени (месяц или год).
2. Надежность отклика (Response reliability) – это часть удовлетворительно обработанных запросов или результатов обслуживания.
3. Время отклика (Response time) – среднее время до получения ответа после генерации запроса. Поскольку время ответа может значительно увеличиваться в условиях большого количества запросов, балансировка нагрузки имеет решающее значение для обеспечения достаточной масштабируемости предоставления услуг. Аналогичная мера связана с задержкой для создания и настройки нового экземпляра вычислений.

4. Угрозы и инциденты безопасности (Security threats and incidents), обнаруженные за единицу времени (например, месяц) являются признаком как привлекательности обслуживания для несанкционированного использования, так и уровня развернутых в системе механизмов обнаружения и предотвращения нарушений безопасности.
5. Производительность или пропускная способность (Throughput or bandwidth) – это количество транзакций или запросов, обрабатываемых за единицу времени (обычно, секунда). Данный показатель особенно важен для систем и служб, работающих в режиме реального времени или в больших масштабах. Для служб реального времени также полезно знать среднее время ожидания для повторных запросов.
6. Емкость или максимальное использование (Capacity or maximum utilization) – это способность системы одновременно обрабатывать все или большую часть запросов без задержки. Также этот показатель можно оценить по значению максимальной доступной вычислительной мощности или объему пространства для хранения рабочей нагрузки одного пользователя. Он также может быть выражен как масштабируемость, то есть максимальное количество запросов, обрабатываемых на любом заданном уровне. С другой стороны, эластичность системы позволяет масштабировать ресурсы в соответствии с общей текущей рабочей нагрузкой и запросами на обслуживание.
7. Вычислительная емкость и емкость памяти (Computing and storage capacity) измеряется либо количеством процессорных ядер, либо доступным объемом памяти, или на уровне вычислительных устройств, например количеством виртуальных серверов.
8. Стоимость одного запроса (Cost per request), на единицу рабочей нагрузки или на каждую учетную запись пользователя для всех поддерживающих, операционных и бизнес-процессов и любых других повторяющихся затрат, необходимых для предоставления согласованных услуг пользователям. В хорошо продуманной системе этот показатель со временем уменьшается по мере роста системы, поэтому уровень доходов и прибыли сохраняется или увеличивается.
9. Рентабельность капитала (Return on invested capital, ROIC) может выражаться в виде количества лет, пока общая прибыль, получаемая от предлагаемых услуг, не превысит всех затрат, накопленных от капиталовложений (operational expenditures, OpE).
10. Рост рыночной доли (Market share) может свидетельствовать о жизнеспособности бизнеса. Если он снижается, бизнес обычно неустойчив в отношении долгосрочных горизонтов.

5 Показатели для веб-сайтов

Веб-аналитика дает представление о том, как содержимое веб-сайта воспринимается онлайн-пользователями, и играет важную роль в эффективном распространении информации, онлайн-маркетинге и оптимизации трафика и веб-хостинга [15].

1. Трафик веб-сайта (Website traffic) указывает на характер изменения количества онлайн-посещений (рост, застой или снижение). Его можно использовать для оценки последних изменений в содержании веб-сайта и его эффективности для привлечения

- пользователей. Также полезно разбивать множество посетителей на новых, повторяющихся, возвращающихся и уникальных.
2. Источники трафика (Traffic sources) показывают, откуда происходят запросы. Они могут поступать от поисковых систем, реферальных, социальных или других веб-сайтов или напрямую. Этот показатель часто важен для оценки стратегии оптимизации поисковой системы (Search Engine Optimization, SEO).
 3. Показатель отказов (Bounce rate) – это процент посетителей, которые видят только одну страницу, а не просматривают другие страницы на веб-сайте, за исключением начальной или целевой страницы.
 4. Количество акций (Number of shares) в социальных сетях является косвенным признаком популярности страницы или опубликованной статьи.
 5. Коэффициент переходов (Conversion rate) – это отношение уникальных посетителей к количеству переходов, когда посетители выполняют какое-либо действие, например посещение рекомендуемого сайта, подписка на услугу или приобретение продукта. Поэтому это одна из самых важных мер в Интернете – полезность сайта. Отслеживание переходов позволяет нам оценивать другие показатели, такие как стоимость посещения и стоимость перехода.

6 Показатели для цифровых платформ и экосистем

Сложности возникающие в цифровых экосистемах огромны. Количество показателей, которые необходимо учитывать для сложных систем, обычно очень велико. Поэтому важно разработать систему управления для систематической регистрации, классификации, обновления, поиска и иных способов поддержки этих показателей. TM Forum разрабатывает всеобъемлющую структуру – Framework, охватывающую бизнес-процессы, приложения и управление информацией. Это полный набор стандартов и лучших практик для оценки и оптимизации производительности цифровых предприятий. Это ориентированная на обслуживание инфраструктура, которая стремится поддерживать обширные автоматизированные бизнес-процессы.

Методология Framework построена на двух краеугольных камнях: почти 3000 стандартизированных показателей, охватываемых отраслью, и API с открытым исходным кодом для поддержки интеграции разных платформ. Такой подход к цифровым экосистемам стимулирует инновации, одновременно уменьшая риски и сокращая время выхода на рынок. Повышение зрелости системы напрямую преобразуется в лучший клиентский опыт и снижает затраты.

Метрики Framework организованы в нескольких категориях: управление бизнесом (Business Metrics), управление качеством обслуживания клиентов (Customer Experience Management Metrics), кибер-операции (Cyber Ops Metrics), борьба с мошенничеством (Fraud Management Metrics) и кабельные операции (Cable Metrics). Категории бизнес-показателей представлены на рисунке 3.



Рисунок 3. Карта бизнес-показателей Frameworkx (по материалам сайта <https://www.tnforum.org/>).

Цифровая экосистема Frameworkx от TM Forum определяет богатые метаданные для каждого показателя в виде множества атрибутов. Атрибуты организованы в несколько разделов, и каждый раздел содержит несколько полей атрибутов. Примерами атрибутов, предоставляемых для каждой метрики, являются:

В разделе Обзор (Overview) дается краткое изложение основных атрибутов, таких как идентификатор метрики (Alt Frameworkx Metric ID), фактор ценности для бизнеса (Business Value Driver), возможность (Capability), отчетность подробно (Reporting Detail), точность (Accuracy), ответственность (Responsibility), период захвата (Capture Period), наследственное имя (Legacy Name), тип значения показателя (Metric Value Type), тип показателя (Metric Type).

Раздел Описание (Description) представляет собой текстовое резюме метрики, тогда как общие комментарии в передается в отдельный раздел.

Раздел Категория и тема (Category & Topic) классифицирует метрику в соответствии с ее основным типом, а затем три подкатегории в зависимости от целевой метрики, определенного типа и цели. Другие записи этом разделе – это уровень, состояние и тема метрики.

В разделе Ассоциации (Associations) дается подробная информация о том, где используется показатель. Сюда входят диаграммы, другие показатели, домены и документы.

Существуют и другие разделы для записи метрической математической формулы и используемых символов.

7 Заключение

Рассмотрены основные направления цифровизации отрасли связи, разрабатываемые при непосредственном участии специалистов TM Forum. Проанализированы необходимость и особенности цифровизации процессов поставщика услуг связи. Определены характеристики, которыми должны обладать показатели и результаты измерений. Представлена модель цифровой зрелости, которая оценивает готовность и эффективность предприятия в его цифровом путешествии. Отдельно рассмотрены показатели для вычислительных систем, веб-сайтов и цифровых платформ и экосистем.

Список используемой литературы

- [1] Al-Shehri S. M. et al. Metrics for Broadband Networks in the Context of the Digital Economies // Broadband Communications Networks-Recent Advances and Lessons from Practice. – IntechOpen, 2017.
- [2] Mochalov V. P., Bratchenko N. Yu., Yakovlev S. V., Gosteva D. V. Distributed Management System for Infocommunication Networks Based on TM Forum Framework. REMS 2018: Russian Federation & Europe Multidisciplinary Symposium on Computer Science and ICT, NCFU – North-Caucasus Federal University Stavropol, Russia, October 2018. [electronic resource] – Access mode: <http://ceur-ws.org/Vol-2254/> (date of appeal: 05.12.2018).
- [3] Росляков А. В. Будущие сети (Future Networks) / А. В. Росляков, С. В. Ваняшин. – Самара: ПГУТИ, 2015. – 274 с.
- [4] Мочалов В. П. Аналитическая модель для анализа состояния системы поддержки эксплуатации и бизнес-процессов оператора связи / В. П. Мочалов, С. В. Яковлев, Д. В. Мочалов // Теория и техника радиосвязи. – 2012. – № 1. – С. 45–49.
- [5] Мочалов В. П. Метод расчета процессно-ориентированных систем эксплуатационного управления оператора связи / В. П. Мочалов, С. В. Яковлев, Д. В. Мочалов // Теория и техника радиосвязи. – 2012. – № 3. – С. 94–100.
- [6] Слюсарев Г. В. Аналитическая модель системы обслуживания заказов оператора связи / Г. В. Слюсарев, В. П. Мочалов, С. В. Яковлев, С. В. Жубреев, А. А. Кульпинов, Д. В. Мочалов // Наукоемкие технологии. – 2012. – Т. 13. № 7. – С. 71–76.
- [7] Мочалов В. П. Алгоритм интеграции сетевых приложений распределенной системы управления инфокоммуникациями / В. П. Мочалов, С. В. Яковлев, Н. Ю. Братченко // Современная наука и инновации. – 2017. – № 3 (19). – С. 83–88.
- [8] Mochalov V. P., Bratchenko N. Yu., Yakovlev S. V. Analytical model of object request broker based on Corba standard. Journal of Physics: Conference Series, vol. 1015, № 2, p. 022012, May 2018. DOI: 10.1088/1742-6596/1015/2/022012.
- [9] Mochalov V. P., Bratchenko N. Y., Yakovlev S. V. Analytical Model of Integration System for Program Components of Distributed Object Applications. 2018 International

- Russian Automation Conference (RusAutoCon). IEEE. 9-16 Sept. 2018. DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2018.8501806
- [10] TM Forum website [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tmforum.org/> (дата обращения: 05.12.2018).
- [11] Digital transformation initiative: telecommunication industry. World Economic Forum website [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://reports.weforum.org/digital-transformation/wp-content/blogs.dir/94/mp/files/pages/files/dti-telecommunications-industry-white-paper.pdf> (дата обращения: 05.12.2018).
- [12] Al-Shehri S. M., Loskot P., Numanoglu T., Mert M. Common Metrics for Analyzing, Developing and Managing Telecommunication Networks // arXiv preprint arXiv:1707.03290. – 2017. [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1707/1707.03290.pdf> (дата обращения: 05.12.2018).
- [13] Eusgeld I., Freiling F. C., Reussner R. Dependability Metrics. Lecture Notes in Computer Science, Springer; 2008. 300 p. ISBN: 978-3-540-68947-8. DOI: 10.1007/978-3-540-68947-8
- [14] Google. Google Cloud Platform Monitoring. [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cloud.google.com/monitoring/api/metrics> (дата обращения: 05.12.2018).
- [15] Burby J., Brown A. WAA Standards Committee. Web analytics definitions // Washington DC: Web Analytics Association. – 2007. 34 p.

List of references

- [1] Al-Shehri S. M. et al. Metrics for Broadband Networks in the Context of the Digital Economies // Broadband Communications Networks-Recent Advances and Lessons from Practice. – IntechOpen, 2017.
- [2] Mochalov V. P., Bratchenko N. Yu., Yakovlev S. V., Gosteva D. V. Distributed Management System for Infocommunication Networks Based on TM Forum Framework. REMS 2018: Russian Federation & Europe Multidisciplinary Symposium on Computer Science and ICT, NCFU – North-Caucasus Federal University Stavropol, Russia, October 2018. [electronic resource] – Access mode: <http://ceur-ws.org/Vol-2254/> (date of appeal: 05.12.2018).
- [3] Roslyakov A.V. Future Networks / A. V. Roslyakov, S. V. Vanyashin. – Samara: PGUTI, 2015. – 274 p. (In Russian)
- [4] Mochalov V. P. Analytical model for analyzing the state of the operational support system and operator business processes / V. P. Mochalov, S. V. Yakovlev, D. V. Mochalov // Teoriya i tekhnika radiosvyazi. – 2012. – № 1. – P. 45–49. (In Russian)
- [5] Mochalov V. P. The method of calculating the process-oriented systems of the operator's operational management / V. P. Mochalov, S. V. Yakovlev, D. V. Mochalov // Teoriya i tekhnika radiosvyazi. – 2012. – № 3. – P. 94–100. (In Russian)

- [6] Slyusarev G.V. Analytical model of the system service orders operator / G. V. Slyusarev, V. P. Mochalov, S. V. Yakovlev, S. V. Gureev, A. A. Chulpanov, D. V. Mochalov // high technologies. - 2012. – Vol.13. No. 7. - P. 71-76. (In Russian)
- [7] Mochalov V. P. Algorithm of integration of network applications of distributed infocommunication management system / V. P. Mochalov, S. V. Yakovlev, N. Y. Bratchenko // *Sovremennaya nauka i innovatsii*. – 2017. – № 3 (19). – P. 83–88. (In Russian)
- [8] Mochalov V. P., Bratchenko N. Yu., Yakovlev S. V. Analytical model of object request broker based on Corba standard. *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1015, № 2, p. 022012, May 2018. DOI: 10.1088/1742-6596/1015/2/022012.
- [9] Mochalov V. P., Bratchenko N. Y., Yakovlev S. V. Analytical Model of Integration System for Program Components of Distributed Object Applications. 2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). IEEE. 9-16 Sept. 2018. DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2018.8501806
- [10] TM Forum website [electronic resource] – Access mode: <https://www.tmforum.org/> (date of appeal: 05.12.2018).
- [11] Digital transformation initiative: telecommunication industry. World Economic Forum website [electronic resource]. – Access mode: <http://reports.weforum.org/digital-transformation/wp-content/blogs.dir/94/mp/files/pages/files/dti-telecommunications-industry-white-paper.pdf> (date of appeal: 05.12.2018).
- [12] Al-Shehri S. M., Loskot P., Numanoglu T., Mert M. Common Metrics for Analyzing, Developing and Managing Telecommunication Networks // arXiv preprint arXiv:1707.03290. – 2017. [electronic resource]. – Access mode: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1707/1707.03290.pdf> (date of appeal: 05.12.2018).
- [13] Eusgeld I., Freiling F. C., Reussner R. Dependability Metrics. *Lecture Notes in Computer Science*, Springer; 2008. 300 p. ISBN: 978-3-540-68947-8. DOI: 10.1007/978-3-540-68947-8
- [14] Google. Google Cloud Platform Monitoring. [electronic resource]. – Режим доступа: <https://cloud.google.com/monitoring/api/metrics> (date of appeal: 05.12.2018).
- [15] Burby J., Brown A. WAA Standards Committee. *Web analytics definitions* // Washington DC: Web Analytics Association. – 2007. 34 p.

ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ СЕТЯМИ СВЯЗИ

Сурова Е. А.
petrova.zhenya.scc@mail.ru

Скоробогатова А. В.
skoalyona@yandex.ru

Михайленко Т. В.
tatyanka_mir@mail.ru

Чернышова Т. А.
icomm@ncfu.ru

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»,
г. Ставрополь, 355037, Россия

Аннотация

Поскольку энергетический кризис и защита окружающей среды в последние годы все больше беспокоят, новые научные темы для разработки технологических решений для энергосбережения изучаются по многим научным дисциплинам. В частности, из-за быстрого роста потребления энергии в ИКТ (информационные и коммуникационные технологии) большое внимание уделяется «зеленым» решениям в области ИКТ. Комплексный инструмент принятия решений, который включает в себя как денежные затраты, так и воздействие на окружающую среду, позволит поставщику услуг сделать финансовый и экологически обоснованный выбор. В статье рассмотрено влияние сетевых операций на окружающую среду, с использованием подхода, аналогичного тому, который обычно используют для оценки стоимости. Проведена оценка всего спектра сетевых операций, включая технологии, процессы и организацию, необходимые для работы сети. Обсуждаются также взаимозависимости выбора операций и методов снижения воздействия операций на окружающую среду.

Abstract

Since the energy crisis and environmental protection have become increasingly troubling in recent years, new scientific topics for developing technological solutions for energy conservation are being studied in many scientific disciplines. In particular, due to the rapid growth of energy consumption in ICT (information and communication technologies), much attention is paid to “green” ICT solutions. A comprehensive decision-making tool, which includes both monetary costs and environmental impact, will allow the service provider to make a financial and environmentally sound choice. The article discusses the impact of network operations on the environment, using an approach similar to the one that is commonly used to estimate the cost. An assessment of the entire spectrum of network operations, including technologies, processes and organization, necessary for the operation of the network. The interdependencies of the choice of operations and methods for reducing the environmental impact of operations are also discussed.

Ключевые слова: Green-коммуникации, принятие решений, Greenhouse Gas, OSS/BSS, Business Process Framework, модель, технология, процесс, сотрудник, энергосберегающие инфраструктуры, энергосберегающие приложения.

Keywords: Green communications, decision making, Greenhouse Gas, OSS/BSS, Business Process Framework, model, technology, process, employee, energy-saving infrastructures, energy-saving applications.

1 Введение

В последнее время поставщики телекоммуникационных услуг оценивают суммарную стоимость владения и эксплуатации сети, для определения влияния технологий на итоговую прибыль. Компании начинают учитывать решение экологических проблем, что добавляет новое измерение экологической ответственности в список критериев принятия решений, которые поставщик услуг должен учитывать. Комплексный инструмент принятия решений, включающий денежные затраты и воздействие на окружающую среду, позволит поставщику услуг сделать финансовый и экологически обоснованный выбор [1].

Для оценки углеродных выбросов можно использовать модель общего выброса углерода – Total Carbon Output (TCO₂), которая является расширением общей модели эксплуатационных расходов и текущих затрат на управление сетью для поставщиков услуг, обычно называемой моделью совокупной стоимости владения – Total Cost of Ownership (TCO). Основой для модели TCO₂ являются модели компонентов операционной

организации, производящих углерод. Компоненты подразделяются на технологические (элементы сети и системы поддержки), процессы и люди, необходимых для выполнения операций. Операционная модель учитывает предлагаемые услуги и кривые ожидаемого спроса абонентов для определения модели развития сетевых технологий и систем поддержки операций и бизнеса – OSS/BSS (Operations Support Systems/Business Support Systems). На рис. 1 показана связь модели TCO и модели TCO₂ с моделью операций, которая управляет ими обоими.

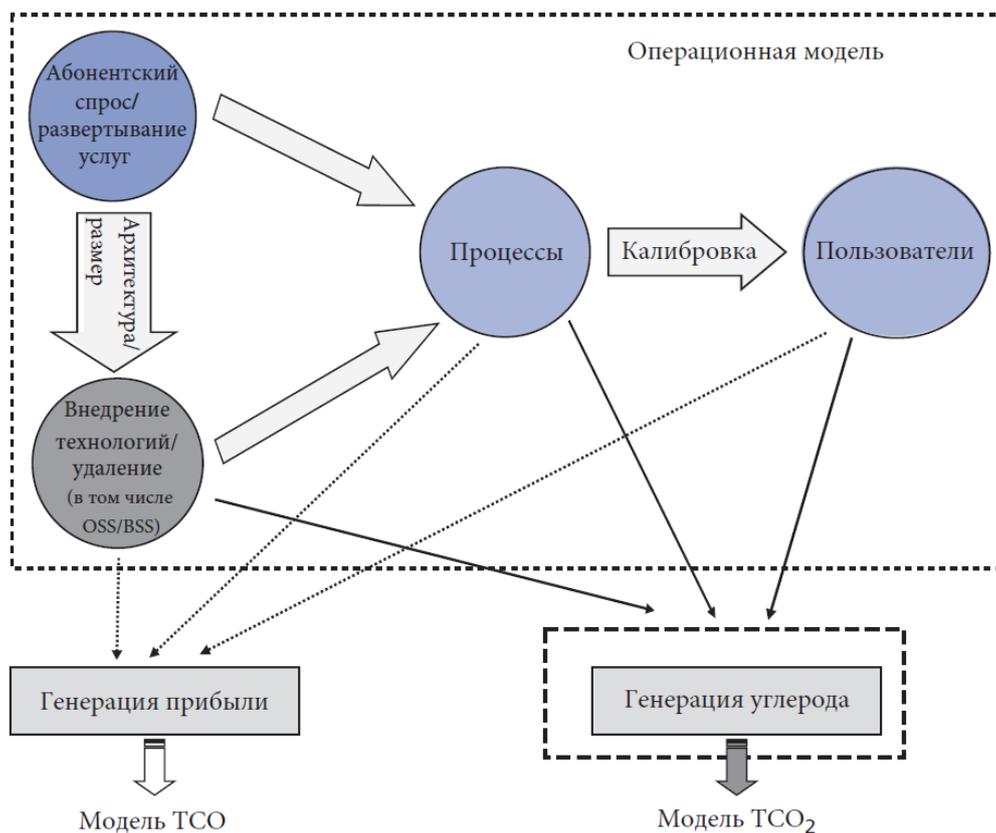


Рисунок 1. Связь моделей TCO и TCO₂ с OSS/BSS [1].

Стандартизацией систем поддержки операций и бизнеса занимается некоммерческая ассоциация TM Forum [2]. Направления работы TM Forum изначально были связаны с сетями следующего поколения (Next Generation Networks, NGN) [3–5] и системами управления операционной деятельностью нового поколения (New Generation Operations Systems and Software, NGOSS) [6–8]. Цель NGOSS – стандартизация бизнес-процессов операторов связи, определение форматов представления используемых в системах управления данных и интерфейсов взаимодействия со средой, куда будет интегрировано решение.

Будущие сети связи (Future networks, FN) [9–11] должны поддерживать предоставление широкого набора услуг, на основе использования огромного количества разнообразного сетевого оборудования, в том числе, нетрадиционного. Существующие системы управления сетями и услугами связи не позволяют полностью обеспечить эффективное предоставление

перспективных инфокоммуникационных услуг. Новые системы управления FN должны обеспечить функциональную гибкость для быстрого развертывания новых услуг, а также требуемые уровни конфиденциальности и безопасности.

Среда Business Process Framework (eTOM) является частью концепции Framework TM Forum [2] и описывает структуру бизнес-процессов компании связи (рис. 2).



Рисунок 2. Структура Business Process Framework [2].

Business Process Framework делит предприятие на четыре основные области (домены) процессов:

1. Стратегия, инфраструктура и продукт (Strategy, Infrastructure & Product). Планирование и управление жизненным циклом.
2. Операционная деятельность (Operations). Функции, непосредственно связанные с управлением клиентами, услугами и сетью.
3. Предприятие (Enterprise Domain). Корпоративная и бизнес поддержка.
4. Общие шаблоны процессов (Common Process Patterns Domain).

2 Особенности оценки выбросов парниковых газов

В документах [12, 13] представлены рекомендации при оценке выбросов парниковых газов (ПГ – GHG, Greenhouse Gas), связанных с использованием информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), где определены три области или сферы:

1. Прямые выбросы в результате собственных и контролируемых источников (например, печей, транспортных средств и других, связанных с ними предметов).
2. Непрямые выбросы парниковых газов, возникающие в результате производства приобретенной электроэнергии.
3. Другие косвенные выбросы ПГ, которые являются следствием деятельности организации (например, поездки сотрудников, производство используемых материалов и других сопутствующих предметов).

Рассмотрим основные источники выбросов парниковых газов.

Технологии

Основой сети связи является оборудование, на котором она построена. При анализе жизненного цикла оборудования можно учесть воздействие ресурсов, производства, складирования и распределения, установки, активного срока службы и расположения оборудования в конце срока службы [1]:

- Распределение и установка оборудования. Выбросы углерода от транспорта, инструментов и машин, используемых для установки оборудования.
- Активный срок службы оборудования. Выбросы углерода в основном от использования электричества, которое используется для питания и поддержания соответствующей среды для оборудования.
- Управление при истекшем сроке эксплуатации. Выбросы углерода при переработке, восстановлении и утилизации оборудования, а также инструменты и машины, используемые для удаления оборудования.

Процесс

Конкретные методы управления сетью подразумевают разную степень использования ресурсов и соответственно разные выбросы углерода. Большая часть процесса связана с компромиссом между стоимостью развертывания более сложных операционных систем или использованием большего количества персонала.

Полевые ремонтные или технологические операции требуют мобильной рабочей силы и парка легких грузовиков для доставки и ремонта. Модель ТСО₂ для технологических процессов концентрируется на следующих моментах:

- общем количестве физических сервисных поездок;
- диспетчеризации;
- размещении ресурсов центрального склада;
- эффективности автопарка.

Люди

Необходим персонал для организации управления на всех этапах жизненного цикла сети. Люди используют ресурсы и энергию (поездки, поездки на работу, бумагу, компьютеры, освещение и другие офисные помещения) при выполнении своей работы и, следовательно, оказывают существенное влияние на выбросы углерода в организации. Ключевые области в моделировании окружающей среды.

3 Выбросы парниковых газов от использования технологии

Выбросы парниковых газов, относящиеся к инфраструктуре технической поддержки поставщика услуг, представляет собой сумму выбросов CO₂ для поддержки всего оборудования в пределах границ исследования (например, часть сети, комбинация сетей или вся сеть). Влияние технической поддержки можно разделить на одноразовые (единовременные) и повторяющиеся компоненты. Все формулы в этом разделе основаны на выбросах углерода, связанных с одной единицей оборудования, и должны быть просуммированы по количеству единиц оборудования в исследовании.

Модель для единовременного выброса углерода модели TCO₂ для технологической поддержки имеет два основных подкомпонента [1]:

- выбросы CO₂, связанные с установкой оборудования, в том числе транспортировка на объект;
- выбросы CO₂, связанные с определенной выбранным вариантом утилизации.

$$C_O = C_{IN} + C_E;$$

$$C_{IN} = (M_{DI} \times G_V \times C_V) + (G_C \times C_V);$$

$$C_E = (P_{RC} \times C_{RC}) + (P_{RM} \times C_{RM}) + ((1 - (P_{RC} + P_{RM})) \times C_{DI}) + (M_{DI} \times G_V \times C_V),$$

где C_O – общий объем разового выброса углерода на единицу оборудования;

C_{IN} – объем выбросов углерода, связанный с установкой единицы оборудования (включая транспортировку);

C_E – объем выбросов углерода, связанный с управлением по окончании срока службы единицы оборудования;

M_{DI} – общее количество миль, связанных с транспортировкой для установки или демонтажа оборудования, пропорционально единице оборудования;

G_V – расход транспортным средством газа на милю пути в галлонах;

G_C – расход топлива по строительному оборудованию, пропорционально единице оборудования, в галлонах;

C_V – объем выбросов углерода в расчете на галлон по типу транспортного средства;

P_{RC} – процент перерабатываемого оборудования;

C_{RC} – объем выбросов углерода, связанный с переработкой оборудования;

P_{RM} – процент отремонтированного (восстановленного) оборудования;

C_{RM} – выброс углерода, связанный с ремонтом (восстановлением) оборудования;

$1 - (P_{RC} + P_{RM})$ – процент оборудования, которое утилизируется (не подвергается переработке или восстановлению);

C_{DI} – количество выбросов углерода, связанных с утилизацией оборудования.

Модель для повторяющихся выбросов углерода модели ТСО₂ для технологической поддержки учитывает нагрев и охлаждение оборудования и инфраструктуры здания, как показано ниже:

$$C_R = C_P + C_C + C_{IB};$$

$$C_P = (E_E + E_{PI}) \times C_E;$$

$$C_C = P_E \times E_E \times C_E,$$

где C_R – выход углерода при периодических выбросах за исследуемый период на единицу оборудования;

C_P – объем выбросов углерода при питании блока оборудования;

C_C – объем выбросов углерода при охлаждении блока оборудования;

C_{IB} – объем выбросов углерода при побочном потреблении энергии в здании (например, прихожая, освещение и отопление комнаты отдыха, а также мелкие бытовые приборы), пропорционально распределенный на единицу оборудования;

E_E – энергия, потребляемая блоком оборудования во время работы, в кВт/ч;

E_{PI} – энергия, потребляемая оборудованием, связанным со инфраструктурой питания (например, зарядка аккумулятора, устройство переключения питания и преобразование переменного тока в постоянный ток), которая может быть выделена блоку оборудования, в кВт/ч;

C_E – объем выбросов углерода, генерируемый источником питания на кВт/ч;

P_E – процент от энергии необходимой для питания оборудования, который расходуется на охлаждение оборудования.

Различные технологические сценарии будут предполагать различные компромиссы между одноразовыми и повторяющимися выбросами углерода. Например, продление срока службы старого оборудования с помощью программного обеспечения или незначительных обновлений аппаратного обеспечения может повысить текущую энергоэффективность без выделения новых продуктов.

4 Выбросы парниковых газов, генерируемые процессами управления сетью

Конкретные методы, используемые для выполнения повседневных функций управления сетью, могут оказать значительное влияние на общее количество выбросов углерода поставщиком телекоммуникационных услуг. Выбор техники и инструментария в настоящее время базируется на стоимости, качестве и функциональности и может не учитывать воздействия на окружающую среду. Важным источником повторяющихся выбросов

углерода в области управления сетью является парк легких транспортных средств, обеспечение физической поддержки внешних станций и удаленных пунктов размещения, включая такое оборудование, как удаленные точки переключения, мультиплексоры доступа к цифровым абонентским линиям (DSLAM), вышки сотовой связи, подземные и воздушные линии, а также абонентские линии.

Полевые ремонтные бригады, которые предоставляют поддержку для удаленного оборудования, сталкиваются с различными проблемами и ограничениями, в отличие от сотрудников офиса. Прежде всего, наиболее существенным отличием является то, что полевые бригады отправляются на каждый вызов способом, наиболее подходящим в контексте графика ремонта и установки. В объемах выбросов от ремонта и монтажа преобладает использование транспортных средств, и только небольшая часть общей энергии расходуется на питание инструментов. Приведенные здесь уравнения применяются к расчету выбросов от легких транспортных средств автопарка, но те же уравнения можно применить и для тяжелых транспортных средств.

$$C_D = M_D \times G_L \times C_L + I \times C_I,$$

где C_D – общий объем выбросов в результате вождения;

M_D – общее количество пройденных миль;

G_L – расход газа на милю при средней скорости движения транспортного средства и средней легкости ремонта в галлонах;

C_L – объем выбросов углерода на галлон при средней скорости движения транспортного средства и средней легкости ремонта;

I – среднее время простоя каждого транспортного средства при средней легкости ремонта;

C_I – объем выбросов углерода в минуту на холостом ходу транспортного средства при средней легкости ремонта.

$$M_L = (T_R + T_M + T_{R2} \times (2p + q)) \times M_A,$$

где M_L – общее количество миль, пройденных транспортным средством за время средней легкости ремонта;

T_R – общее количество полевых поездок для ремонта;

T_M – общее количество полевых поездок для планового технического обслуживания;

T_{R2} – общее количество повторных полевых поездок для переделки;

M_A – средний пробег за полевую поездку;

выражение $2p + q$ определяет то, что p – процент критических возвратов в поездке, требующих полный дополнительный пробег (например, туда и обратно на склад для ключевого компонента), при среднем пробеге $2 \times M_A$;

q – простые ремонтные поездки, которые можно запланировать обычным способом ($q = 1 - p$).

Задача определения оптимального размещения складских мест требует оценки многих финансовых и сервисных компромиссов. Одно складское место сводит к минимуму

потребности в запасах и снижает стоимость капитальных затрат. Напротив, увеличение количества складских помещений обеспечивает:

- сокращение времени на ремонт и выбросы;
- сокращение среднего времени на ремонт/восстановление (Mean Time to Repair/Restore, MTTR) и повышение качества обслуживания;
- увеличение запасов запасных частей и транспортных расходов;
- увеличение пробега тяжелых грузовиков и выбросов при хранении в складских помещениях.

Общий объем выбросов в результате складского хранения может быть смоделирован согласно выражению:

$$C_W = (M_W \times G_L \times C_L) + (M_D \times G_H \times C_H),$$

где C_W – общий объем выбросов углерода при доступе к складским помещениям;

M_W – общее количество миль, пройденных по пути на складские помещения;

G_L – потребление газа на милю в среднем легком ремонтном автомобиле, в галлонах

C_L – объем выбросов углерода на галлон для средней легковой ремонтной машины

M_D – общее количество миль, пройденных тяжелыми транспортными средствами

G_H – количество израсходованного газа на милю средним тяжелым транспортным средством, в галлонах

C_H – объем выбросов углерода на галлон израсходованного средним тяжелым транспортным средством.

$$M_W = \sum_{i=1}^L T_{W_i} \times M_{W_i}, \quad M_D = \sum_{i=1}^L T_{D_i} \times M_{D_i},$$

где L – количество складских мест;

T_{W_i} – общее количество поездок на легковом автомобиле для доступа к складу/инвентарю;

T_{D_i} – общее количество поездок на тяжелом транспортном средстве для доступа к складу/инвентарю;

M_{W_i} – пробег от домашней базы ремонтника до склада/инвентаря;

M_{D_i} – пробег от центрального пункта распределения (например, аэропорта или порта отгрузки) до склада/инвентаря.

5 Выбросы парниковых газов, генерируемые сотрудниками при выполнении процессов управления сетью

Эксплуатация телекоммуникационной сети включает в себя множество сотрудников, выполняющих технические, управленческие, административные и ориентированные на клиента функции. Все эти люди нуждаются в служебных помещениях и ресурсах для

достижения своих целей. Модель ТСО₂ рассматривает масштабы всей организации, учитывая общее количество сотрудников, процент сотрудников, осуществляющих дистанционную работу. Она также включает местные факторы, такие как количество дней обогрева и охлаждения, доступность общественного и частного транспорта, а также среднее расстояние для поездок.

Объем выбросов углерода приходящийся на одного сотрудника компании может быть оценен следующим образом:

$$C_S = D_O (M_T \times C_K + O_E \times C_{OF}) + D_T (\Delta M_T \times C_K + \Delta E_H \times C_H + O_E \times C_{OF}),$$

где C_S – общий объем выбросов углерода отдельного сотрудника;

D_O – количество рабочих дней в году, когда сотрудник приезжает в офис;

D_T – количество рабочих дней в году, проведенных сотрудником удаленно;

M_T – среднее количество миль, преодоленных транспортным средством до места работы;

O_E – средняя площадь офисных площадей, приходящаяся на одного сотрудника;

C_{OF} – объем выбросов углерода на квадратный фут офисного помещения;

ΔM_T – разница количества миль пройденных в дни удаленной работы;

C_K – объем выбросов углерода за пройденную милю;

ΔE_H – изменение энергопотребления в домашних условиях для целей связанных с удаленной работой;

C_H – средний объем выбросов углерода для дополнительной энергии, используемой в доме.

Метод сокращения выбросов углерода в организации заключается в поощрении удаленных методов работы, тем самым сокращении общего количества поездок пассажирских транспортных средств, как показано в уравнении ТСО₂ (путем увеличения D_T). Многие поставщики услуг позволяют сотрудникам осуществлять дистанционную работу. Тем не менее, есть широкие возможности, чтобы воспользоваться телеработы в других областях операционной деятельности, непосредственно участвующей в управлении сетью (мониторинг, устранение сбоев в работе, анализ производительности, оптимизация), где стандартные настройки сети являются типичными. За небольшими исключениями (например, отдел розничных продаж), многие функции работы могут в некоторой степени успешно использовать дистанционное управление. Доступ к группе, командная работа, многие из функций операций могут быть выполнены в некоторой степени удаленно, а производительность может быть адекватно отслежена с помощью достигнутого результата (например, количество заявок на устранение неисправностей).

Исследования показывают, что дистанционный доступ может снизить потребление энергии на один удаленный компьютер до 50 процентов, в зависимости от количества дней, проведенных на расстоянии и фактического расстояния до корпоративного офиса [1]. Сообщалось о нескольких эффектах удаленной работы, которые компенсируют сокращение поездок и должны учитываться в модели:

1. Разработка дома увеличивает потребление энергии на внутреннем месте за счет более широкого использования компьютеров и других электронных устройств для работы и увеличения спроса на обогрев и охлаждение.
2. Поездки не связанные с работой, имеет тенденцию к увеличению для удаленных сотрудников. В дни дистанционной работы сотрудник часто чувствует необходимость покинуть рабочее место с целью совершить короткую поездку.

Другие данные [1] предполагают воздействие удаленного доступа на окружающую среду второго и третьего порядка, например:

1. Увеличение потребления товаров (офисная мебель и аксессуары) частично компенсируется снижением спроса на деловую одежду.
2. Увеличение отходов в домашних условиях (измельчение документов, связанных с работой) компенсируется сокращением отходов в офисе.
3. Увеличение объема потребления услуг (например, курьеров) частично компенсируется снижением спроса на химчистку и аналогичные услуги.

Ожидается, что воздействие этих эффектов будет относительно небольшим, но может быть использовано для уточнения формулы TCO_2 для служебной поддержки и использования личного транспорта в будущем.

6 Заключение

Воздействие на окружающую среду, связанное с выбросами углерода, стало предметом серьезной обеспокоенности для научного сообщества, правительств всего мира, а также для отдельного потребителя. Поставщики услуг должны будут включить экологические затраты в свои стратегические критерии деятельности, чтобы принять взвешенное решение по технологиями, процессам и организации. Эволюция, происходящая сейчас и в течение следующего десятилетия в телекоммуникационной отрасли, предоставляет уникальную возможность для включения «зеленых» вариантов при обновлении сети. В статье был рассмотрен ряд методов оценки углеродных выбросов.

Чтобы выбрать наиболее выгодный путь, поставщик услуг должен будет оценить все финансовые и экологические компромиссы своего бизнеса и выбора технологий, сравнивая плюсы и минусы каждой альтернативы. Модель TCO_2 , предложенная в этом документе, предназначена для использования в сочетании с анализом затрат бизнес-кейса, что позволяет оператору полностью понять влияние другой технологии или операционного выбора. Более экологичная операция может позволить включить другие, менее ощутимые преимущества, такие как лояльность клиентов и узнаваемость бренда, в общее уравнение экономического обоснования, что позволит дополнительно увеличить прибыль оператора.

Список используемой литературы

- [1] Matthews E. P., Nici J., Polonsky B., Wisniewski J. F. Operating in the green: Modeling eco-friendly telecom network management // *Bell Labs Technical Journal*. – 2010. – Vol. 15. – № 2. – P. 175-192. DOI: <https://doi.org/10.1002/bltj.20448>
- [2] TM Forum website [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tmforum.org/> (дата обращения: 02.12.2018).
- [3] Modarressi A. R., Mohan S. Control and management in next-generation networks: challenges and opportunities // *IEEE Communications Magazine*. – 2000. – Vol. 38. – № 10. – P. 94–102. DOI: 10.1109 / 35.874976
- [4] Мочалов В. П. Формальное описание процесса функционирования системы нового поколения / В. П. Мочалов, С. В. Яковлев, Н. Ю. Братченко // *Современная наука и инновации*. – 2017. – № 2 (18). – С. 85–92.
- [5] Mochalov V. P., Bratchenko N. Yu., Yakovlev S. V. Analytical model of object request broker based on Corba standard. *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1015, № 2, p. 022012, May 2018. DOI: 10.1088/1742-6596/1015/2/022012
- [6] Мочалов В. П. Аналитическая модель для анализа состояния системы поддержки эксплуатации и бизнес-процессов оператора связи / В. П. Мочалов, С. В. Яковлев, Д. В. Мочалов // *Теория и техника радиосвязи*. – 2012. – № 1. – С. 45–49.
- [7] Мочалов В. П. Метод расчета процессно-ориентированных систем эксплуатационного управления оператора связи / В. П. Мочалов, С. В. Яковлев, Д. В. Мочалов // *Теория и техника радиосвязи*. – 2012. – № 3. – С. 94–100.
- [8] Мочалов В. П. Алгоритм интеграции сетевых приложений распределенной системы управления инфокоммуникациями / В. П. Мочалов, С. В. Яковлев, Н. Ю. Братченко // *Современная наука и инновации*. – 2017. – № 3 (19). – С. 83–88.
- [9] Росляков А. В. Будущие сети (Future Networks) / А. В. Росляков, С. В. Ваняшин. – Самара: ПГУТИ, 2015. – 274 с.
- [10] Mochalov V. P., Bratchenko N. Y., Yakovlev S. V. Analytical Model of Integration System for Program Components of Distributed Object Applications. 2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). IEEE. 9-16 Sept. 2018. DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2018.8501806
- [11] Mochalov V. P., Bratchenko N. Yu., Yakovlev S. V., Gosteva D. V. Distributed Management System for Infocommunication Networks Based on TM Forum Framework. REMS 2018: Russian Federation & Europe Multidisciplinary Symposium on Computer Science and ICT, NCFU – North-Caucasus Federal University Stavropol, Russia, October 2018. [electronic resource] – Access mode: <http://ceur-ws.org/Vol-2254/> (date of appeal: 02.12.2018).
- [12] Greenhouse Gas Protocol website [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ghgprotocol.org/> (дата обращения: 02.12.2018).
- [13] Рекомендация МСЭ-T L.1420: Методология оценки воздействия информационно-коммуникационных технологий в организациях на потребление энергии и выбросы парниковых газов [электронный ресурс]. – Режим доступа:

List of references

- [1] Matthews E. P., Nici J., Polonsky B., Wisniewski J. F. Operating in the green: Modeling eco-friendly telecom network management // *Bell Labs Technical Journal*. – 2010. – Vol. 15. – №. 2. – P. 175-192. DOI: <https://doi.org/10.1002/bltj.20448>
- [2] TM Forum website [electronic resource] – Access mode: <https://www.tmforum.org/> (date of appeal: 02.12.2018).
- [3] Modarressi A. R., Mohan S. Control and management in next-generation networks: challenges and opportunities // *IEEE Communications Magazine*. – 2000. – Vol. 38. – №. 10. – P. 94–102. DOI: 10.1109 / 35.874976
- [4] Mochalov V. P. Formal description of the process of functioning of the new generation system / V. P. Mochalov, S. V. Yakovlev, N. Y. Bratchenko // *Sovremennaya nauka i innovatsii*. – 2017. – № 2 (18). – P. 85–88. (In Russian)
- [5] Mochalov V. P., Bratchenko N. Yu., Yakovlev S. V. Analytical model of object request broker based on Corba standard. *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1015, № 2, p. 022012, May 2018. DOI: 10.1088/1742-6596/1015/2/022012
- [6] Mochalov V. P. Analytical model for analyzing the state of the operational support system and operator business processes / V. P. Mochalov, S. V. Yakovlev, D. V. Mochalov // *Teoriya i tekhnika radiosvyazi*. – 2012. – № 1. – P. 45–49. (In Russian)
- [7] Mochalov V. P. The method of calculating the process-oriented systems of the operator's operational management / V. P. Mochalov, S. V. Yakovlev, D. V. Mochalov // *Teoriya i tekhnika radiosvyazi*. – 2012. – № 3. – P. 94–100. (In Russian)
- [8] Mochalov V. P. Algorithm of integration of network applications of distributed infocommunication management system / V. P. Mochalov, S. V. Yakovlev, N. Y. Bratchenko // *Sovremennaya nauka i innovatsii*. – 2017. – № 3 (19). – P. 83–88. (In Russian)
- [9] Roslyakov A.V. *Future Networks* / A. V. Roslyakov, S. V. Vanyashin. – Samara: PGUTI, 2015. – 274 p. (In Russian)
- [10] Mochalov V. P., Bratchenko N. Y., Yakovlev S. V. Analytical Model of Integration System for Program Components of Distributed Object Applications. 2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). IEEE. 9-16 Sept. 2018. DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2018.8501806
- [11] Mochalov V. P., Bratchenko N. Yu., Yakovlev S. V., Gosteva D. V. Distributed Management System for Infocommunication Networks Based on TM Forum Framework. REMS 2018: Russian Federation & Europe Multidisciplinary Symposium on Computer Science and ICT, NCFU – North-Caucasus Federal University Stavropol, Russia, October 2018. [electronic resource] – Access mode: <http://ceur-ws.org/Vol-2254/> (date of appeal: 02.12.2018).

- [12] Greenhouse Gas Protocol website [electronic resource]. – Access mode: <https://ghgprotocol.org/> (date of appeal: 02.12.2018).
- [13] Recommendation MC᠑-T L.1420: Methodology for energy consumption and greenhouse gas emissions impact assessment of information and communication technologies in organizations [electronic resource]. – Access mode: <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=11431&lang=ru> (date of appeal: 02.12.2018).

Научное издание

СТУДЕНЧЕСКАЯ НАУКА
ДЛЯ РАЗВИТИЯ
ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЩЕСТВА

Сборник материалов IX Всероссийской
научно-технической конференции
(г. Ставрополь, 19–21 декабря 2018 года)
Часть 1

Материалы изложены в авторской редакции
на CD-диске в формате PDF