

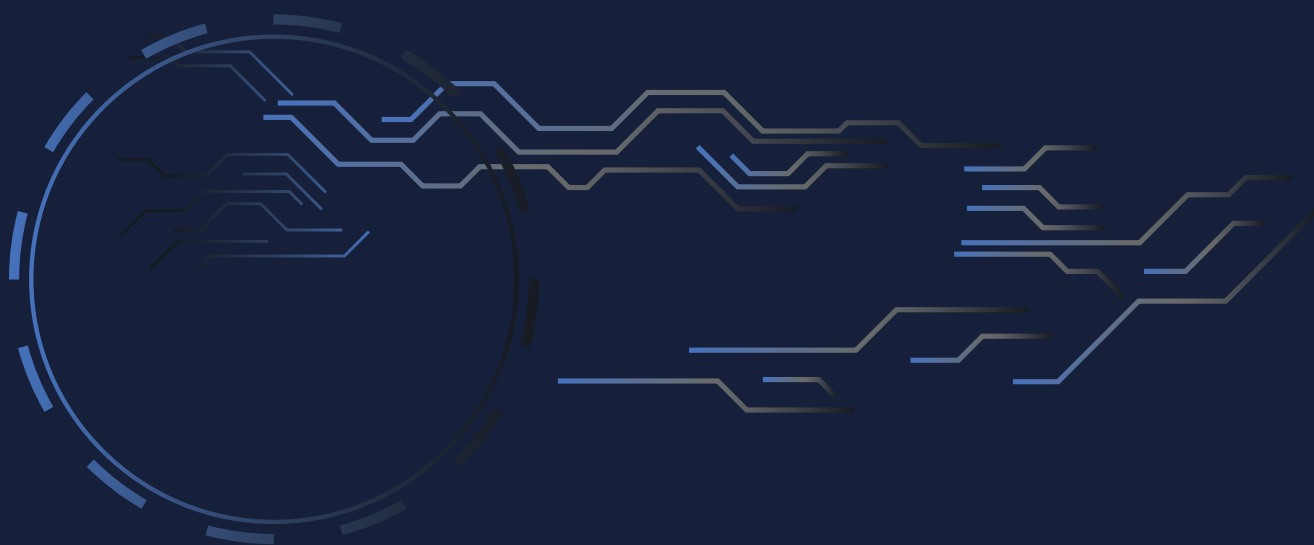
2024



1(22)

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Infokommunikacionnye
Tehnologii



ISSN 2073-3909

«Инфокоммуникационные технологии»

Периодический научно-технический и информационно-аналитический журнал
Том 22, № 1 (85), 2024

Учредитель и издатель журнала:

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (г. Самара)

Главный редактор, председатель редакционного совета

Горячкин О.В., д.т.н., профессор (ПГУТИ, г. Самара).

Заместители главного редактора

Васин Н.Н., д.т.н., профессор; Тарасов В.Н., д.т.н., профессор.

Редакционный совет

Мишин Д.В., д.т.н., профессор (ПГУТИ, г. Самара); Сойфер В.А., академик РАН (Самарский университет, г. Самара); Бузов А.Л., д.т.н., профессор (АО «СИП РС», г. Самара); Васильев К.К., д.т.н., профессор (УлГТУ, г. Ульяновск); Воронин А.А., д.ф.-м.н., профессор (ВолГУ, г. Волгоград); Кубанов В.П., д.т.н., профессор (ПГУТИ, г. Самара); Лихтциндер Б.Я., д.т.н., профессор (ПГУТИ, г. Самара); Надеев А.Ф., д.ф.-м.н., профессор (КНИТУ-КАИ, г. Казань); Султанов А.Х., д.т.н., профессор (УУНиТ, г. Уфа); Цым А.Ю., д.т.н., с.н.с. (ЦНИИС, г. Москва); Щербаков М.А., д.т.н., профессор (ПГУ, г. Пенза); Морозов О.Г., д.т.н., профессор (КНИТУ-КАИ, г. Казань).

Редакционная коллегия

Бахарева Н.Ф., д.т.н., профессор (ПГУТИ, г. Самара); Карташевский В.Г., д.т.н., профессор (ПГУТИ, г. Самара); Осипов О.В., д.ф.-м.н., доцент (ПГУТИ, г. Самара); Росляков А.В., д.т.н., профессор (ПГУТИ, г. Самара); Тяжев А.И., д.т.н., профессор (ПГУТИ, г. Самара); Карташевский И.В., д.т.н., доцент (ПГУТИ, г. Самара); Бурдин А.В., д.т.н., доцент (АО «НПО ГОИ им. С. И. Вавилова», г. Санкт-Петербург); Картак В.М., д.ф.-м.н., профессор (УУНиТ, г. Уфа); Ляшев В.А., к.т.н. (МФТИ, г. Москва); Сингх Г., PhD в области электроники и связи, профессор (Малавийский национальный технологический институт Джайпура, г. Джайпур); Ким Ч., PhD в области компьютерных наук, доцент (Корейский университет, г. Сеул); Тивари М., PhD в области электроники и связи по направлению «Оптоэлектроника», профессор (Манипальский университет Джайпура, г. Джайпур); Джаньяни В., PhD в области электроники и связи, профессор (Малавийский национальный технологический институт Джайпура, г. Джайпур); Али Дж., PhD в области физики плазмы, профессор (Азиатский столичный университет, г. Джохор-Бару).

Выпускающие редакторы: Диязитдинова А.А., Шевченко А.И.

Редактор номера: Тарасов В.Н.

Компьютерный набор и верстка: Вукмирович Д.Д.

Корректура: ООО «Навигатор»

Адрес редакции и издателя журнала:

443010, Российская Федерация, г. Самара, ул. Льва Толстого, 23,
Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики.
Телефон +7 846 339-11-09. E-mail: redikt@psuti.ru

Издается с 2003 г. Выходит 4 раза в год.

ПИ № ФС77-82293 от 08.12.2021 г. выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Решением ВАК Минобрнауки России журнал «Инфокоммуникационные технологии» включен в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

© Инфокоммуникационные технологии, 2024.

Подписной индекс 41914 в каталоге ООО «Урал-Пресс Округ».

Тиражирование содержания журнала
в электронном и любом другом виде –
с письменного разрешения редакции.
443010, Российская Федерация, г. Самара,
ул. Льва Толстого, 23

Дата выхода в свет 27.11.2024
Цена свободная. 0+. Тираж 100 экз.
Отпечатано в типографии ООО «Слово».
443070, Российская Федерация, г. Самара,
ул. Песчаная, 1. Тел. +7 846 244-43-77
E-mail: izdatkniga@yandex.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕДАЧИ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ И СИГНАЛОВ

Березкин А.А., Ченский А.А., Киричек Р.В.	Нивелирование артефактов кадров видеопотока при FPV-управлении беспилотными системами	7
---	--	---

СЕТИ СВЯЗИ И МУЛЬТИСЕРВИСНЫЕ УСЛУГИ

Васин Н.Н., Захаров В.С.	Виртуальный сервисный маршрутизатор vESR в сетях пакетной коммутации	18
Карташевский И.В., Осанов В.А., Малахов С.В., Якупов Д.О.	Исследование алгоритма декорреляции сетевого трафика на основе вейвлет преобразования	24

СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

Гладких А.А., Мишин Д.В., Дрягин С.А., Корсунский А.С	Математическое моделирование защищенных многоточечных сеансов видео-конференц-связи многоуровневыми графами	31
--	---	----

ЛИНИИ СВЯЗИ И ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

Дашков М.В., Гуреев В.О., Гаврюшин С.А., Нижгородов А.О.	Полевые испытания метода поиска трассы прокладки полностью диэлектрического оптического кабеля	43
Попов Б.В., Попов В.Б.	Результаты экспериментальных исследований электрических характеристик сигнально- блокировочных кабелей	52

АНТЕННЫ, АФУ И УСТРОЙСТВА СВЧ

Шакурский М.В.	Предкоррекция фазочастотной характеристики цифровых фильтров	58
----------------	---	----

РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ И РАДИОПРИЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА, ТЕЛЕВИДЕНИЕ

Логинов С.С., Ишмиев И.И., Сивинцева О.А.	Методы снижения пик-фактора сигналов FBMC на основе дискретно-нелинейной системы Спротта, реализованной над конечным полем Галуа	64
---	---	----

ТЕХНОЛОГИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ

Лезин И.А.	Универсальный бинарный формат для быстрой передачи данных по сети	70
------------	---	----

НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Диязитдинова А.Р., Загирова А.Р., Нужин В.И.	Обеспечение персонифицированного подхода к пациенту на базе MHEALTH-приложения	75
Кафаров К.М., Логинов С.С., Бобина Е.А.	Полигауссово описание распределений вероятностей процессов, формируемых нелинейной системой Лоренца, реализованной в числах с фиксированной запятой	82
Пальмов С.В., Шаталов Н.В.	Сравнение производительности библиотек VAEX и DASK	88
Захарова О.И., Бедняк С.Г.	Разработка инструмента обработки естественного языка для решения прикладной задачи извлечения статистических данных из текста	93

ТЕХНОЛОГИИ РАДИОСВЯЗИ, РАДИОВЕЩАНИЯ И ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Карелин Е.А., Любашенко Т.Д., Палилов М.Р., Жиглова Н.С., Пачин А.В.	Исследование возможностей компьютерного зрения в автономных системах управления беспилотных летательных аппаратов	102
--	---	-----

УПРАВЛЕНИЕ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ ДЛЯ ОТРАСЛИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

Доброжанская В.А., Салмин А.А.	Вопросы построения цифрового профиля обучающегося для формирования его карьерной среды	110
-----------------------------------	--	-----

CONTENTS

THEORETICAL FOUNDATIONS OF TECHNOLOGIES FOR TRANSMITTING AND PROCESSING INFORMATION AND SIGNALS

Berezkin A.A., Chenskiy A.A., Kirichek A.A.	Suppression OFN the Video Stream Frames Processed by Unmanned Systems Using FPV Control	7
--	--	----------

COMMUNICATION NETWORKS AND MULTISERVICES

Vasin N.N., Zakharov V.S.	Virtual Service Router vESR in Packet Switching Networks	18
Kartashevskiy I.V., Osanov V.A., Malakhov S.V., Iakupov D.O.	Research of Network Traffic Decorrelation Algorithm Based on Wavelet Ttransformation	24

TELECOMMUNICATIONS SYSTEMS AND DEVICES

Gladkikh A.A., Mishin D.V., Driagin S.A., Korsunskii A.S.	Mathematical Modeling of Secure Multipoint Video Conference Sessions Using Multilayer Graphs	31
--	---	-----------

COMMUNICATION LINES AND FIBER-OPTIC TELECOMMUNICATIONS TECHNOLOGIES

Dashkov M.V., Gureev V.O., Gavryushin S.A., Nizhgorodov A.O.	Field Testing of the Route Tracing Method for Fully Dielectric Optical Cable	43
Popov B.V., Popov V.B.	Results of Experimental Studies of Electrical Characteristics of Signal-Locking Cables	52

ANTENNAS, AFU AND MICROWAVE DEVICES

Shakurskiy M.V.	Pre-Correction of Phase-Frequency Characteristics of Digital Filters	58
------------------------	---	-----------

RADIO TRANSMITTING AND RECEIVING DEVICES, TELEVISION

Loginov S.S., Ishmiev I.I., Sivintseva O.A.	Methods for Reducing the Papr of FBMC Signals Based on a Discrete-Nonlinear Sprott System Implemented over a Finite Galois Field	64
--	---	-----------

TECHNOLOGIES OF COMPUTER SYSTEMS AND NETWORKS

Lyozin I.A.	Universal Binary Format for Fast Data Transmission over the Network	70
--------------------	--	-----------

NEW INFORMATION TECHNOLOGIES

Diyazitdinova A.R., Zagirova A.R., Nuzhin V.I.	Mhealth-Application for Patient Personalized Approach	75
Kafarov K.M., Loginov S.S., Bobina E.A.	Polygaussian Description of Probability Distributions of Processes Generated by a Nonlinear Lorenz System Implemented in Fixed-Point Numbers	82
Palmov S.V., Shatalov N.V.	Performance Comparison of the VAEX and DASK Libraries	88
Zakharova O.I., Bednyak S.G.	Development of a Natural Language Processing Tool for Solving the Application Problem of Extracting Statistical Data from Text	93

TECHNOLOGIES OF RADIO COMMUNICATION, RADIO BROADCASTING AND TELEVISION

Karelin E.A., Lyubashenko T.D., Palilov M.R., Zhiglova N.S., Pachin A.V.	Investigation of Computer Vision Capabilities in Autonomous Unmanned Aerial Vehicles Control Systems	102
---	---	------------

MANAGEMENT AND TRAINING FOR THE TELECOMMUNICATIONS INDUSTRY

Dobrozhanskaya V.A., Salmin A.A.	Issues of Creating a Student's Digital Profile in Order to Form his Career Environment	110
---	---	------------

«Infokommunikacionnye tehnologii»

Periodic technical and scientific information and analytical magazin

2024, vol. 22, no. 1 (85)

Founder and Publisher of the Journal:

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics (Samara)

Chief Editor, Chairman of the Editorial Management

Goryachkin O.V., Tenured Professor, Doctor (PSUTI, Samara).

Deputy Chief Editor

Vasin N.N., Tenured Professor, Doctor; Tarasov V.N., Tenured Professor, Doctor.

Editorial Management

Mishin D.V., Tenured Professor, Doctor (PSUTI, Samara);

Soifer V.A., Academic Professor RAS (Samara National Research University, Samara);

Buzov A.L., Tenured Professor, Doctor (SIPRS, Ltd., Samara);

Vasiliev K.K., Tenured Professor, Doctor (UISTU, Ulyanovsk);

Voronin A.A., Tenured Professor, Doctor (VolSU, Volgograd);

Kubanov V.P., Tenured Professor, Doctor (PSUTI, Samara);

Likhtsinder B.Y., Tenured Professor, Doctor (PSUTI, Samara);

Nadeev A.F., Tenured Professor, Doctor (KNRTU-KAI, Kazan);

Sultanov A.H., Tenured Professor, Doctor (UUST, Ufa);

Tsym A.Y., Tenured Professor, Senior Manager Associate (CSRJC, Moscow);

Shcherbakov M.A., Tenured Professor, Doctor (PSU, Penza);

Morozov O.G., Tenured Professor, Doctor (KNRTU-KAI, Kazan).

Editorial Board

Bahareva N.F., Tenured Professor, Doctor (PSUTI, Samara); Kartashevskii V.G., Tenured Professor, Doctor (PSUTI, Samara); Osipov O.V., Associate Professor, Doctor (PSUTI, Samara); Roslyakov A.V., Tenured Professor, Doctor (PSUTI, Samara); Tyagev A.I., Tenured Professor, Doctor (PSUTI, Samara); Kartashevsky I.V., Associate Professor, Doctor (PSUTI, Samara); Burdin A.V., Associate Professor, Doctor (JSC S.I. Vavilov State Optical Institute, Saint Petersburg); Kartak V.M., Professor, Doctor (UUST, Ufa); Lyashev V.A., PhD in Technical Science (MIPT, Moscow); Singh G., Professor, PhD in Electronics and Communication Engineering (Malaviya National Institute of Technology Jaipur, Jaipur); Kim J., Associate Professor, PhD in Computer Science (Korea University, Seoul); Tiwari M., Professor, PhD in Electronics and Communication Engineering with specialization in Optoelectronics (Manipal University Jaipur, Jaipur); Janyani V., Professor, PhD in Electronics and Communication Engineering (Malaviya National Institute of Technology Jaipur, Jaipur); Ali J., Professor, PhD in Plasma Physics (Asia Metropolitan University, Johor Bahru).

Executive Editors: Diyazitdinova A.A., Shevchenko A.I.**Editor of Issue:** Tarasov V.N.**Type Setting and Page Make Up:** Vukmirovich D.D.**Proofreading:** «Navigator» LLC**Editor and Publishing House Address:**

23, L. Tolstoy Street, Samara, 443010, Russian Federation,

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics.

Phone +7 846 339-11-09. E-mail: redikt@psuti.ru

Published since 2003. Edited 4 times a year. Licensed PI № FS 77-82293 on 08.12.2021 issued by The

Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology, and Mass Media (Roskomnadzor)

Under the verdict of Higher Attestation Commission of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, the journal «Info-communication Technologies» is included in the list of peer-reviewed scientific editions, in which the main scientific results of dissertations for the degree of candidate of sciences, for the degree of doctor of sciences should be published.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕДАЧИ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ И СИГНАЛОВ

УДК 004.622

НИВЕЛИРОВАНИЕ АРТЕФАКТОВ КАДРОВ ВИДЕОПОТОКА ПРИ FPV-УПРАВЛЕНИИ БЕСПИЛОТНЫМИ СИСТЕМАМИ

*Березкин А.А., Ченский А.А., Киричек Р.В.**Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, РФ**E-mail: berezkin.aa@sut.ru, chenskii.aa@sut.ru, kirichek@sut.ru*

При использовании пакетных сетей для управления беспилотными системами от первого лица возникает проблема большого объема передаваемых данных. Наибольший объем трафика при управлении от первого лица формируют кадры видеопотока. Соответственно, для повышения эффективности использования сети связи между беспилотными системами и станцией внешнего пилота необходимо осуществлять сжатие кадров видеопотока. Высокую степень сжатия обеспечивает использование вариационных автокодировщиков. Одной из проблем использования вариационных автокодировщиков для сжатия изображений является возникновение на изображениях специфичных артефактов. В настоящей статье предлагаются способы нивелирования возникновения артефактов при восстановлении изображений из латентного пространства нейросетевым декодером, а также предлагается эмпирическая шкала оценки артефактов автокодировщиков. Предложенный подход заключается в подготовке пиксельных данных кадра видеопотока к кодированию и восстановлению их после декодирования. Экспериментальным путем показано, что один из предложенных методов позволяет устранять абсолютное большинство артефактов без внесения существенных искажений в восстанавливаемые кадры.

Ключевые слова: *нейронная сеть, подавление артефактов, нивелирование артефактов, артефакты изображения, передача видеопотока, вариационный автокодировщик, нейросетевой кодек, FPV-управление, управление от первого лица, беспилотные системы, беспилотные воздушные суда*

Введение

Беспилотные системы (БС), такие как беспилотные авиационные системы (БАС), на текущий момент широко распространены и применяются в целом ряде различных областей [1–2]. Широко применяемым способом управления БС является управление от первого лица (FPV-управление). В ходе FPV-управления существует две основные линии связи между БС и станцией внешнего пилота (СВП): линия связи с землей и линия связи с бортом. Первая используется для передачи данных с БС на СВП. К передаваемым данным относятся: идентификатор, координаты, скорость, курсовой угол, высота, метаданные, кадры видеопотока. Вторая используется для передачи данных с СВП на БС. По ней передаются команды управления БС.

Линии связи реализуются посредством радиосигналов либо с использованием существующих сотовых сетей передачи данных, которые имеют ограниченную зону покрытия и пропускную способность. Перспективным направлением для обеспечения линий связи при FPV-управлении является использование гибридных орбитально-наземных сетей связи [1–3]. Тем не менее, задействование космического сегмента при передаче данных в сетях связи приводит к существен-

ному увеличению задержки, джиттера и уменьшению пропускной способности в каналах связи.

Это приводит к необходимости снижения объема трафика при FPV-управлении. Наибольший объем при этом приходится на трафик кадров видеопотока. Соответственно, сжатие видеопотока является ключевым фактором эффективного использования пакетных сетей при FPV-управлении. Ограниченная пропускная способность космического сегмента сетей связи вынуждает искать решения по обеспечению степени сжатия, превышающей предлагаемую с помощью стандартных средств сжатия кадров видеопотока и отдельных изображений с потерями, к которым относятся: кодеки h264 [4], h265 [5], форматы изображений JPEG [6], AVIF [7], WebP [8].

Намного более высокой степени сжатия кадров видеопотока позволяют добиться вариационные автокодировщики [1–2; 9]. Тем не менее, методы, в которых они используются, характеризуются увеличением искажения восстанавливаемых на стороне СВП кадров видеопотока. Кроме того, появляются специфичные для вариационных автокодировщиков артефакты восстанавливаемых изображений.

Артефакты изображений представляют собой эффекты и объекты на вторичных изображениях,

которые не присутствуют на первичных. Они возникают при сжатии изображений с потерями, наличии быстрых движений в видеопотоке и различных световых эффектах при съемке. Первичные изображения являются источниками для вторичных изображений. В случае сжатия изображений – это изображение до сжатия, в случае фото- и видеосъемки – это представление реальности.

К видам артефактов изображений относят: артефакты сжатия, появляющиеся при достаточно сильном сжатии с потерями (широко известны, в частности, артефакты сжатия алгоритмом JPEG [10]); хроматические aberrации, при которых по краям объектов создаются цветовые контуры; муаровые узоры, возникающие при наложении сетчатых рисунков [11]; артефакты движения, возникающие при съемке движущихся объектов [12].

Использование вариационных автокодировщиков приводит к появлению иного вида артефактов: артефактов автокодировщиков (рисунок 1). Они представляют собой скопления пикселей белого, синего, голубого, желтого и розового цветов зачастую округлой формы и часто проявляются в темных и светлых областях изображений. Тем не менее, их распространение также охватывают окружающие группы пикселей. Иногда данные пиксели бывают рассеяны.

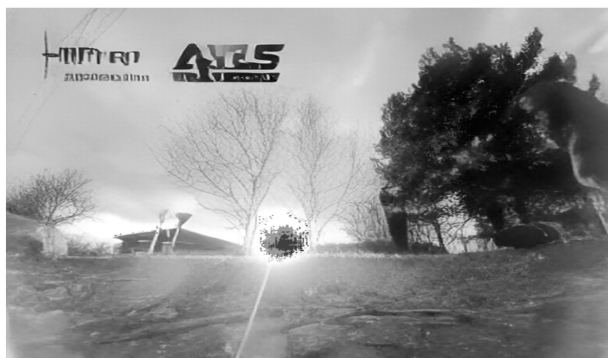


Рисунок 1. Пример артефактов автокодировщика VQ-f16 без квантования

Алгоритмы квантования и сжатия латентного пространства оказывают влияние на проявляемые артефакты (рисунок 2). Тем не менее, артефакты автокодировщиков проявляются и при отсутствии воздействия на латентное пространство, полученное из кодируемых изображений.

В некоторых моделях вариационных автокодировщиков артефакты более выражены, чем в других (рисунок 3).

В отличие от хроматических aberrаций, не слишком сильных артефактов сжатия и муаровых узоров, артефакты автокодировщиков, когда они проявляются в сплошной, а не в рассеянной

форме, не позволяют воспринимать признаковые структуры тех частей изображения, которые за ними скрыты. Данные артефакты изображений серьезно усложняют восприятие внешним пилотом (ВП) полетной обстановки и, таким образом, приводят к возникновению рисков провала полетного задания и потери БС при FPV-управлении.



Рисунок 2. Пример артефактов автокодировщика VQ-f16 при степенном квантовании



Рисунок 3. Пример артефактов автокодировщика KL-f16 при линейном квантовании

Для нивелирования артефактов изображений используются как алгоритмические методы [13; 14], так и нейронные сети [15–17]. Тем не менее, использование нейронных сетей при нивелировании артефактов автокодировщиков нежелательно. Во-первых, это неизбежно приведет к искажению исходного изображения вследствие существенной степени сокрытия исходных признаковых структур артефактами. Во-вторых, нейронные сети, как правило, требуют больше времени на выполнение, чем обычные алгоритмы, что приводит к уменьшению частоты кадров в секунду (FPS) на стороне ВП. Это негативно сказывается на возможности оперативно реагировать на изменяющуюся полетную обстановку и дистанционно пилотировать БС. В-третьих, в данном случае есть доступ к исходному изображению (на стороне БС) и информации об областях концентрации артефактов.

Исходя из вышеизложенного, целесообразнее будет осуществлять алгоритмическую подготовку пиксельных данных изображения перед кодированием и опциональное восстановление пиксельных данных после декодирования таким образом, чтобы области возникновения артефактов автокодировщиков нивелировались.

Кроме того, необходима методика для оценки работоспособности алгоритмов нивелирования артефактов автокодировщиков. Для оценки качества восстанавливаемого изображения по сравнению с исходным широко используются метрики качества SSIM, MSE и PSNR [1–2; 9]. Тем не менее, данные метрики оценивают качество всего восстанавливаемого изображения целиком, а не отдельных его элементов. Предпочтительным является использование некоторой эмпирической шкалы, которая бы позволяла оценивать наличие артефактов именно с точки зрения визуального восприятия восстанавливаемого изображения ВП.

В настоящей работе предлагаются алгоритмы нивелирования артефактов вариационных автокодировщиков и проводится их эксперимен-

тальная оценка по предлагаемой методике, использующей эмпирическую шкалу артефактов автокодировщиков.

Нейросетевой кодек

Предлагаемые в данной работе алгоритмы нивелирования артефактов предназначены для использования в рамках нейросетевого кодека передачи FPV-видеопотока. Их возможные области применения, тем не менее, не ограничиваются нейросетевыми кодеками и FPV-управлением.

В данной работе используется нейросетевой кодек, основанный на представленном в исследовании [1]. Он состоит из кодера (рисунок 4) и декодера (рисунок 5). Нейросетевой кодек размещается на БС и предназначен для осуществления процессов сжатия кадров. Нейросетевой декодер размещается на СВП и предназначен для восстановления кадров с целью дальнейшего их отображения ВП.

f – пиксельные данные кадра в разрешении 1280×720 до интерполяции. f представляет собой многомерный массив типа данных uint8 размер-

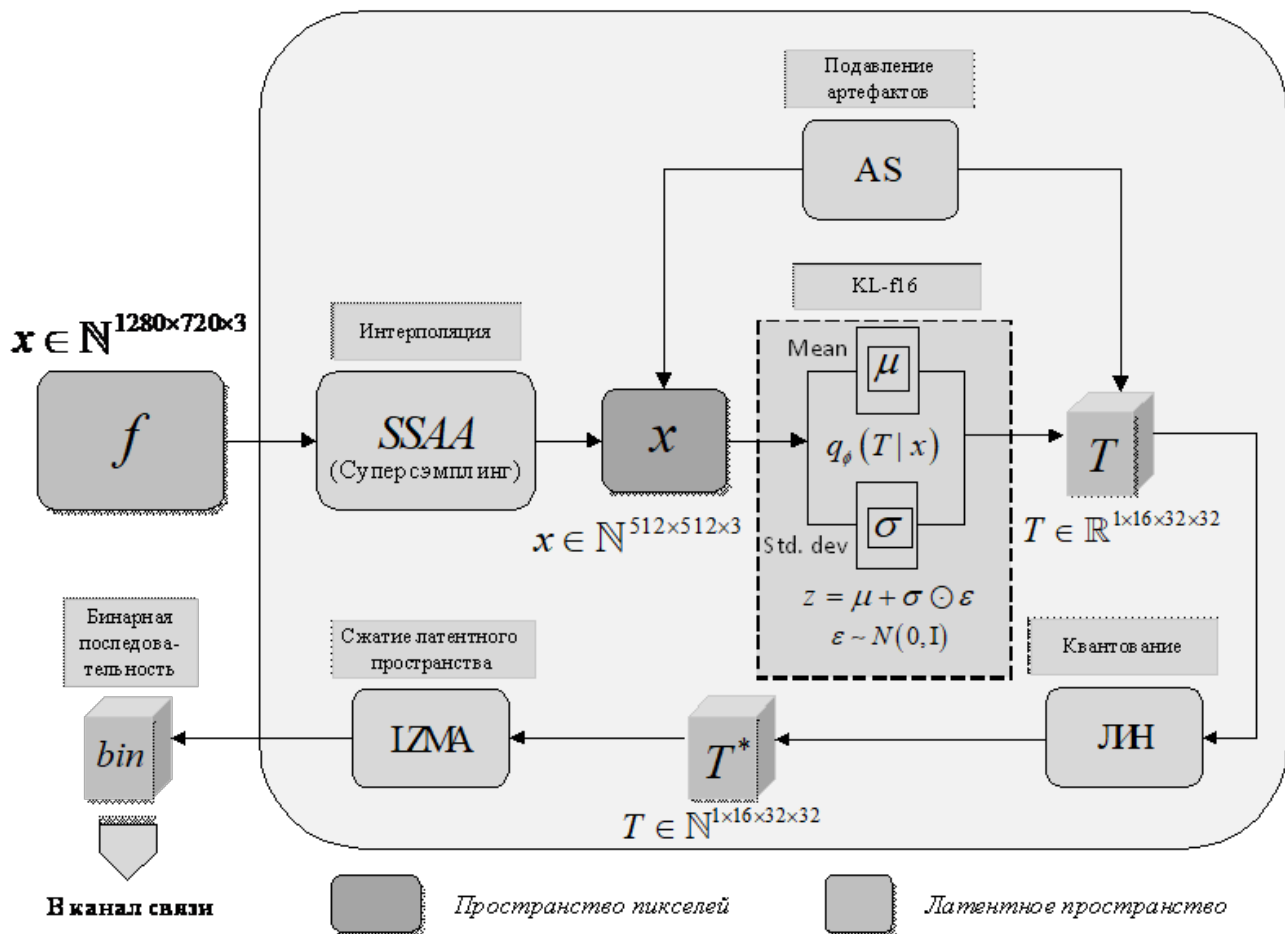


Рисунок 4. Нейросетевой кодек

ности (720, 1280, 3), где 3 – число каналов (RGB). Значения пикселей: от 0 до 255.

x – пиксельные данные интерполированного кадра в разрешении 512×512. В отличие от f , x переводятся в формат тензора типа данных float16. Размерность: (3, 512, 512). Значения пикселей: от 0 до 1 в соответствии с формулой:

$$\forall i, j, k : \begin{cases} i \in [0; 511], i \in N \cup \{0\} \\ j \in [0; 511], j \in N \cup \{0\} : x_{ijk} = \frac{x_{ijk}^*}{255}, \\ k \in \{0, 1, 2\} \end{cases}$$

где i, j и k – индексы значения тензора, x_{ijk} – значение тензора x , а x^* – соответствующие uint8 значения.

T – тензор латентного пространства типа данных float16 размерности (1, 8, 32, 32).

T^* – квантованный к типу данных uint8 тензор T .

bin – сжатая бинарная последовательность для передачи по линии связи с землей.

Нейросетевой кодек для исследования [1] предполагает возможность использования нескольких алгоритмов сжатия. В данном исследовании используется его частный случай с алгоритмом сжатия LZMA.

В качестве вариационного автокодировщика вместо VQ-f16 из исследования [1] используется KL-f16 из моделей Stable Diffusion [18]. Причи-

ной этого является большая выраженность артефактов автокодировщиков в последнем.

Параметры линейного квантования (ЛИН), рассчитаны для KL-f16 и равны -20,96 и 7,78.

Алгоритмы нивелирования артефактов автокодировщиков

Предлагаемые алгоритмы нивелирования артефактов основываются на гипотезе о том, что артефакты автокодировщиков часто проявляются в темных и светлых областях. В этой связи источник их возникновения – группы близких по RGB-значениям пикселей, значения R, G и B которых вместе близки к 0 или 255. Таким образом, кодирование данных областей приводит к сильному отклонению значений латентного пространства, что, в свою очередь, создает проблему восстановления данных областей при декодировании.

Алгоритмы нивелирования артефактов автокодировщиков могут применяться на трех этапах: предобработке, промежуточной обработке и постобработке. Предварительная обработка выполняется на стороне нейросетевого кодера до кодирования. Промежуточная обработка выполняется после кодирования и до этапа декодирования, затрагивая латентное пространство, и может выполняться как на кодере, так и на де-

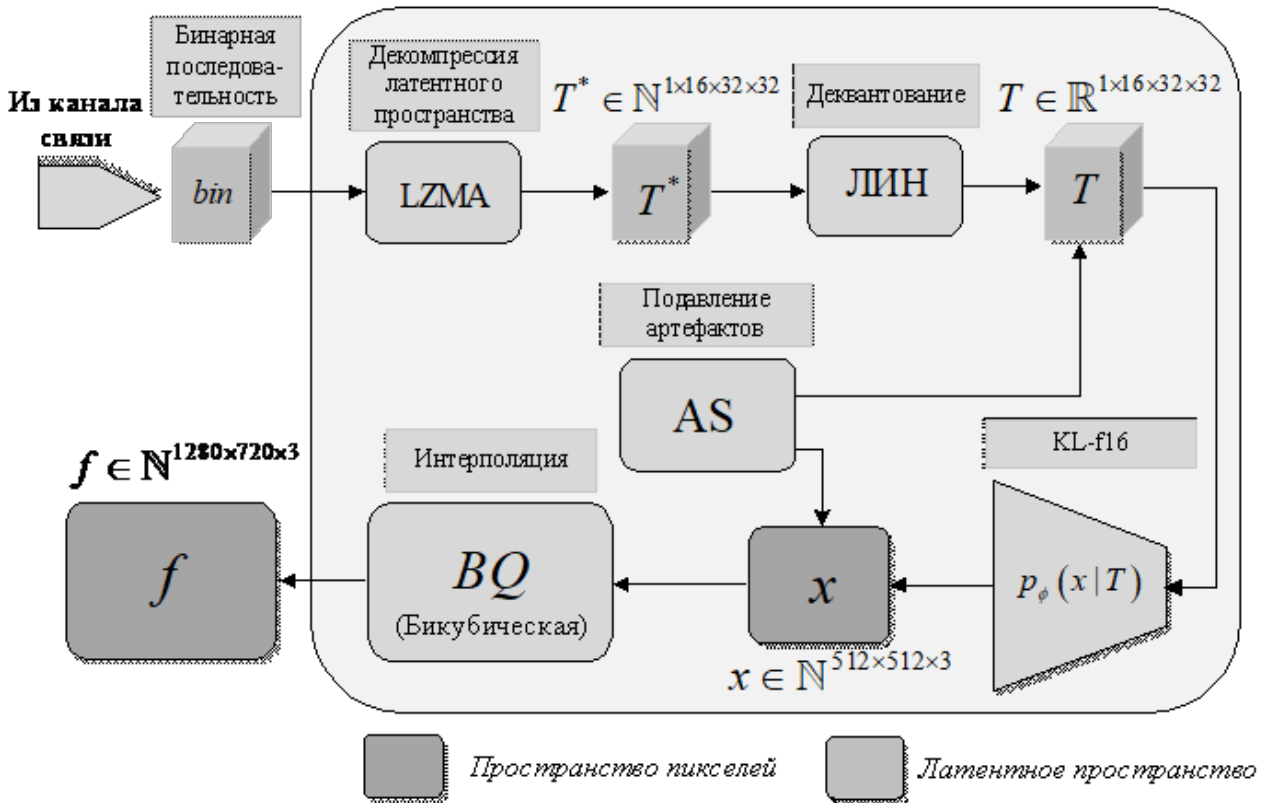


Рисунок 5. Нейросетевой декодер

кодере. Постобработка выполняется после декодирования на восстановленном изображении на стороне СВП. При этом, как предобработка, так и постобработка могут выполняться как с исходными пиксельными данными в формате пикселей uint8 (стандартный вариант RGB – f), так и в формате интенсивности отдельных цветов пикселей в float16 (x). Промежуточная обработка может затрагивать как квантованный тензор T^* , так и не квантованный T . В рамках одного алгоритма нивелирования артефактов может выполняться несколько видов обработки.

Первый алгоритм нивелирования артефактов ASMoveDistribution (перенос распределения) не является новой разработкой и был обнаружен путем проведения анализа кода программных реализаций таких систем сжатия изображений, как Stable Diffusion [18] и CDC Compression (Lossy Image Compression with Conditional Diffusion Models) [19]. В рамках данного алгоритма осуществляется как предобработка, так и постобработка, затрагивающие x . Пусть x' – новые значения тензора, тогда при предобработке они рассчитываются в соответствии с выражением:

$$x' = x \times 2 - 1,$$

а при постобработке исходные значения восстанавливаются в соответствии с выражением:

$$x = \begin{cases} 1, \frac{x'+1}{2} > 1 \\ \frac{x'+1}{2}, \frac{x'+1}{2} \in [0;1] \\ 0, \frac{x'+1}{2} < 0 \end{cases}.$$

Второй алгоритм нивелирования артефактов ASCutEdgeColors (отсечение крайних цветов), одна из новых разработок, которая предлагается в настоящей работе. В отличие от ASMoveDistribution, предлагаемый метод является параметрическим с входным параметром delta. Используется только в предобработке применительно к f . Его принцип работы заключается в замене значений пикселей, значения всех RGB-цветов которых близки к 255 ближе delta и ближе, на (255 – delta):

$$\forall i, j : f'_{ij} = \begin{cases} f_{ij}, \exists k \in \{0,1,2\} : f_{ijk} \notin (255 - \delta, 255] \\ [255 - \delta, 255 - \delta, 255 - \delta], \\ k \in \{0,1,2\} : f_{ijk} \in (255 - \delta, 255] \end{cases},$$

где f' – новые значения f .

Таким образом, убираются области пикселей, которые, согласно гипотезе, являются источниками данных артефактов. При достаточно малых

значениях delta изменения на изображении незаметны для ВП и не оказывают влияния на возможность FPV-управления БС.

Третий алгоритм нивелирования артефактов ASComposit (композит), является комбинацией первых двух алгоритмов: переноса распределения и отсечения крайних цветов.

Четвертый алгоритм нивелирования артефактов ASCutEdgeValues (отсечение крайних значений) предназначен для промежуточной обработки тензора латентного пространства T и T^* . Он основывается на гипотезе о том, что области латентного пространства, которые при декодировании обращаются в артефакты изображения, являются значениями латентного пространства, достаточно отдаленными от среднего. Как и первый и третий алгоритмы, он также является параметрическим, принимая на вход значение K – коэффициент межквартильного интервала IQR. Новые значения T' получаются по формуле:

$$\forall i : T'_i = \begin{cases} Q_1, T_i < Q_1 - K \times IQR \\ T_i, T_i \in [Q_1 - K \times IQR; Q_3 + K \times IQR], \\ Q_3, T_i > Q_3 + K \times IQR \end{cases},$$

где Q_1 – первый квартиль, Q_3 – второй квартиль, а i – наборы индексов тензора латентного пространства T .

Его главная особенность заключается в возможности использования при обработке латентного пространства без информации об исходном изображении.

Пятый алгоритм нивелирования артефактов ASLatentComposit (латентный композит) является комбинацией первого (ASMoveDistribution) и четвертого (ASCutEdgeValues) алгоритмов. Он принимает на вход значение K .

Эмпирическая шкала оценки артефактов автокодировщиков

Для оценки методов нивелирования артефактов автокодировщиков необходима шкала их оценки. В настоящей работе предлагается пяти- (шести-) балльная шкала (таблица 1). В случае, когда наличие артефактов подразумевается изначально и есть необходимость их оценить, следует использовать сокращенный (пятибалльный) вариант шкалы: без значения 0 – чистого изображения. В противном случае – ее полный (шестибалльный) вариант.

Ключевым критерием оценки по данной шкале является их влияние на возможность восприятия исходного изображения. Влиянию воз-

возможности восприятия соответствует характер (сплошной либо распределенный), расположение (локализация в одном или нескольких местах) и масштаб (малый, средний, большой) артефактов автокодировщиков.

Таблица 1. Эмпирическая шкала артефактов автокодировщиков

#	Название	Описание
0	Чистое изображение	Артефакты автокодировщиков отсутствуют
1	Пиксельная рябь	Артефакты автокодировщиков представляют собой распределенные пиксели в темных или светлых областях. Не создают помех для восприятия исходного изображения
2	Малые сплошные артефакты	На изображении присутствует одна-две области сплошных артефактов автокодировщиков. Сами области составляют незначительную часть от всего изображения. Помех для восприятия исходного изображения кроме данных незначительных областей нет
3	Средние сплошные артефакты	На изображении присутствуют три и более области сплошных артефактов малых и средних размеров. Присутствуют помехи для восприятия ряда областей изображения, но восприятие изображения в целом возможно
4	Большие сплошные артефакты	Наличие одной или нескольких областей сплошных артефактов автокодировщиков, покрывающих значительную часть изображения. Существенные помехи в восприятии изображения. Есть возможность восприятия лишь отдельных областей, имеются затруднения с пониманием общего содержания изображения
5	Полные сплошные артефакты	Сплошные артефакты покрывают все изображение полностью или абсолютно большую его часть. Восприятие исходного изображения невозможно

В случае признаков нескольких оценок следует выбирать наибольшую оценку. Например,

при наличии двух малых областей сплошных артефактов и пиксельной ряби в нескольких других местах следует выбирать оценку 2 (малые сплошные артефакты), не учитывая пиксельную рябь.

Предлагаемая шкала является эмпирической. Соответственно, возможны пограничные случаи, когда возможно поставить обе оценки. В таких случаях рекомендуется оценить, насколько велика помеха от артефактов для восприятия изображения.

Набор данных

В настоящем исследовании используется авторский набор данных, состоящий из 100 кадров, извлеченных из видеозаписи полета БАС (рисунок 6). Кадры данной видеозаписи характеризуются наличием резко светлых и темных областей, что приводит к высокой частоте появления артефактов автокодировщиков.



Рисунок 6. Примеры кадров набора данных

Извлечение проведено равномерно из всей видеозаписи согласно методике, разработанной в исследовании [1] и также применявшейся в работе [2].

Методика экспериментов

В рамках одного эксперимента выполняется преобразование всех 100 кадров набора данных нейросетевым кодеком: кодером и декодером последовательно. Затем сто кадров оцениваются по предлагаемой эмпирической шкале артефактов автокодировщиков.

Конфигурации экспериментов:

1. Без нивелирования артефактов.
2. Перенос распределения.

3. Отсечение крайних цветов. Значения параметра δ : 5, 15, 20, 25, 30.

4. Композит. Значения параметра δ : 5, 15, 20, 25, 30.

5. Отсечение крайних значений. Значения параметра K : 0,50, 1,00, 1,50.

6. Латентный композит при $K = 1,50$.

Итого проводится 16 экспериментов.

Эксперименты

В результате проведения экспериментов была получена оценка количества кадров при каждой конфигурации в соответствии с каждым значением эмпирической шкалы артефактов автокодировщиков (таблица 2).

Визуальные искажения при применении всех рассматриваемых видов нивелирования артефактов являются незначительными, но в отдельных случаях присутствуют (рисунок 7). При значениях δ более 15 в ASCutEdgeColors и ASComposit проявляется искажение наиболее светлых и темных областей, что становится заметно при просмотре кадров. В случае ASCutEdgeValues при $K < 1,5$ проявляются заметные искажения в визуальных чертах изображений.

При ASMoveDistribution сплошные артефакты частично сохраняются, но в большинстве случаев становятся очень малозаметными. Кроме того, полностью исчезает пиксельная рябь.

ASCutEdgeColors эффективно устраняет большинство артефактов, но отдельные из них (которые не встречались в VQ-f16, но встречаются в KL-f16) не удается устранить с помощью данного метода.

Метод ASComposit позволяет полностью устранить пиксельную рябь и большую часть артефактов, а сохраняющиеся артефакты в подавляющем большинстве случаев являются малозаметными.

ASCutEdgeValues при $K \geq 1,00$ устраняет большинство артефактов, сохраняющиеся артефакты выглядят смазано и являются малозаметными, но метод малоприменим по причине существенных визуальных искажений изображения.

Лучше всего показывает себя алгоритм ASLatentComposit при $K = 1,50$. Он устраняет абсолютное большинство артефактов с небольшими цветовыми искажениями. Сохраняющиеся же артефакты смазаны и незаметны.

Полученные результаты показывают, что большинство артефактов автокодировщиков появляются из-за присутствия в латентном пространстве значений, достаточно далеких от их среднего значения. С другой стороны, не все артефакты автокодировщиков появляются в наиболее светлых и темных областях пиксельного пространства исходного изображения.

Заключение

В настоящем исследовании рассмотрены артефакты вариационных автокодировщиков и пред-

Таблица 2. Результаты экспериментов, проведенных с применением методов нивелирования артефактов

Номер эксперимента	Метод нивелирования артефактов	0	1	2	3	4	5
1	Без нивелирования артефактов	4	4	14	58	19	1
2	Перенос распределения	41	0	49	10	0	0
3	Отсечение крайних цветов: $\delta = 5$	4	12	7	57	19	1
4	Отсечение крайних цветов: $\delta = 10$	4	15	30	40	11	0
5	Отсечение крайних цветов: $\delta = 15$	5	13	35	40	7	0
6	Отсечение крайних цветов: $\delta = 20$	5	14	38	40	3	0
7	Отсечение крайних цветов: $\delta = 25$	5	14	38	40	3	0
8	Композит: $\delta = 5$	74	0	22	4	0	0
9	Композит: $\delta = 10$	78	0	18	4	0	0
10	Композит: $\delta = 15$	82	0	14	4	0	0
11	Композит: $\delta = 20$	80	0	16	4	0	0
12	Композит: $\delta = 25$	78	0	18	4	0	0
13	Отсечение крайних значений: $K = 0,50$	21	79	0	0	0	0
14	Отсечение крайних значений: $K = 1,00$	93	6	1	0	0	0
15	Отсечение крайних значений: $K = 1,50$	87	11	2	0	0	0
16	Латентный композит: $K = 1,50$	98	0	2	0	0	0

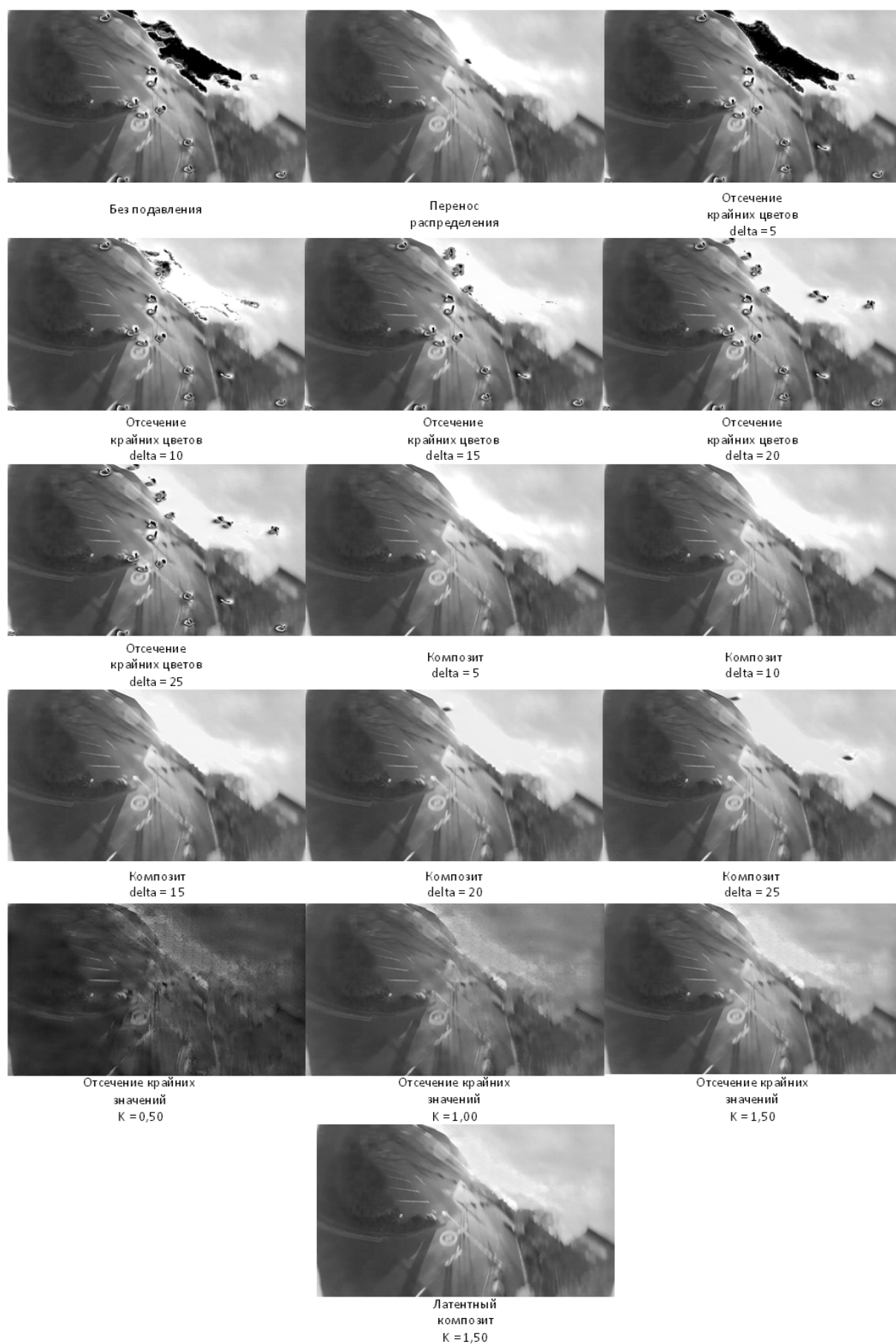


Рисунок 7. Эффект нивелирования артефактов с применением различных алгоритмов на примере одного кадра

ложена эмпирическая шкала их оценки в полном (шестибальная) и сокращенном (пятибальная) вариантах.

Рассмотрено пять алгоритмов нивелирования артефактов, четыре из которых являются новыми и один не требует вмешательства в исходное изображение.

Наибольшее количество артефактов позволяют убрать алгоритмы ASComposit с параметром $\delta = 15$ (81,25%), ASCutEdgeValues с параметром $K = 1,50$ (86,46%) и ASLatentComposit с параметром $K = 1,50$ (97,92%). Наименьшие искажения изображения из них наблюдаются у алгоритма ASComposit с параметром $\delta = 15$ (81,25%), который и рекомендуется использовать для нивелирования артефактов автокодировщиков.

С помощью алгоритма ASCutEdgeValues возможно нивелирование артефактов только на стороне нейросетевого декодера, для остальных алгоритмов требуются также манипуляции на стороне нейросетевого кодера.

Использование рассмотренных в настоящей работе алгоритмов позволяют устранять большинство артефактов автокодировщиков с небольшими визуальными искажениями. Данное исследование, таким образом, позволяет существенно облегчить решение проблемы появления артефактов на кадрах FPV-видеопотока при использовании нейросетевых автокодировщиков.

Научная работа выполнена в рамках прикладных научных исследований Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича (СПбГУТ), регистрационный номер 1023031600087-9-2.2.4; 2.2.5; 2.2.6; 1.2.1; 2.2.3.

Литература

1. Исследование методов латентного сжатия видеопотока при FPV управлении беспилотными системами / А.А. Березкин [и др.] // Электросвязь. 2024. № 6. С. 26–36.
2. Исследование методов квантования латентного пространства вариационного автокодировщика для кадров FPV видеопотока. Часть I / А.А. Березкин [и др.] // Электросвязь. 2024. № 6. С. 10–16.
3. Проект стратегии развития отрасли связи Российской Федерации на период до 2035 года [утвержден Правительством Российской Федерации 24 ноября 2023 г.]. URL: <https://digital.gov.ru/ru/documents/9120/> (дата обращения: 27.07.2024).
4. Рекомендация МСЭ Т Н.264. Усовершенствованное кодирование изображения для общих аудиовизуальных услуг. Женева, 2008. 342 с.
5. Recommendation ITU-T H.265 (V9). High Efficiency Video Coding. Geneva, 2023. 718 p.
6. ISO/IEC 10918-1:1994. Information Technology – Digital Compression and Coding of Continuous-Tone Still Images: Requirements and Guidelines. URL: <https://www.iso.org/ru/standard/18902.html> (дата обращения: 27.07.2024).
7. Barman N., Martini M.G. An evaluation of the next-generation image coding standard AVIF // 2020 Twelfth International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX). 2020. P. 1–4.
8. Ginesu G., Pintus M., Giusto D.D. Objective assessment of the WebP image coding algorithm // Signal Processing: Image Communication. 2012. Vol. 27, no. 8. P. 867–874.
9. Исследование методов квантования латентного пространства вариационного автокодировщика для кадров FPV видеопотока. Часть II / А.А. Березкин [и др.] // Электросвязь. 2024. № 7. С. 16–25.
10. Jiang J., Zhang K., Timofte R. Towards flexible blind JPEG artifacts removal // IEEE/CVF International Conference on Computer Vision. 2021. P. 4997–5006.
11. Saveljev V., Kim S.K., Kim J. Moire effect in displays: A tutorial // Optical Engineering. 2018. Vol. 57, no. 3. URL: https://www.researchgate.net/publication/324074641_Moire_effect_in_displays_A_tutorial (дата обращения: 22.07.2024).
12. Zaitsev M., Maclaren J., Herbst M. Motion artifacts in MRI: a complex problem with many partial solutions // Journal of Magnetic Resonance Imaging. 2015. Vol. 42, no. 4. P. 887–901.
13. Castellanos N.P., Makarov V.A. Recovering EEG brain signals: artifact suppression with wavelet enhanced independent component analysis // Journal of Neuroscience Methods. 2006. Vol. 158, no. 2. P. 300–312.
14. Wagenaar D.A., Potter S.M. Real-time multi-channel stimulus artifact suppression by local curve fitting // Journal of Neuroscience Methods. 2002. Vol. 120, no. 2. P. 113–120.
15. Deep generative adversarial compression artifact removal / L. Galteri [et al.] // IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). 2017. P. 4826–4835.
16. Cavigelli L., Hager P., Benini L. CAS-CNN: A deep convolutional neural network for image compression artifact suppression // 2017 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN). 2017. P. 752–759.

17. Deep learning-based compressed image artifacts reduction based on multi-scale image fusion / C.H. Yeh [et al.] // Information Fusion. 2021. Vol. 67, no. 4. P. 195–207.
18. Github. Stable diffusion: development repository. URL: <https://github.com/pesser/stable-diffusion/tree/main> (дата обращения: 28.07.2024).
19. Github. Lossy image compression with conditional diffusion models. URL: https://github.com/buggyyang/CDC_compression (дата обращения: 28.07.2024).

Получено 02.08.2024

Березкин Александр Александрович, к.т.н., доцент кафедры программной инженерии и вычислительной техники (ПИИВТ) Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича (СПбГУТ). 193232, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, пр. Большевиков, 22-1. Тел. +7 921 791-61-20. E-mail: berezkin.aa@sut.ru

Ченский Александр Александрович, магистрант кафедры ПИИВТ СПбГУТ. 193232, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, пр. Большевиков, 22-1. Тел. +7 911 091-35-57. E-mail: chenskii.aa@sut.ru

Киричек Руслан Валентинович, д.т.н., ректор, профессор кафедры ПИИВТ СПбГУТ. 193232, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, пр. Большевиков, 22-1. Тел. +7 812 305-12-00. E-mail: kirichek@sut.ru

SUPPRESSION OFN THE VIDEO STREAM FRAMES PROCESSED BY UNMANNED SYS-TEMS USING FPV CONTROL

Berezkin A.A., Chenskiy A.A., Kirichek A.A.

*Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications,
Saint Petersburg, Russian Federation*

E-mail: berezkin.aa@sut.ru, chenskii.aa@sut.ru, kirichek@sut.ru

Using packet networks for first-person control of unmanned systems arises a problem of large transmitted data volumes. The largest volume of traffic during first-person control is presented by video stream frames. So, to improve the efficiency of the communication network between unmanned systems and external pilot station, it is necessary to compress video stream frames. A high compression degree can be provided by using variational autoencoders. One of the problems of using variational autoencoders for frame compression is the occurrence of specific artifacts in frames. This article proposes methods for suppressing the occurrence of artifacts when restoring frames from the latent space by a neural network decoder, as well as an empirical scale for assessing autoencoder artifacts. The approach proposed encompasses preparing pixel data of a video stream frame for encoding and further reconstruction after decoding. It is experimentally shown that one of the proposed methods allows eliminating the absolute majority of artifacts without introducing significant distortions into the reconstructed frames.

Keywords: *neural network, artifact suppression, frame artifacts, video stream transmission, variational autoencoder, neural codec, FPV-control, first person view control, unmanned systems, UAV, unmanned aircraft vehicles*

DOI: 10.18469/ikt.2024.22.1.01

Berezkin Alexander Alexandrovich, Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications, 22-1, Bolshevnikov Avenue, Saint Petersburg, 193232, Russian Federation; Associate Professor of Program Engineering and Computer Science Department, PhD in Technical Science. Tel. +7 921 791-61-20. E-mail: berezkin.aa@sut.ru

Chenskiy Alexander Alexandrovich, Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications, 22-1, Bolshevnikov Avenue, Saint Petersburg, 193232, Russian Federation; Master's Degree Student of Program Engineering and Computer Science Department. Tel. +7 911 091-35-57. E-mail: chenskii.aa@sut.ru

Kirichek Ruslan Valentinovich, Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications, 22-1, Bolshhevikov Avenue, Saint Petersburg, 193232, Russian Federation; Rector, Professor of Program Engineering and Computer Science Department, Doctor of Technical Science. Tel. +7 812 305-12-00. E-mail: kirichek@sut.ru

References

1. Berezkin A.A. et al. Research of latent video stream compression methods for FPV control of uavs. *Elektrosvyaz*, 2024, no. 6, pp. 26–36. (In Russ.)
2. Berezkin A.A. et al. Research of latent space quantization methods of variational autoencoder for FPV video stream frames. Part I. *Elektrosvyaz*, 2024, no. 6, pp. 10–16. (In Russ.)
3. Project of the strategy for the development of the telecommunications industry of the Russian Federation for the period up to 2035 [adopted by the Government of Russian Federation on November 24, 2023]. URL: <https://digital.gov.ru/ru/documents/9120/> (accessed: 27.07.2024). (In Russ.)
4. ITU-T Recommendation H.264. Improved Image Encoding for General Audiovisual Services. Geneva, 2008, 342 p. (In Russ.)
5. ITU-T Recommendation H.265 (V9). High Efficiency Video Coding. Geneva, 2023, 718 p.
6. ISO/IEC 10918-1:1994. Information Technology – Digital Compression and Coding of Continuous-Tone Still Images: Requirements and Guidelines. URL: <https://www.iso.org/ru/standard/18902.html> (accessed: 27.07.2024).
7. Barman N., Martini M.G. An evaluation of the next-generation image coding standard AVIF. *2020 Twelfth International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX)*, 2020, pp. 1–4.
8. Ginesu G., Pintus M., Giusto D.D. Objective assessment of the WebP image coding algorithm. *Signal Processing: Image Communication*, 2012, vol. 27, no. 8, pp. 867–874.
9. Berezkin A.A. et al. Research of methods of quantization of latent space of variational autoencoder for FPV video stream frames. Part II. *Elektrosvyaz*, 2024, no. 7, pp. 16–25. (In Russ.)
10. Jiang J., Zhang K., Timofte R. Towards flexible blind JPEG artifacts removal. *IEEE/CVF International Conference on Computer Vision*, 2021, pp. 4997–5006.
11. Saveljev V., Kim S. K., Kim J. Moire effect in displays: A tutorial. *Optical Engineering*, 2018, vol. 57, no. 3. URL: https://www.researchgate.net/publication/324074641_Moire_effect_in_displays_A_tutorial (accessed: 22.07.2024).
12. Zaitsev M., Maclaren J., Herbst M. Motion artifacts in MRI: A complex problem with many partial solutions. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 2015, vol. 42, no. 4, pp. 887–901.
13. Castellanos N.P., Makarov V.A. Recovering EEG brain signals: Artifact suppression with wavelet enhanced independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, 2006, vol. 158, no. 2, pp. 300–312.
14. Wagenaar D.A., Potter S.M. Real-time multi-channel stimulus artifact suppression by local curve fitting. *Journal of Neuroscience Methods*, 2002, vol. 120, no. 2, pp. 113–120.
15. Galteri L. et al. Deep generative adversarial compression artifact removal. *IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 2017, pp. 4826–4835.
16. Cavigelli L., Hager P., Benini L. CAS-CNN: A deep convolutional neural network for image compression artifact suppression. *2017 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, 2017, pp. 752–759.
17. Yeh C.H. et al. Deep learning-based compressed image artifacts reduction based on multi-scale image fusion. *Information Fusion*, 2021, vol. 67, no. 4, pp. 195–207.
18. Github. Stable diffusion: development repository. URL: <https://github.com/pesser/stable-diffusion/tree/main> (accessed: 28.07.2024).
19. Github. Lossy Image compression with conditional diffusion models. URL: https://github.com/buggyyang/CDC_compression (accessed: 28.07.2024).

Received 02.08.2024

ВЫЯВЛЕНИЕ АНОМАЛИЙ ТРАФИКА В БОРТОВОЙ СЕТИ АВТОМОБИЛЯ С ПОМОЩЬЮ РЕКУРРЕНТНОЙ LSTM НЕЙРОСЕТИ

Васин Н.Н., Захаров В.С.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: vasin-nn@psuti.ru, v.zaharov@psuti.ru

Современные сети и системы передачи информации базируются, главным образом, на использовании аппаратных средств фирм Cisco, а также (в меньшей степени) на оборудовании Huawei. Введение санкций привело к расширению производства сетевого оборудования на отечественных предприятиях, среди которых наиболее известным является предприятие Элтекс (Eltex). Серьезным недостатком Элтекс при создании и отладке сетей передачи данных, а также при подготовке специалистов по эксплуатации сетей и систем, было отсутствие программных средств моделирования сетевых устройств, подобных Packet Tracer для Cisco; eNSP для Huawei, GNS3. Для устранения указанной проблемы разработчики фирмы Элтекс создали виртуальный сервисный маршрутизатор vESR (Virtual Service Router). Маршрутизатор vESR был представлен 6 июня 2023 г. [1]. Он предназначен для конфигурирования и отладки маршрутизации, а также защиты корпоративных сетей. Установка vESR производится через гипервизоры Oracle VirtualBox или VMware ESXi в системе Linux или Windows.

Ключевые слова: передача информации, сети и системы пакетной коммутации, виртуальные машины, компьютерная модель сети и устройств, виртуальный сервисный маршрутизатор, статическая и динамическая маршрутизация, моделирование сетей и устройств, особенности конфигурирования маршрутизаторов, методика конфигурирования

Введение

Маршрутизатор vESR (Virtual Service Router, виртуальный сервисный маршрутизатор) имеет множество функций: поддерживает как статическую маршрутизацию, так и протоколы динамической маршрутизации OSPFv2/v3, IS-IS, BGP, RIPv2, RIPv6. Обеспечивает трансляцию сетевых адресов NAT. Для защиты сети использует сетевые фильтры Firewall. В магистральной сети предусмотрена возможность организации многопротокольной коммутации по меткам MPLS [2–4]. Аутентификация пользователей может проводиться на основе серверов RADIUS (Remote Authentication Dial-In User Service, расширенный протокол удаленной аутентификации пользователей), TACACS+ (Terminal Access Controller Access Control System +, сеансовый протокол), LDAP (Lightweight Directory Access Protocol, протокол прикладного уровня для доступа к службе каталогов) [5].

Таким образом, vESR охватывает практически все вопросы создания и отладки сетей и систем передачи данных на основе технологий пакетной

коммутации, а также вопросы подготовки специалистов в области их эксплуатации.

Вопросы приобретения и лицензирования vESR решаются при обращении в Элтекс: eltex@eltex-co.ru. Для скачивания доступны как платные (лицензионные), так и бесплатная версия, которая позволяет изучать работу vESR и обучать студентов. Срок действия бесплатной версии и предоставляемых ресурсов ограничен.

Команды и примеры конфигурирования сервисных маршрутизаторов ESR фирмы Элтекс приведены в руководствах по эксплуатации [6–10]. Особенности виртуальных маршрутизаторов vESR рассматриваются далее на примере схемы сети из трех виртуальных маршрутизаторов с именами: RA, RB и RC (рисунок 1).

Схема виртуальной сети

Схема на рисунке 1 является иллюстрацией конфигурируемых устройств. VirtualBox, она не позволяет формировать схему для конфигурирования устройств сети, как в симуляторах (эмуляторах) Packet Tracer, eNSP, GNS3. Моделирова-

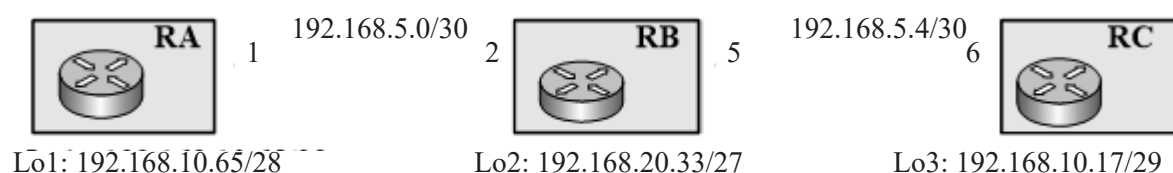


Рисунок 1. Три виртуальных сервисных маршрутизатора: RA, RB, RC

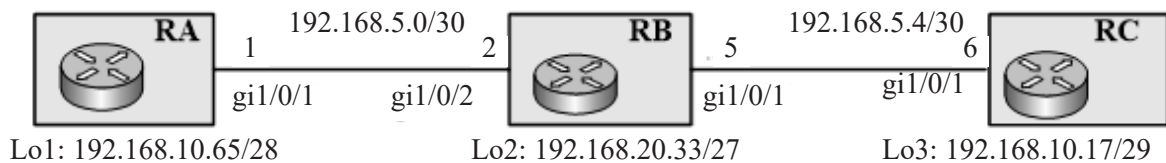


Рисунок 2. Модель виртуальной сети на vESR

ние прямо присоединенных к маршрутизаторам сетей и их шлюзов можно реализовать через виртуальные интерфейсы Loopback.

Формирование интерфейсов vESR образует виртуальную сеть (рисунок 2), в которой рассматриваются вопросы конфигурирования маршрутизации (протокола OSPF). Модель сети позволяет также отлаживать BGP, MPLS, (Multiprotocol Label Switching, многопротокольная коммутация по меткам), списки доступа ACL (Access Control List, список управления доступом и другие технологии пакетных сетей).

Начальный этап конфигурирования

На начальном этапе конфигурирования используют режим «Создать» (рисунок 3) виртуальной машины (ВМ) в среде Oracle VM VirtualBox.

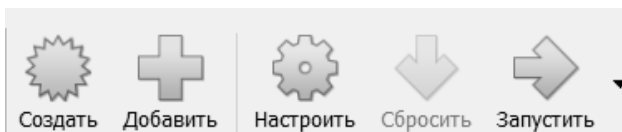


Рисунок 3. Режимы конфигурирования виртуальной машины

В режиме «Создать» задают имя ВМ, например RA;

Папку: C:\Users\Nik\VirtualBox VMs;

Образ ISO: C:\Users\Nik\Desktop\vesr-1.18.2-build4.iso;

Тип: Linux;

Версию: Other Linux (64-bit).

Затем задают размер оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) (не менее 3000 Мбайт); количество процессоров – 1.

При создании виртуального жесткого диска его размер – не менее 375 МБ.

По команде «Готово» подводится итог первого этапа конфигурирования ВМ.

На следующем этапе в режиме «Настроить» (рисунок 3) проверяют «Общие настройки». Затем в режиме «Сеть» (рисунок 4) включают 4 сетевых адаптера (для дальнейшего конфигурирования интерфейсов Ethernet маршрутизатора vESR). Ставят галочку напротив «Включить сетевой адаптер»; задают «Тип подключения: Виртуальный адаптер хоста» и «Имя: Остается по умолчанию». Конфигурацию всех четырех адаптеров вводят в действие нажатием кнопки «ОК».

Запуск виртуальной машины

С помощью кнопки «Запустить» (рисунок 3) или по двойному «клику» символа ВМ включают виртуальную машину. После запуска ВМ открывается окно GNU GRUB version 2.00 с вкладкой инсталлятора. Запуск производится клавишей «Enter» или автоматически спустя 4 секунды.

Дальнейшее конфигурирование производится в диалоговом режиме. В первом окне диалога по символу «OK» вводят команду «vESR installation». Во втором окне выбирают дисковое пространство

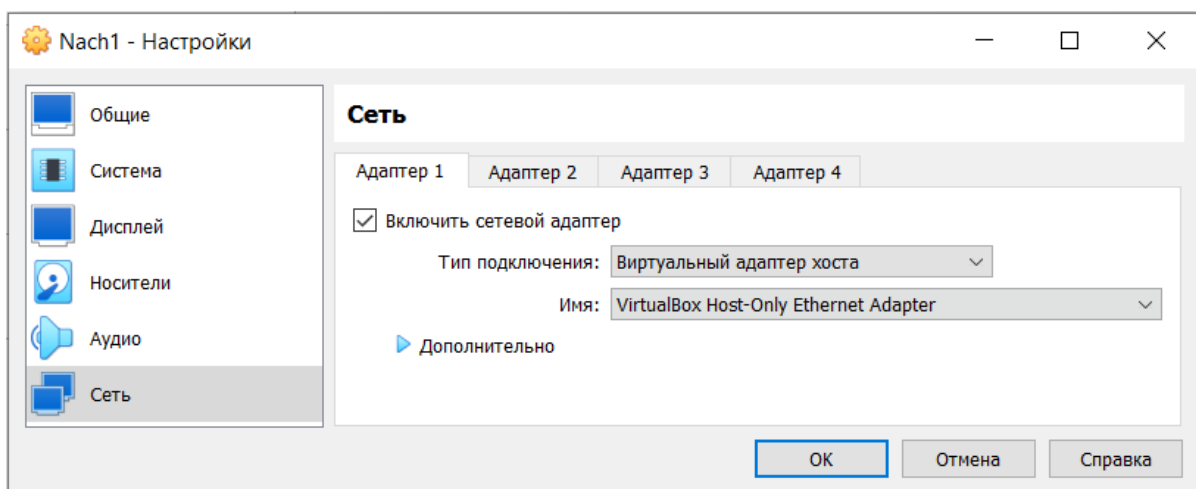


Рисунок 4. Режим «Сеть»

нажатием клавиш «Пробел», затем «ОК», в третьем меню соглашаются с установкой – «Yes».

После завершения установки на конфигурируемой ВМ, например RC, выбирают вкладку «Устройства» (рисунок 5а), затем – «Оптические диски» и изымают установочный диск «vesr-1.18.2-build4.iso» нажатием левой кнопки мыши. Принудительное изъятие диска подтверждается клавишей «Желаю» (рисунок 5б). На этом установка ВМ завершается, и необходимо произвести ее перезагрузку (Installation complete. Please,

reboot) по команде #reboot.

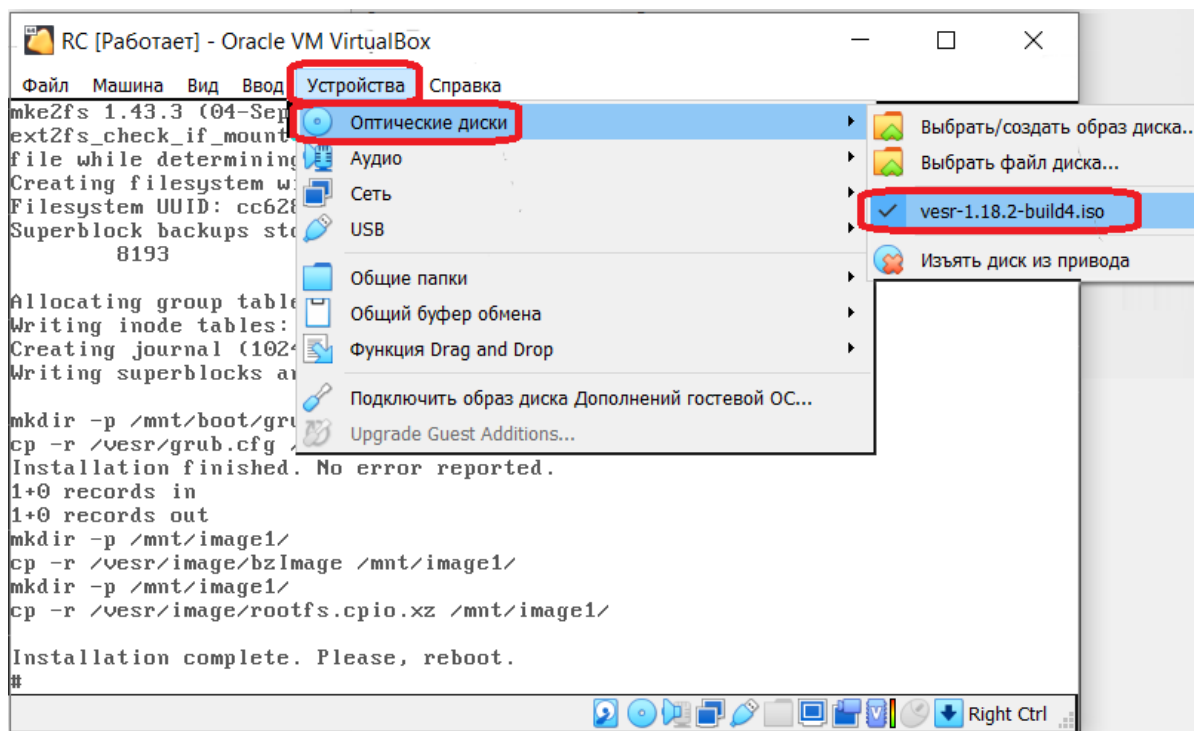
Задание логина и пароля

После перезагрузки и первого запуска требуется войти в ВМ под логином и паролем, которые задаются по умолчанию (Логин: admin. Пароль: password):

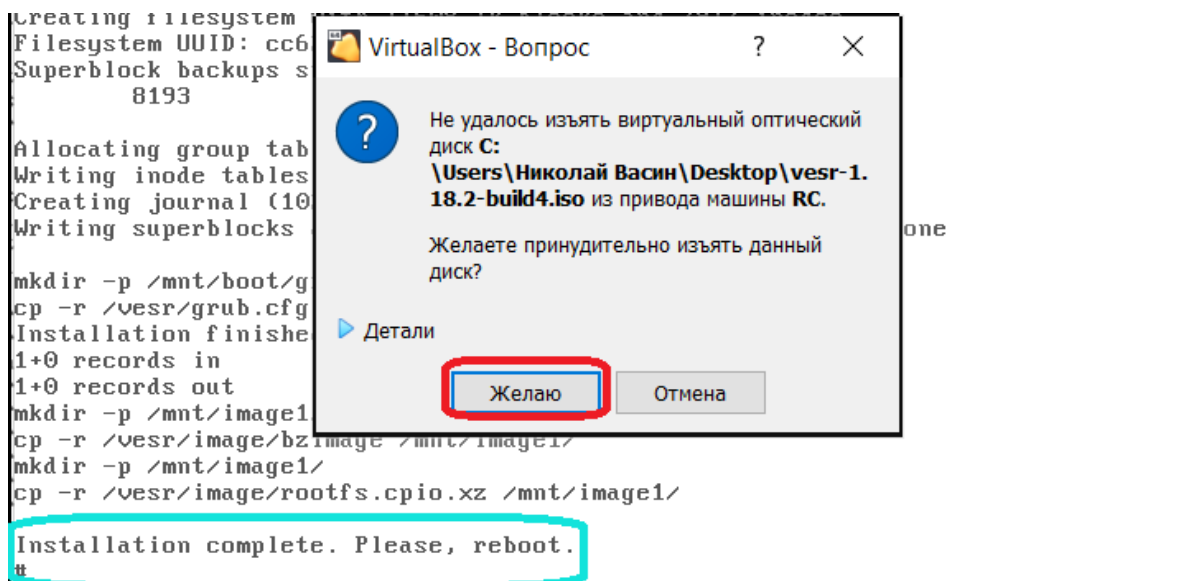
Vesr login: admin

Password: password

Далее vESR требует поменять пароль по команде:



а)



б)

Рисунок 5. Операции с оптическим диском: а) Изъятие установочного диска; б) Подтверждение изъятия

vesr(change-expired-password)# password «Ваш пароль»

Следует помнить, что любые изменения конфигурации должны подтверждаться командами «commit», «confirm».config:

vesr(change-expired-password)#commit

vesr(change-expired-password)#confirm

Формируется приглашение:

vesr#

Виртуальный маршрутизатор создан и готов к работе.

Конфигурирование интерфейсов

RA(config)#interface gi1/0/1

RA(config-if-gi)#ip firewall disable

RA(config-if-gi)#ip address 192.168.5.1/24

RA(config-if-gi)#exit

RA(config)#interface loopback 1

RA(config-loopback)#ip address

192.168.10.65/28

RA(config-loopback)#exit

RA(config)#exit

RA#commit

RA#confirm

Конфигурирование интерфейсов завершено командами commit, confirm.

Проверка текущей конфигурации проводится по команде:

RA#show running-config

hostname RA

...

interface gigabitethernet 1/0/1

ip firewall disable

ip address 192.168.5.1/30

exit

interface loopback 1

ip address 192.168.10.65/28

exit

...

Обобщенную информацию об интерфейсах RA дает команда sh ip interfaces, таблица маршрутизации отображается по команде sh ip route:

RA#show ip interfaces

IP address	Interface	Admin	Link	Type
192.168.5.1/30	gi1/0/1	Up	Up	Static
192.168.10.65/28	lo1	Up	Up	Static

RA#show ip route

C	*192.168.5.0/30	[0/0]	dev gi/0/2	[direct]
C	*192.168.10.64/28	[0/0]	dev lo1	[direct]

Конфигурирование протокола OSPF

Наиболее известным протоколом маршрутизации в настоящее время является OSPF, при котором большая сеть может быть поделена на несколько областей. Ниже приведен пример конфигурирования OSPF для сети из трех областей: area 0.0.0.0, area 1.1.1.1, area 3.3.3.3. Схема сети представлена на рисунке 6.

При конфигурировании протокола OSPF задается номер процесса, идентификатор области и адреса прямо присоединенных к vESR сетей:

RA(config)#router ospf 1

RA(config-ospf)#area 0.0.0.0

RA(config-ospf-area)#network 192.168.5.0/30

RA(config-ospf-area)#network 192.168.10.64/28

Кроме того, разрешают (включают, enable) область area и протокол OSPF:

RA(config-ospf-area)#enable

RA(config-ospf-area)#exit

RA(config-ospf)#enable

RA(config-ospf)#exit

В отличие от Cisco протокол OSPF включается на интерфейсах:

RA(config)#interface gi1/0/1

RA(config-if-gi)#ip ospf instance 1

RA(config-if-gi)#ip ospf

RA(config-if-gi)#exit

RA(config)#interface loopback 1

RA(config-loopback)#ip ospf instance 1

RA(config-loopback)#ip ospf

Выполненную конфигурацию подтверждают по командам:

RA#commit

RA#confirm

Аналогично протокол OSPF конфигурируется на RB и RC.

Проверка текущей конфигурации, например на RA, производится по команде:

RA#show running-config

...

hostname RA

router ospf 1

area 0.0.0.0


```

network 192.168.5.0/30
enable
exit
area 1.1.1.1
network 192.168.10.64/28
enable
exit
enable
interface gigabitethernet 1/0/1
ip firewall disable
ip address 192.168.5.1/30
ip ospf instance 1
ip ospf
exit
interface loopback 1
ip address 192.168.10.65/28
ip ospf instance 1
ip ospf area 1.1.1.1
ip ospf
exit

```

Текущая конфигурация отображает все основные параметры vESR.

В результате конфигурирования интерфейсов и протокола OSPF на виртуальных маршрутизаторах RA, RB, RC сформировались таблицы маршрутизации (рисунок 7).

Из таблицы маршрутизации RA следует, что

OSPF проложил три маршрута:

- два маршрута к сетям 192.168.5.4/30, 192.168.20.32/27 с метрикой 20, помеченные символом O;

- маршрут к сети 192.168.10.16/29 с метрикой 30, помеченный символом O IA (OSPF Inter Area).

Предпочтение (аналог административного расстояния Cisco) всех маршрутов к удаленным сетям (созданных OSPF) составляет 150. Каждое соединение сети, включающее интерфейс GigabitEthernet, характеризуется метрикой (стоимостью Cost = 10), что можно увидеть путем запуска команды show ip ospf interface (рисунок 8).

Проверка функционирования устройств сети проводится по команде:

```

RA#ping 192.168.10.17
!!!!

```

Сообщения успешно передаются между узлами сети.

Заключение

Разработка виртуального сервисного маршрутизатора vESR является серьезным этапом в вопросах отладки создаваемых сетей пакетной коммутации и обучения студентов новым сетевым технологиям на основе отечественного оборудования Элтекс. Создание vESR – важный шаг в борьбе с санкциями в области сетевых технологий.

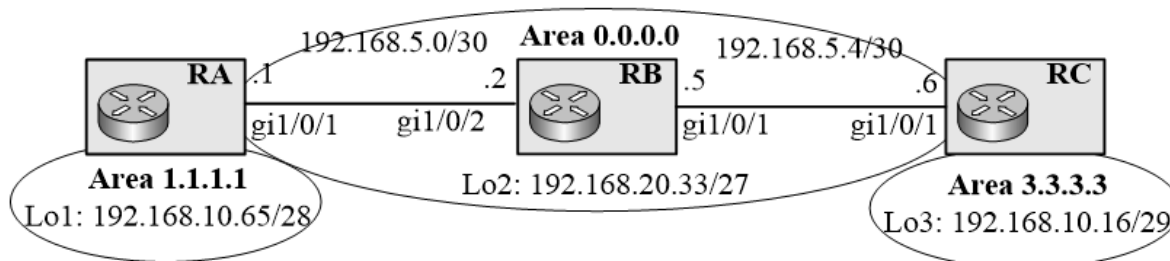


Рисунок 6. Модель сети с несколькими областями OSPF

```

RA# show ip route
Codes: C - connected, S - static, R - RIP derived,
       O - OSPF derived, IA - OSPF inter area route,
       E1 - OSPF external type 1 route, E2 - OSPF external type 2 route
       B - BGP derived, D - DHCP derived, K - kernel route, U - URRP route
       i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
       * - FIB route

O      * 192.168.5.4/30      [150/20]      via 192.168.5.2 on gi1/0/1      I
ospf1 08:21:43] (192.168.10.17)
C      * 192.168.10.64/28    [0/0]       dev lo1                        I
direct 08:18:29]
O      * 192.168.20.32/27    [150/20]      via 192.168.5.2 on gi1/0/1      I
ospf1 08:21:43] (192.168.20.33)
C      * 192.168.5.0/30      [0/0]       dev gi1/0/1                   I
direct 08:18:29]
O IA   * 192.168.10.16/29    [150/30]      via 192.168.5.2 on gi1/0/1      I
ospf1 08:22:28] (192.168.10.17)
RA# _

```

Рисунок 7. Таблица маршрутизации RA

```

RA# sh ip ospf interface
Interface:                gigabitethernet 1/0/1
Internet Address:         192.168.5.0/30
Router ID:                192.168.10.65
Network Type:             broadcast
Area:                    0.0.0.0 (0)
Interface has:            no authentication
Transmit:                 1
State:                   DR
Priority:                  128
Cost:                     10

```

Рисунок 8. Таблица параметров интерфейса

Литература

1. Васин Н.Н. Технологии пакетной коммутации: учебник. СПб.: Лань, 2019. 284 с.
2. Васин Н.Н. Технологии пакетной коммутации: учебник. М.: ИНТУИТ, 2017. 408 с.
3. Васин Н.Н. Основы построения сетей пакетной коммутации. URL: <https://intuit.ru/studies/courses/3645/887/info> (дата обращения: 30.04.2024).
4. VESR – новое программное решение для маршрутизации и защиты корпоративной сети. URL: https://eltex-co.ru/pressroom/news/vesr_novoe_programmnoe_reshenie_dlya_marshrutizatsii_i_zashchity_korporativnoy_seti/ (дата обращения: 30.04.2024).
5. VirtualBox. URL: <https://www.virtualbox.org/> (дата обращения: 02.05.2024).
6. Сервисные маршрутизаторы серии ESR. Руководство по эксплуатации. Версия ПО 1.20. URL: https://eltex-co.ru/upload/iblock/744/9d-ccvmiotdt7hq3evxulld3upp8sv83uu/ESR-Series_User_manual_1.20.pdf (дата обращения: 02.05.2024).
7. Маршрутизаторы серии ESR. ESR-10, ESR-12. Руководство по эксплуатации. URL: https://zscom.ru/image/data/2017_new_data/eltex/esr_10.pdf (дата обращения: 03.05.2024).
8. Сервисные маршрутизаторы серии ESR. Руководство по эксплуатации. Описание функционала (02.04.2020). Версия ПО 1.8.5. URL: https://eltexalatau.kz/upload/iblock/d99/esr_series_functionality_description_1.8.5.pdf (дата обращения: 04.05.2024).
9. Сети и системы передачи информации: Телекоммуникационные сети: учебник и практикум / К.Е. Самуйлов [и др.]. М.: Юрайт, 2016. 363 с.
10. Васин Н.Н. Маршрутизация и коммутация. URL: https://intuit.ru/studies/professional_skill_improvements/20700/courses/888/info (дата обращения: 30.04.2024).

Получено 08.05.2024

Васин Николай Николаевич, д.т.н., профессор кафедры сетей и систем и связи (ССС) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). 443010, Российская Федерация, г. Самара, ул. Л. Толстого, 23. Тел. +7 917 103-05-44. E-mail: vasin-nn@psuti.ru

Захаров Владислав Сергеевич, заведующий учебными лабораториями кафедры СССР ПГУТИ. 443010, Российская Федерация, г. Самара, ул. Л. Толстого, 23. Тел. +7 917 152-96-92. E-mail: v.zaharov@psuti.ru

TVIRTUAL SERVICE ROUTER VESR IN PACKET SWITCHING NETWORKS

Vasin N.N., Zakharov V.S.

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation

E-mail: vasin-nn@psuti.ru, v.zaharov@psuti.ru

Modern networks and data transmission systems are based mainly on the use of Cisco hardware, as well as (to a lesser extent) Huawei equipment. The introduction of sanctions led to the expansion of by domestic enterprises, among which the most famous is the Eltex. A serious disadvantage of Eltex when creating and debugging data networks, as well as when training specialists in operating networks and systems, was the lack of software tools for modeling network devices, such as Packet Tracer for Cisco; eNSP for Huawei, GNS3. To resolve this problem, Eltex developers created

«vESR» (Virtual Service Router). The vESR router was introduced on June 6, 2023 [1]. It is designed for configuring and debugging routing, as well as protecting corporate networks. vESR is installed via Oracle VirtualBox or VMware ESXi hypervisors on the Linux or Windows system.

Keywords: *information transfer, networks and packet switching systems, virtual machines, computer model of networks and devices, virtual service router, static and dynamic routing, network and device modeling packages, features of configuring routers and switches, configuration*

DOI: 10.18469/ikt.2024.22.1.02

Vasin Nicolay Nicolaevich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23, L. Tolstoy Street, Samara, 443010, Russian Federation; Professor of Networks and Communication Systems Department, Doctor of Technical Sciences. Tel. +7 917 103-05-44. E-mail: vasin-nn@psuti.ru

Zakharov Vladislav Sergeevich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23, L. Tolstoy Street, Samara, 443010, Russian Federation; Head of Laboratory Networks and Communication Systems Department. Tel. +7 917 152-96-92. E-mail: v.zaharov@psuti.ru

References

1. Vasin N.N. Packet Switching Technologies: Textbook. Saint Petersburg: Lan', 2019, 284 p. (In Russ.)
2. Vasin N.N. Packet Switching Technologies: Textbook. Moscow: INTUIT, 2017, 408 p. (In Russ.)
3. Vasin N.N. Fundamentals of configuring packet switching networks. URL: <https://intuit.ru/studies/courses/3645/887/info> (accessed: 30.04.2024). (In Russ.)
4. VESR is the new software solution for routing and protecting corporate network. URL: https://eltex-co.ru/pressroom/news/vesr_-_novoe_programmnoe_reshenie_dlya_marshrutizatsii_i_zashchity_korporativnoy_seti/ (accessed: 30.04.2024). (In Russ.)
5. VirtualBox. URL: <https://www.virtualbox.org/> (accessed: 02.05.2024).
6. ESR series service routers. User manual. Software version 1.20. URL: https://eltex-co.ru/upload/iblock/744/9dcccvmiotdt7hq3evxu1d3upp8sv83uu/ESR-Series_User_manual_1.20.pdf (accessed: 02.05.2024). (In Russ.)
7. ESR series routers. ESR-10, ESR-12. User Manual. URL: https://zscom.ru/image/data/2017_new_data/eltex/esr_10.pdf (accessed: 03.05.2024). (In Russ.)
8. ESR series service routers. User manual. Description of the function (02.04.2020). Software version 1.8.5. URL: https://eltexalatau.kz/upload/iblock/d99/esr_series_functionality_description_1.8.5.pdf (accessed: 04.05.2024). (In Russ.)
9. Samuilov K.E. et al. Networks and Data Transmission Systems: Telecommunication Networks: Textbook and Workshop. Moscow: YUrajt, 2016, 363 p. (In Russ.)
10. Vasin N.N. Routing and switching. URL: https://intuit.ru/studies/professional_skill_improvements/20700/courses/888/info (accessed: 30.04.2024). (In Russ.)

Received 08.05.2024

УДК 621.391.1

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА ДЕКОРРЕЛЯЦИИ СЕТЕВОГО ТРАФИКА НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Карташевский И.В., Осанов В.А., Малахов С.В., Якупов Д.О.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: i.kartashevskiy@psuti.ru

Статья посвящена разработке и исследованию алгоритма декорреляции сетевого трафика, позволяющего существенно снижать значения коэффициентов автокорреляции интервалов времени между пакетами. В основе предлагаемого алгоритма лежит нахождение коэффициентов вейвлет-преобразования Хаара. Проводится экспериментальный анализ, показывающий, что увеличение задержки и уровня потерь пакетов при передаче видео по сети тесно связано с повышением значения коэффициентов автокорреляции интервалов времени между пакетами на выходе источника трафика. Проверка работоспособности алгоритма осуществляется как на полученной в ре-

зультате эксперимента трассе, так и на сгенерированных интервалах времени с заданным коэффициентом корреляции, значение которого существенно превосходит значение экспериментального. Результатом работы предлагаемого алгоритма являются новые интервалы времени, обладающие существенно сниженной, практически отсутствующей, автокорреляцией.

Ключевые слова: сетевой трафик, декорреляция, автокорреляционная функция, сетевая задержка, вейвлеты Хаара

Введение

За 2022 год более 82 процентов Интернет-трафика составила передача видео [1], что существенно превысило показатели предыдущих годов, даже с учетом взрывного роста видео-трафика в период пандемии. Исследования видео-трафика в сетях передачи данных начались еще в 80-х годах прошлого века. Еще в [2] были обнаружены ярко выраженные корреляционные свойства трафика, порождаемого видео с отсутствием резкой смены кадров и динамичных сцен (запись интервью, диктор телепрограммы). В [3] было показано, что экспоненциальная автокорреляционная функция, как и коэффициент вариации и вид распределения интервалов времени, характеризующих видео-трафик, является одним из важнейших параметров для описания трафика VBR-видео (Variable bitrate).

Существует несколько основных видов моделей, описывающих видео-трафик, среди которых можно выделить [4–7]:

1. Авторегрессионные модели (AR).
2. Модели на основе марковских процессов.
3. Самоподобные или FARIMA (Fractal Auto-Regressive Integrated Moving Average).
4. Вейвлет-модели.
5. Остальные подходы, которые базируются на вероятностных распределениях, системе массового обслуживания $M/G/\infty$, процессах преобразования и расширения выборки TES (Transform-Expand-Sample) и т.д.

Исследованию вероятностно-временных характеристик видео-трафика на основе указанных моделей посвящено достаточно большое количество работ, например [8–10], анализ корреляции можно найти в [11–13]. В большинстве из указанных публикаций автокорреляция интервалов времени связана со снижением качества обслуживания и уровня пользовательского восприятия. В связи с этим задача снижения уровня автокорреляции в видео-трафике представляется достаточно актуальной. Данная статья посвящена одному из методов снижения автокорреляции, который может быть применим не только для видео-трафика.

Исследование уровня автокорреляции при передаче видео в локальной сети

Было поставлено два эксперимента. В первом эксперименте видео передавалось между сервером

и клиентом VLC (VLC ver. 3.0.21), при этом входящего и исходящего трафика хостов A1, A2, B1, B2, находящихся в подсетях сервера и клиента, не было. Во втором эксперименте при передаче того же видео на хостах в подсетях сервера и клиента были включены генераторы трафика HTTP Packet Sender, имитирующие работу взаимодействующих web-серверов. Трафик на сервере и клиенте фиксировался при помощи Wireshark 4.2.7. Схема сети представлена на рисунке 1.

В первом эксперименте средняя задержка при передаче видео составила 0,217 с, уровень потерь пакетов составил менее 0,001% пакетов, коэффициент автокорреляции интервалов времени между пакетами на выходе видеосервера составил $\rho_1 = 0,0094$, что позволяет утверждать, что автокорреляция интервалов времени между пакетами практически отсутствует.

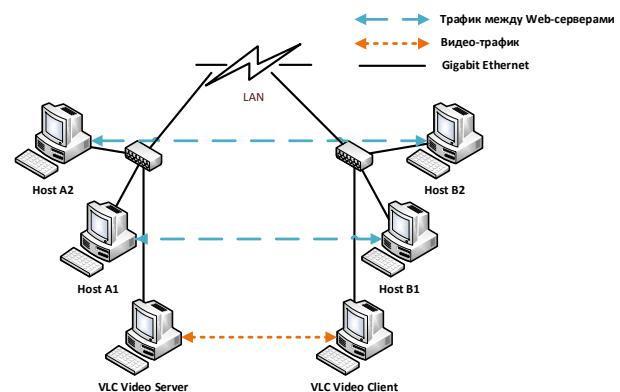


Рисунок 1. Схема сети

Во втором эксперименте средняя задержка возросла до 0,381 с, уровень потерь возрос до 0,09% пакетов, а автокорреляционная функция интервалов времени между пакетами на выходе видеосервера представлена на рисунке 2.

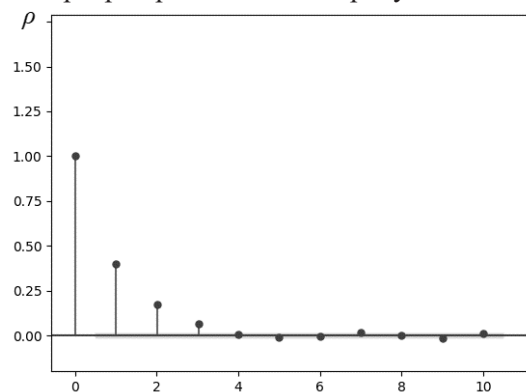


Рисунок 2. Автокорреляция интервалов времени на выходе видеосервера

На рисунке 3 изображена гистограмма интервалов времени между пакетами на выходе видеосервера для второго эксперимента.

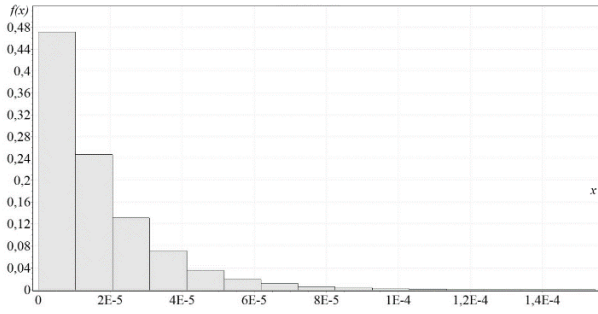


Рисунок 3. Гистограмма экспериментальной последовательности

На основе вышеизложенного можно утверждать, что увеличение задержки и повышение уровня потерь пакетов тесно связано с увеличением значения коэффициентов автокорреляции интервалов времени.

Моделирование последовательности с заданным коэффициентом корреляции

Для исследования метода снижения автокорреляции в последовательности интервалов времени, характеризующих реальный трафик, сгенерируем такую последовательность, имеющую показательное распределение с заданным коэффициентом корреляции, что позволит нам проанализировать различные случаи, в том числе, когда коэффициенты корреляции значительно выше значений, полученных в результате эксперимента. Моделирование такой последовательности $\tau(n)$ осуществляется следующим образом:

$$\begin{aligned} \tau(n) &= \xi_1^2(n) + \xi_2^2(n) = \\ &= \sigma_0^2 \left[(\sqrt{1-r^2} x_1(n) + r\xi_1(n-1))^2 + \right. \\ &\quad \left. + (\sqrt{1-r^2} x_2(n) + r\xi_2(n-1))^2 \right], \end{aligned}$$

где $x_1(n)$ и $x_2(n)$ – последовательности независимых нормальных случайных чисел с нулевым средним и единичной дисперсией:

$$\begin{aligned} \xi_1^2(n) &= \sigma_0^2 (\sqrt{1-r^2} x_1(n) + r\xi_1(n-1))^2, \\ \xi_2^2(n) &= \sigma_0^2 (\sqrt{1-r^2} x_2(n) + r\xi_2(n-1))^2, \\ r^2 &= \rho_1. [14]. \end{aligned}$$

Гистограмма смоделированной последовательности представлена на рисунке 4.

Автокорреляционная функция смоделированной последовательности при $\rho_1 = 0,95$, что значительно превосходит $\rho_1 = 0,62$, полученные при проведении эксперимента, представлена на рисунке 5. Последовательные значения коэффициентов автокорреляции при этом равны

$\rho_1 = 0,9534, \rho_2 = 0,9102, \rho_3 = 0,8693, \rho_4 = 0,8288, \rho_1 = 0,7535$ и т.д. Представляется более актуальным исследовать именно эту последовательность, обладающую более значимыми коэффициентами автокорреляции.

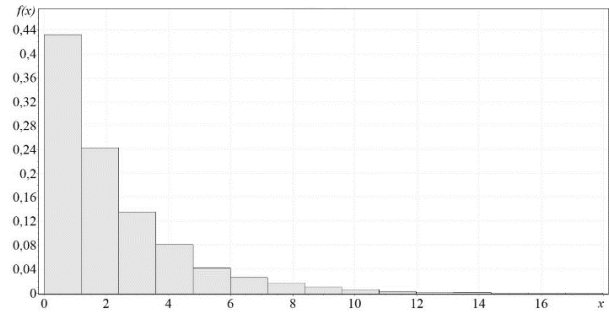


Рисунок 4. Гистограмма смоделированной последовательности

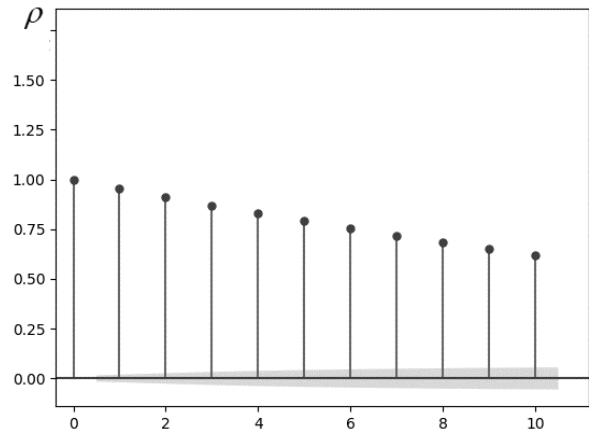


Рисунок 5. Автокорреляционная функция смоделированного распределения

Декорреляция интервалов времени

Воспользуемся способом, предложенным в [15]. Разобьем рассматриваемую последовательность отсчетов трафика на подгруппы, содержащие в каждой по 2^k элементов. Каждая такая группа будет являться кусочно-постоянной функцией, заданной на разбиении отрезка $[0,1]$ на 2^k отрезков длины 2^{-k} . Таким образом, получим функцию $f = \{f_s\}, 0 \leq s \leq 2^k - 1$. Представим ее как:

$$f = d + \sum_{i=0}^{k-1} \sum_{j=0}^{2^i-1} c_{ij} \psi_{ji}(x),$$

где $\psi_{j,i}(x)$ – вейвлет Хаара, который определяется как:

$$\psi_{00}(x) = \psi(x) = \begin{cases} 1, & x \in [0, 1/2) \\ -1, & x \in [1/2, 1) \end{cases},$$

при $i = 0$, а для других значений i, j $\psi_{j,i}(x)$ получаются путем сдвига и сжатия:

$$\psi_{ji}(x) = 2^{\frac{i}{2}} \psi(2^i x - j), \quad j = 0, \dots, 2^i - 1.$$

Таким образом, для декорреляции исходной временной последовательности $f = \{f_s\}$, $0 \leq s \leq 2^k - 1$ необходимо найти значения коэффициентов d и c_{ij} , $0 \leq j \leq 2^i - 1$, $i = 0, \dots, k-1$:

$$d = \int_0^1 f(x) dx = \frac{1}{2^k} \sum_{s=0}^{2^k-1} f_s, \quad (1)$$

$$c_{ij} = \int_0^1 f(x) \psi_{ji}(x) dx = \frac{1}{2^k} \sum_{s=0}^{2^k-1} f_s \psi_{ji}(x). \quad (2)$$

В результате значения новых интервалов времени, определяемые коэффициентами c_{ij} , $0 \leq j \leq 2^i - 1$, $i = 0, \dots, k-1$, будут соответствовать де-

коррелированной последовательности интервалов времени. Причем в данном случае вместо коэффициента d , вычисляемого по соотношению (1), можно для ускорения вычислений выбрать значение d в виде числа, соответствующего условию $d > |c_{ij\min}|$.

Определение коэффициентов

Рассмотрим определение значений коэффициентов при $k = 3$. Выражение (2) при данном k примет вид:

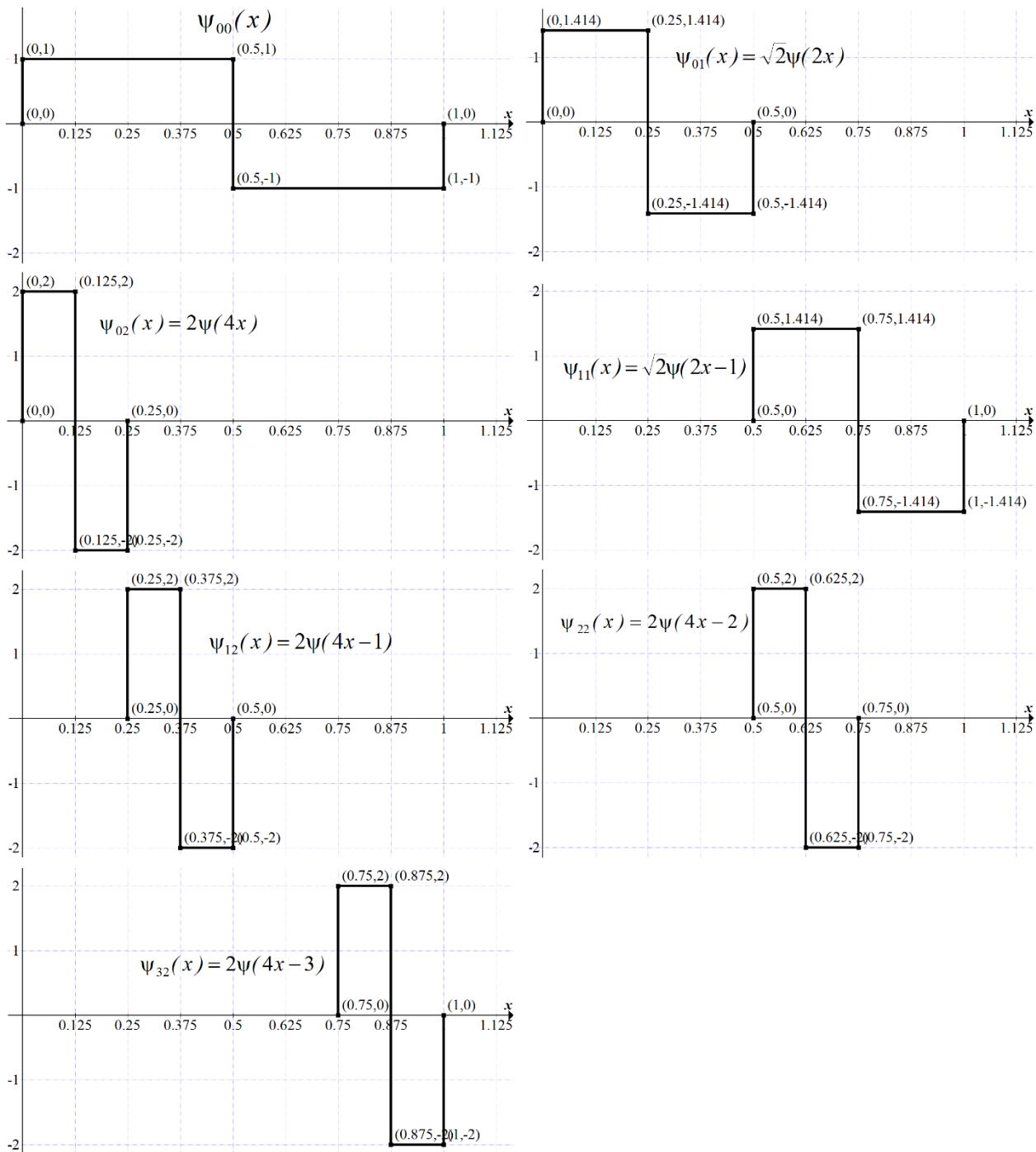


Рисунок 6. Вейвлеты Хаара

$$c_{ij} = \frac{1}{8} \left[f(0)\psi_{ji}(0) + f(1)\psi_{ji}\left(\frac{1}{8}\right) + \dots + f(7)\psi_{ji}\left(\frac{7}{8}\right) \right],$$

где $j = 0, \dots, 2^i - 1$, $i = 0, \dots, k - 1$.

На рисунке 6 изображены вейвлеты, полученные для $k = 3$. Всего при $k = 3$ существует 7 функций на интервале $[0, 1]$. Выпишем далее каждую из них:

$$\begin{aligned}\psi_{00} &= [1, 1, 1, 1, -1, -1, -1, -1], \\ \psi_{01} &= [\sqrt{2}, \sqrt{2}, -\sqrt{2}, -\sqrt{2}, 0, 0, 0, 0], \\ \psi_{02} &= [2, -2, 0, 0, 0, 0, 0, 0], \\ \psi_{11} &= [0, 0, 0, 0, \sqrt{2}, \sqrt{2}, -\sqrt{2}, -\sqrt{2}], \\ \psi_{12} &= [0, 0, 2, -2, 0, 0, 0, 0], \\ \psi_{22} &= [0, 0, 0, 0, 2, -2, 0, 0], \\ \psi_{32} &= [0, 0, 0, 0, 0, 0, 2, -2].\end{aligned}$$

Поскольку в данном случае при $k = 3$ существует всего 7 вейвлет-функций $\psi_{ji}(x)$, коэффициентов $\tilde{n}_{ij}$ будет тоже 7. Если рассмотреть значения $\tilde{n}_{ij}$:

$$\begin{aligned}c_{10} &= \frac{1}{8} \sum_{n=0}^7 f_n \psi_{01}(n) = \frac{1}{2\sqrt{2}} (f_0 + f_1 - f_2 - f_3), \\ c_{20} &= \frac{1}{8} \sum_{n=0}^7 f_n \psi_{02}(n) = \frac{1}{4} (f_0 - f_1), \\ c_{11} &= \frac{1}{8} \sum_{n=0}^7 f_n \psi_{11}(n) = \frac{1}{2\sqrt{2}} (f_4 + f_5 - f_6 - f_7),\end{aligned}$$

то можно прийти к выводу, что любое из них может оказаться отрицательным. Поэтому использование константы d , удовлетворяющей условию $d > |c_{ij\min}|$, необходимо во избежание получения отрицательных значений декоррелированной последовательности.

Поступая аналогичным образом, можно определить коэффициенты для любого значения $k > 3$.

На рисунке 7 представлен результат декорреляции смоделированной последовательности интервалов времени ($\rho_1 = 0,95$) при $k = 3$. Последовательные значения полученных коэффициентов автокорреляции при этом будут равны $\rho_1 = 0,0622$, $\rho_2 = 0,0615$, $\rho_3 = 0,0489$, $\rho_4 = 0,0419$, $\rho_5 = 0,0488$ и т.д.

Результат декорреляции той же последовательности при $k = 4$ представлен на рисунке 8. Последовательные значения полученных коэффициентов автокорреляции при этом будут равны $\rho_1 = -0,0067$, $\rho_2 = -0,00765718$, $\rho_3 = -0,0117$, $\rho_4 = -0,012$, $\rho_5 = -0,0127$ и т.д. и т.д.

Таким образом, предлагаемый алгоритм декорреляции существенно снижает автокорреля-

цию временных интервалов до значений меньше 0,02, что может говорить о полном ее отсутствии.

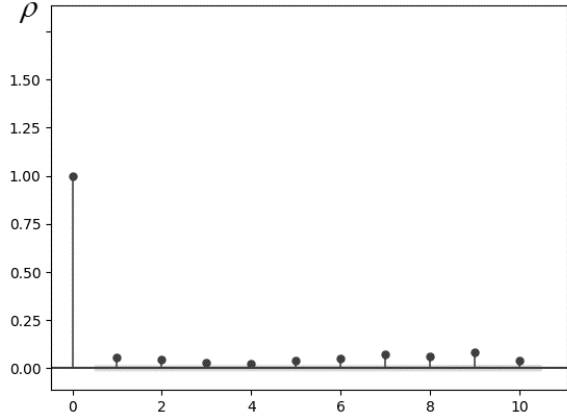


Рисунок 7. Автокорреляционная функция полученных интервалов времени при $k=3$

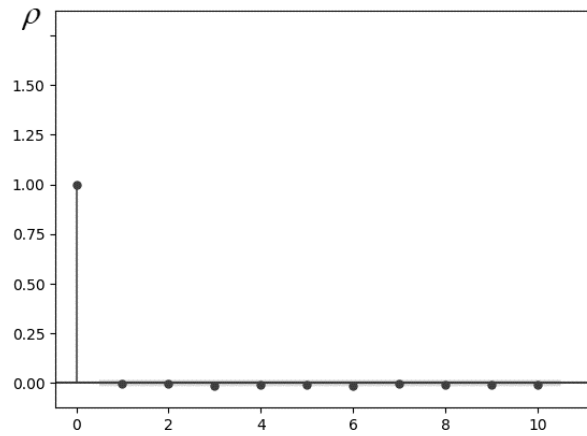


Рисунок 8. Автокорреляционная функция полученных интервалов времени при $k=4$

Заключение

Исследование показало, что интервалы времени между пакетами в сетевом трафике при передаче видео могут обладать автокорреляционными свойствами. Причем присутствие такой автокорреляции тесно связано с увеличением задержки пакетов и уровнем их потерь. Предлагаемый авторами алгоритм декорреляции может существенно снижать значения коэффициентов автокорреляции интервалов времени между пакетами в сетевом трафике. Дальнейшая работа по тематике статьи связана с программной реализацией предлагаемого способа непосредственно в драйвере сетевого устройства.

Литература

1. Cisco. VNI Complete Forecast Highlights. URL: https://www.cisco.com/c/dam/m/en_us/solutions/service-provider/vni-forecast-highlights/pdf/Global_Device_Growth_Traffic_Profiles.pdf (дата обращения: 23.03.2024).

2. Performance models of statistical multiplexing in packet video communications / B.S. Maglaris [et al.] // IEEE Transactions on Communications. 1988. Vol. 36, no. 7. P. 834–844. DOI: 10.1109/26.2812
3. Nomura M., Fujii T., Ohta N. Basic characteristics of variable rate video coding in ATM environment // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 1989. Vol. 7, no. 5. P. 752–760. DOI: 10.1109/49.32338
4. Tanwir S., Perros H.G. A survey of VBR video traffic models // IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2013. Vol. 15, no. 4. P. 1778–1802. DOI: 10.1109/SURV.2013.010413.00071
5. Tanwir S., Perros H. VBR Video Traffic Models: monograph. New Jersey: Wiley & Sons, 2014. 148 p.
6. Mohamed A., Agamy A. A Survey on the common network traffic sources models // International Journal of Computer Networks. 2011. Vol. 3, no. 2. P. 103–115.
7. Chandrasekaran B. Survey of network traffic models // Computer Science, Engineering. 2006. P. 1–8. URL: https://www.cs.wustl.edu/~jain/cse567-06/ftp/traffic_models3.pdf (дата обращения: 11.05.2024).
8. Biernacki A. Analysis of aggregated HTTP-based video traffic // Journal of Communications and Networks. 2016. Vol. 18, no. 5. P. 826–846. DOI: 10.1109/JCN.2016.000111
9. Biernacki A. Analysis and modelling of traffic produced by adaptive HTTP-based video // Multimedia Tools and Applications. 2017. Vol. 76, no. 10. P. 12347–12368. DOI: 10.1007/s11042-016-3623-8
10. Бобрикова Е.В., Гайдамака Ю.В. Анализ времени распространения файла для одноранговой сети // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Математика, информатика, физика. 2018. Т. 26, №1. С. 84–92. DOI: 10.22363/2312-9735-2018-26-1-84-92
11. Markovich N., Krieger U. Statistical analysis and modeling of peer-to-peer multimedia traffic // Network Performance Engineering. Lecture Notes in Computer Science. 2011. Vol. 5233. P. 70–97. DOI: 10.1007/978-3-642-02742-0_4
12. Integrated measurement and analysis of peer-to-peer traffic / N. Markovich [et al.] // Proceedings of 8th International Conference Wired/Wireless Internet Communications (WWIC 2010). Lulea, 2010. P. 302–314. DOI: 10.1007/978-3-642-13315-2_25
13. Eittenberger P., Krieger U., Markovich N. Teletraffic modeling of peer-to-peer traffic // Proceedings of 44th Winter Simulation Conference (WSC 2012). Berlin, 2012. P. 1–12. DOI: 10.1109/WSC.2012.6465302
14. Быков В.В. Цифровое моделирование в статистической радиотехнике: монография. М.: Советское радио, 1971. 328 с.
15. Карташевский И.В. Обработка коррелированного трафика в сетях инфокоммуникаций: монография. М.: Горячая линия – Телеком, 2023. 200 с.

Получено 01.08.2024

Карташевский Игорь Вячеславович, д.т.н., профессор кафедры программной инженерии (При) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). 443090, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, 77. Тел. +7 846 339-11-00 (доб. 2341). E-mail: i.kartashevskiy@psuti.ru

Осанов Владимир Андреевич, старший преподаватель кафедры управления в технических системах (УТС) ПГУТИ. 443090, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, 77. Тел. +7 846 339-11-00 (доб. 2281). E-mail: v.osanov@psuti.ru

Малахов Сергей Валерьевич, к.т.н., доцент кафедры УТС ПГУТИ. 443090, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, 77. Тел. +7 846 339-11-00 (доб. 2281). E-mail: s.malakhov@psuti.ru

Якупов Денис Олегович, ассистент кафедры При ПГУТИ. 443090, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, 77. Тел. +7 846 339-11-00 (доб. 2341). E-mail: d.yakupov@psuti.ru

RESEARCH OF NETWORK TRAFFIC DECORRELATION ALGORITHM BASED ON WAVELET TRANSFORMATION

Kartashevskiy I.V., Osanov V.A., Malakhov S.V., Yakupov D.O.

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation

E-mail: i.kartashevskiy@psuti.ru

The article is devoted to the development of the network traffic decorrelation algorithm, allowing to significantly reduce the values of the autocorrelation coefficients of time intervals between packets. The proposed algorithm is based on finding the coefficients of the Haar wavelet transformation coefficient. An experimental analysis, presented demonstrates that an increase in the delay and the level of packet losses during video transmission over the network is closely related to an increase in the value of the autocorrelation coefficients of time intervals between packets at the traffic source output. The algorithm's performance is checked both on the resulting experimental trace and on the generated time intervals with the predetermined correlation coefficient, the value of which significantly exceeds the experimental value. The result of the proposed algorithm is new time intervals with a significantly reduced autocorrelation degree (almost equal zero).

Keywords: *network traffic, decorrelation, autocorrelation function, network latency, Haar wavelets*

DOI: 10.18469/ikt.2024.22.1.03

Kartashevsky Igor Viacheslavovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moscovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Professor of Software Engineering Department, Doctor of Technical Science. Tel. +7 846 339-11-00 (доб. 2341). E-mail: i.kartashevskiy@psuti.ru

Osanov Vladimir Andreevich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moscovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Senior Teacher of Management in Technical Systems Department. Tel. +7 846 339-11-00 (ext. 2281). E-mail: v.osanov@psuti.ru

Malakhov Sergey Valerievich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moscovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Associated Professor of Management in Technical Systems Department, PhD in Technical Science. Tel. +7 846 339-11-00 (ext. 2281). E-mail: s.malakhov@psuti.ru

Iakupov Denis Olegovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moscovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Teacher of Software Engineering Department. Tel. +7 846 339-11-00 (ext. 2341). E-mail: d.yakupov@psuti.ru

References

1. Cisco. VNI Complete Forecast Highlights. URL: https://www.cisco.com/c/dam/m/en_us/solutions/service-provider/vni-forecast-highlights/pdf/Global_Device_Growth_Traffic_Profiles.pdf (accessed: 23.03.2024).
2. Maglaris B.S. et al. Performance models of statistical multiplexing in packet video communications. *IEEE Transactions on Communications*, 1988, vol. 36, no. 7, pp. 834–844. DOI: 10.1109/26.2812
3. Nomura M., Fujii T., Ohta N. Basic characteristics of variable rate video coding in ATM environment. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 1989, vol. 7, no. 5, pp. 752–760. DOI: 10.1109/49.32338
4. Tanwir S., Perros H.G. A survey of VBR video traffic models. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2013, vol. 15, no. 4, pp. 1778–1802. DOI: 10.1109/SURV.2013.010413.00071
5. Tanwir S., Perros H. *VBR Video Traffic Models*: Monograph. New Jersey: Wiley & Sons, 2014, 148 p.
6. Mohamed A., Agamy A. A Survey on the common network traffic sources models. *International Journal of Computer Networks*, 2011, vol. 3, no. 2, pp. 103–115.
7. Chandrasekaran B. Survey of network traffic models. *Computer Science, Engineering*, 2006, pp. 1–8. URL: https://www.cs.wustl.edu/~jain/cse567-06/ftp/traffic_models3.pdf (accessed: 11.05.2024).

8. Biernacki A. Analysis of aggregated HTTP-based video traffic. *Journal of Communications and Networks*, 2016, vol. 18, no. 5, pp. 826–846. DOI: 10.1109/JCN.2016.000111
9. Biernacki A. Analysis and modelling of traffic produced by adaptive HTTP-based video. *Multimedia Tools and Applications*, 2017, vol. 76, no. 10, pp. 12347–12368. DOI: 10.1007/s11042-016-3623-8
10. Bobrikova E.V., Gaidamaka Yu.V. Analysis of the file distribution time in Peer-to-Peer network. *Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Seriya: Matematika, informatika, fizika*, 2018, vol. 26, no. 1, pp. 84–92. DOI: 10.22363/2312-9735-2018-26-1-84-92 (In Russ.)
11. Markovich N., Krieger U. Statistical analysis and modeling of peer-to-peer multimedia traffic. *Network Performance Engineering. Lecture Notes in Computer Science*, 2011, vol. 5233, pp. 70–97. DOI: 10.1007/978-3-642-02742-0_4
12. Markovich N. et al. Integrated measurement and analysis of peer-to-peer traffic. *Proceedings of 8th International Conference Wired/Wireless Internet Communications (WWIC 2010)*. Lulea, 2010, pp. 302–314. DOI: 10.1007/978-3-642-13315-2_25
13. Eittenberger P., Krieger U., Markovich N. Teletraffic modeling of peer-to-peer traffic. *Proceedings of 44th Winter Simulation Conference (WSC 2012)*. Berlin, 2012, pp. 1–12. DOI: 10.1109/WSC.2012.6465302
14. Bykov V.V. *Digital modeling in statistical radio engineering*: Monograph. Moscow: Sovetskoe radio, 1971, 328 p.
15. Kartashevskii I.V. *Processing of correlated traffic in infocommunication networks*: Monograph. Moscow: Goryachaya liniya-Telekom, 2023, 200 p.

Received 01.08.2024

СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

УДК 621.377

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЩИЩЕННЫХ МНОГОТОЧЕЧНЫХ СЕАНСОВ ВИДЕОКОНФЕРЕНЦСВЯЗИ МНОГОУРОВНЕВЫМИ ГРАФАМИ

Гладких А.А.¹, Мишин Д.В.², Дрягин С.А.³, Корсунский А.С.³

¹ Ульяновский государственный технический университет, Ульяновск, РФ

² Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

³ Научно-производственный центр «Марс», Ульяновск, РФ

E-mail: s_drg@mail.ru

В работе рассматривается модель многоточечного сеанса видеоконференцсвязи на основе многоуровневого графа. Предлагаемая модель позволяет задавать на сервисном уровне требования к качеству передаваемых видеопотоков между множеством терминалов и сервером многоточечной связи, а на уровнях защищенной и транспортной сети оценивать пропускную способность и задержки каналов передачи данных. Предложена модель многоуровневого графа системы видеоконференцсвязи, учитывающая особенности построения и организации защищенных сетей, в которых выделяется несколько уровней наложенных сетей поверх транспортной сети. В данной модели на сервисном уровне задается структура многоточечного сеанса, при котором терминалы видеоконференции взаимодействуют через сервер. Формируемые в ходе сеанса потоки трафика распределяются в соответствии с правилами маршрутизации на уровне защищенной сети. Учитывая множество альтернативных способов распределения трафика для каждой пары клиент-серверного взаимодействия, выбор наиболее оптимальной конфигурации маршрутов для сеанса в целом оказывается достаточно сложной задачей. В исследовании предложен алгоритм нахождения кратчайшего пути в графе защищенной наложенной сети с поэтапным проецированием каждого отдельного участка маршрута на нижележащий уровень транспортной сети для поиска кратчайшего пути в его пределах. Приведен пример решения задачи поиска маршрутов для каждого абонента с учетом правил наложенной сети и фактического продвижения трафика по транспортной сети. В качестве критерия оптимальности выбрана минимизация использования емкости арендуемых каналов. Проведены эксперименты для получения оценок качества сеанса на основе объективных методов при различных параметрах видеопотока и соответствующие им количественные оценки требуемой пропускной способности для организации сеанса.

Ключевые слова: многоуровневый граф, видеоконференцсвязь, многоточечные сеансы видеоконференцсвязи, оценка качества видеоконференцсвязи, сеть передачи данных, расчет загруженности каналов

Введение

Системы видеоконференцсвязи (ВКС) к настоящему времени стали неотъемлемым элементом повышения эффективности производственных процессов, деятельности государственных структур, а также нашли широкое применение в сфере образования и медицины. В период ограничений, вызванных пандемией, интерес к системам ВКС резко возрос, так как единственной возможностью обеспечения непрерывности процессов повседневной деятельности оказалась коммуникация пользователей в удаленном режиме. Корпоративные и ведомственные заказчики столкнулись с новыми вызовами, связанными с необходимостью обеспечить для резко возросшего числа пользователей доступ к сервисам ВКС. Ряд заказчиков, уже имеющих в составе своих информационных систем решения ВКС, столкнулся с необходимостью увеличения их производительности или модернизации. Организация многоточечного сеанса ВКС представляет собой высоконагруженную задачу обеспечения видеосвязи между несколькими пользователями.

Для решения данной задачи требуется распределить вычислительную нагрузку, преимущественно создаваемую обработкой видеопотоков, между доступными серверными ресурсами, учитывая при этом доступную пропускную способность каналов передачи данных. Качество функционирования распределенных систем ВКС во многом определяется эффективностью организации связи между ними. Производительность сетей передачи данных при этом играет ключевую роль. Достаточно большие объемы сетевого трафика, передаваемые в многоточечных сеансах, повышают актуальность исследования методов инжиниринга трафика.

Принципы организации многоточечных сеансов ВКС

Системы ВКС, являясь распределенными системами, основаны на сетях передачи данных (СПД). В свою очередь СПД являются сложными системами, функциональные части которых (каналообразующее, коммутационное и маршрутизирующее оборудование) рассредоточены территориально, а используемые каналы различаются своими параметрами – пропускной способностью, задержками, потерями.

При выстраивании систем ВКС необходимо учитывать характер передаваемых сведений в ходе сеансов конференций. Из этого следует что к СПД предъявляется ряд требований по обеспечению безопасности и организации защищенных

каналов передачи данных. В защищенных СПД реализуется наложенная структура, когда поверх транспортной сети надстраиваются логические сети, соответствующие определенным требованиям безопасности. Требования безопасности задаются на основе руководящих документов в соответствии с классами защищенности, исходя из характера передаваемых и обрабатываемых данных в ходе сеанса ВКС. Сервис ВКС надстраивается над существующими защищенными сетями, образуя поверх еще один логический уровень.

Современные подходы к проектированию рассматривают сети как многоуровневую структуру, в которой выделяют инфраструктурный, функциональный и управленческий уровни.

При многоуровневом подходе актуальными становятся вопросы выбора топологий на каждом конкретном уровне для оптимального распределения имеющихся пропускных способностей и снижения задержек при передаче данных, в результате чего обеспечивается наилучшее качество сервиса ВКС. Именно качество прикладных сервисов выступает целевым показателем, который должен быть обеспечен для конечных пользователей. В рекомендации

МСЭ-Т Е.800 [1] качество определяется как совокупность характеристик объекта, которые имеют отношение к его возможности удовлетворять установленные и предполагаемые потребности. Применительно к системам ВКС число таких характеристик может быть достаточно велико, и они могут оказывать различное влияние на функционирование систем ВКС. Качество (Q) выступает как интегральный показатель, зависящий от множества параметров.

Для передаваемого видеоизображения в сеансе ВКС качество зависит от разрешения (P_{res}) и частоты (P_{fps}) изображения, битрейта формируемого потока (P_{rate}), а также от уровня потерь при передаче (P_{loss}).

Модель многоуровневого графа многоточечных сеансов ВКС

Теория графов широко применяется при моделировании телекоммуникационных систем. Вершинами графа могут выступать сетевое и каналообразующее оборудование, а линии связи между ними – ребрами. Распределенные сервисы ВКС реализуются на базе существующей многоуровневой сетевой архитектуры, которая включает в себя транспортный уровень и надстраиваемый над ним наложенный защищенный уровень корпоративной сети. В таких решениях можно выделить логические каналы (ребра на-

ложенной защищенной сети), образуемые между криптографическими шлюзами (вершины наложенной сети), физические каналы (ребра транспортной сети) и связывающие маршрутизаторы провайдера (вершины транспортной сети). Связи двух уровней, которые осуществляются по арендуемым каналам, представлены отдельным множеством промежуточных ребер между двумя графами. Множество сервисов системы, в свою очередь, при данном подходе, также моделируются отдельными верхними сервисными уровнями.

Моделирование нескольких уровней сети в виде плоского графа оказывается затруднительным, так как на каждом уровне необходимо учитывать реализацию своей логики передачи трафика, к тому же накладываются технические и организационные ограничения, с характерной спецификой каждого отдельного уровня. Дополнительный ряд ограничений связан с масштабированием уровней. Например, на практике защищенный уровень сети может одновременно быть связан с несколькими транспортными уровнями, а сервисный уровень – с различными защищенными уровнями.

Анализ существующих работ показывает актуальность применения моделей многоуровневых графов для оптимизации сетевого тра-

фика [2; 3], проектирования мультисервисных сетей [4; 5] и транспортных сетей операторов [6].

Для моделирования защищенной системы ВКС предлагается следующая модель многоуровневого графа MLG (Multi-Layered Graph), представленная на рисунке 1.

$MLG = \{G^1, G^2, G^3, V, E\}$ – многоуровневый граф системы ВКС, в котором:

$G^3 = \{V^3, E^3\}$ – подграф уровня сервиса ВКС;

$V^3 = \{V_1^3, V_2^3, \dots, V_{10}^3\}$ – вершины (абоненты, сервера) уровня сервиса ВКС подграфа G^3 ;

$E^3 = \{e_1^3, e_2^3, \dots, e_7^3\}$ – ребра (сеансы) уровня сервиса ВКС подграфа G^3 ;

$G^2 = \{V^2, E^2\}$ – подграф наложенной защищенной сети;

$V^2 = \{v_1^2, v_2^2, \dots, v_{13}^2\}$ – вершины (крипто-шлюзы) наложенной защищенной сети G^2 ;

$E^2 = \{e_1^2, e_2^2, \dots, e_5^2\}$ – ребра (крипто-туннели) наложенной защищенной сети G^2 ;

$G^1 = \{V^1, E^1\}$ – подграф транспортной сети;

$V^1 = \{v_1^1, v_2^1, \dots, v_6^1\}$ – вершины (маршрутизаторы) транспортной сети G^1 ;

$E^1 = \{e_1^1, e_2^1, \dots, e_8^1\}$ – ребра (каналы оператора) транспортной сети G^1 ;

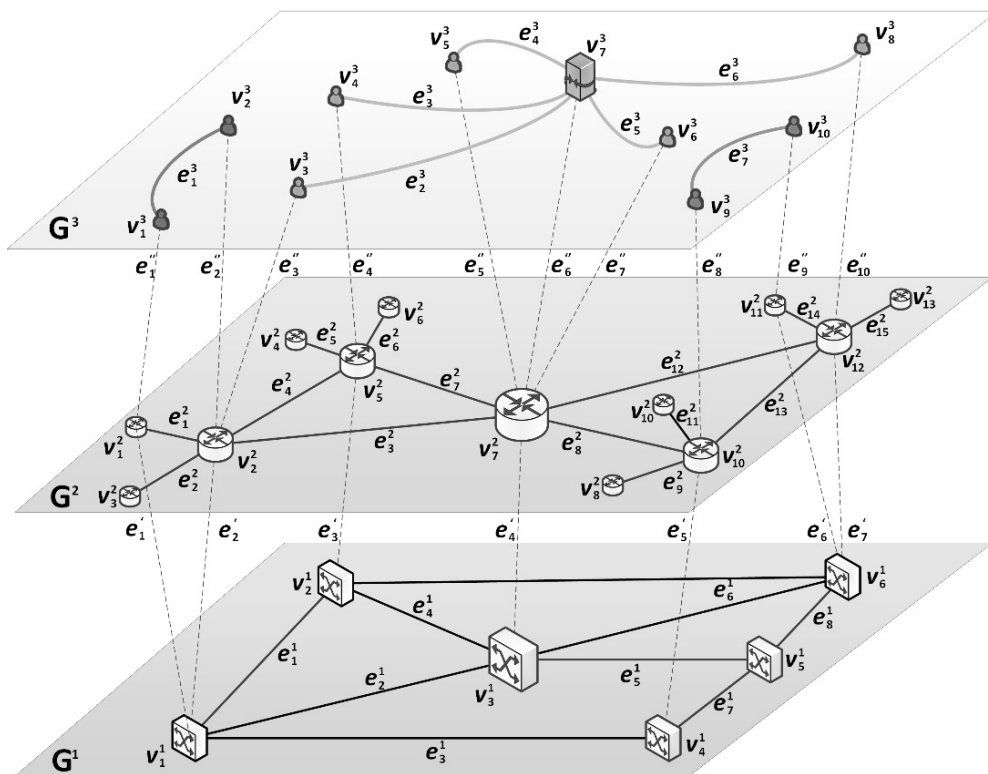


Рисунок 1. Модель защищенной системы ВКС на многоуровневом графе

$E' = \{e_1', e_2', \dots, e_7'\}$ – ребра (каналы, арендуемые у оператора), связывающее G^2 с G^1 ;

$E'' = \{e_1'', e_2'', \dots, e_7''\}$ – ребра (каналы локальной сети), связывающие G^3 с G^2 .

В представленной модели защищенной системы ВКС многоуровневый граф MLG (рисунок 2) характеризуется следующими свойствами:

1. Для каждой вершины $v_i^3 \in V^3$ существует ребро $e_i'' \in E''$, связываемое с вершиной $v_i^2 \in V^2$ – то есть для любого терминала или сервера, удовлетворяющего данному условию, разрешен доступ на уровень защищенной сети.

2. Для каждой вершины $v_i^2 \in V^2$ существует ребро $e_i' \in E'$, связываемое с вершиной $v_i^1 \in V^1$ – то есть для любого крипто-шлюза, удовлетворяющего данному условию, имеется арендованный канал подключения к уровню транспортной сети.

3. Для двух любых вершин $v_i^2, v_j^2 \in V^2$, удовлетворяющих свойству 2, может существовать ребро $e_k^2 = (v_i^2, v_j^2)$, $e_k^2 \in E^2$ – то есть между двумя любыми крипто-шлюзами может быть организован защищенный канал (туннель).

4. Между двумя вершинами $v_i^2, v_n^2 \in V^2$ существует маршрут из последовательности вершин $v_1^2, v_2^2, \dots, v_{n-1}^2, v_n^2$, между которыми существуют ребра $e_1^2 = (v_1^2, v_2^2)$, $e_2^2 = (v_2^2, v_3^2)$, $\dots$, $e_m^2 = (v_{n-1}^2, v_n^2)$, удовлетворяющие свойству 3 – то есть между двумя крипто-шлюзами может быть обеспечена связанность по маршруту из защищенных каналов (туннелей).

Между двумя вершинами $v_i^3, v_j^3 \in V^3$ существует ребро $e_k^3 = (v_i^3, v_j^3)$ при удовлетворении свойств 1-4 – то есть между двумя терминалами или терминалом и сервером может быть организован защищенный сеанс ВКС.

На основе представленного многоуровневого графа могут быть смоделированы сеансы ВКС, в которых:

$S1 = \{v_3^3, \dots, v_8^3 \in V^3, e_2^3, \dots, e_6^3 \in E^3\}$ – многоточечный сеанс ВКС, где:

$v_3^3, v_4^3, v_5^3, v_6^3, v_7^3, v_8^3$ – терминалы абонентов сеанса ВКС;

v_7^3 – сервер многоточечной связи;

$e_i^3 = f(P_{res}, P_{fps}, P_{rate}, P_{loss})$ – параметры сеанса ВКС, где:

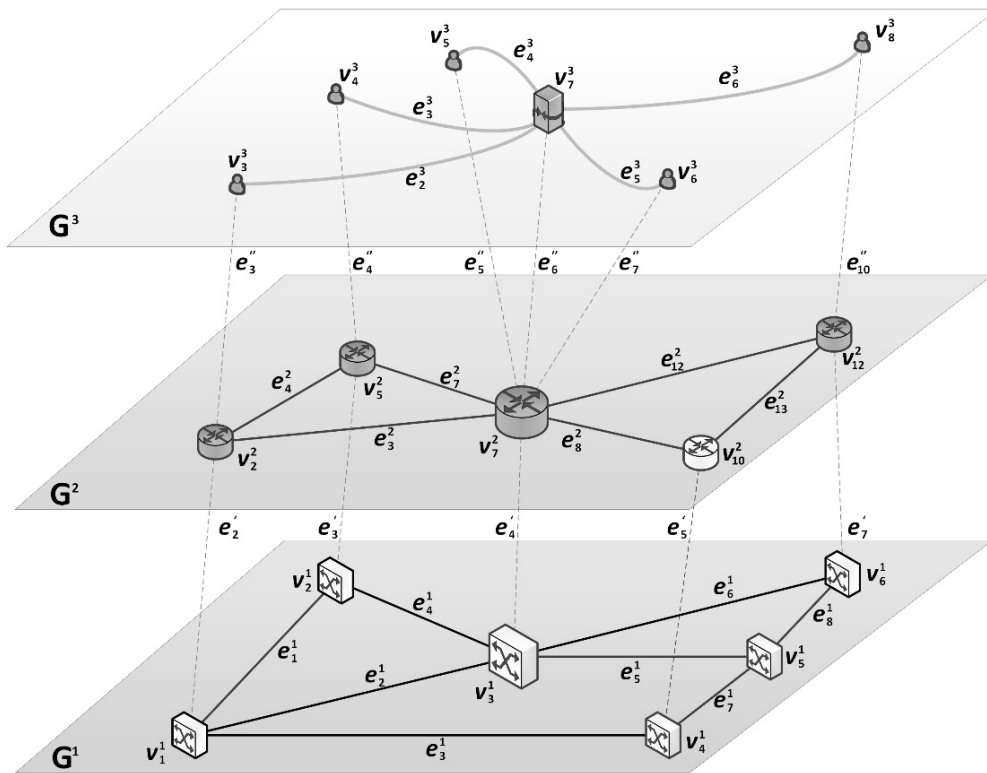


Рисунок 2. Модель многоточечного сеанса ВКС на многоуровневом графе

P_{res} – разрешение видеоизображения сеанса;
 P_{fps} – частота видеоизображения сеанса;
 P_{rate} – битовая скорость трафика сеанса;
 P_{loss} – допустимый уровень потерь для трафика сеанса;

$V_2^2, V_5^2, V_7^2, V_{12}^2$ – крипто-шлюзы, задействованные в сеансе;

$e_i^2 = f(B^2, D^2, J^2)$ – параметры туннеля, где:

B^2 – пропускная способность туннеля;

D^2 – средняя задержка в туннеле;

J^2 – вариация задержки в туннеле;

$e_i' = f(B', D', J')$ – параметры внешнего канала, где:

B' – пропускная способность канала;

D' – средняя задержка в канале;

J' – вариация задержки в канале.

Оценка качества видеоизображения многоточечного сеанса ВКС

В модели многоуровневого графа системы ВКС на уровне графа G^3 описываются многоточечные сеансы, организуемые между терминалами и сервером. Параметры сеанса ВКС задают веса ребер v^3 и предъявляют требования к пропускной способности для нижележащего уровня G^2 с учетом параметров внешних каналов $e' \in E'$. Удовлетворение заданных требований определяет качество видеоизображения многоточечного сеанса.

Для оценки качества видеоизображений могут применяться два класса методов: субъективные и объективные [7; 8]. Применение субъективных и объективных методов оценки качества видео-

изображений связано со сравнением некоторой полученной результирующей видеопоследовательности с ее эталонной, исходной видеопоследовательностью. Для систем ВКС в качестве эталонной видеопоследовательности может выступать изображение, получаемое с видеокамеры на стороне отправителя. А результирующей видеопоследовательностью выступает перекодированное видеоизображение, переданное через СПД и отображаемое на стороне получателя.

Субъективные методики требуют организации отдельного процесса оценки видеоизображений с привлечением экспертов [9]. Данный процесс является достаточно затратным по времени. Субъективные методики при этом не всегда дают достаточно точные результаты оценки качества. Из-за особенностей человеческого восприятия ограничиваются как продолжительность проводимого эксперимента, так и количество процедур попарных сравнений. Также с низкой точностью оцениваются кратковременные (мгновенные) искажения или пространственно-временные частотные изменения видеоизображения [10].

Объективные методики, с одной стороны лишены ряда недостатков субъективных методик. Их применение позволяет детализировать недоступные человеческому зрению изменения видеоизображения, а также получать более точные оценки качества изображения, но уже в автоматизированном режиме.

В системах ВКС применение объективных методик реализуется путем получения максимально качественного видеоизображения при наиболее

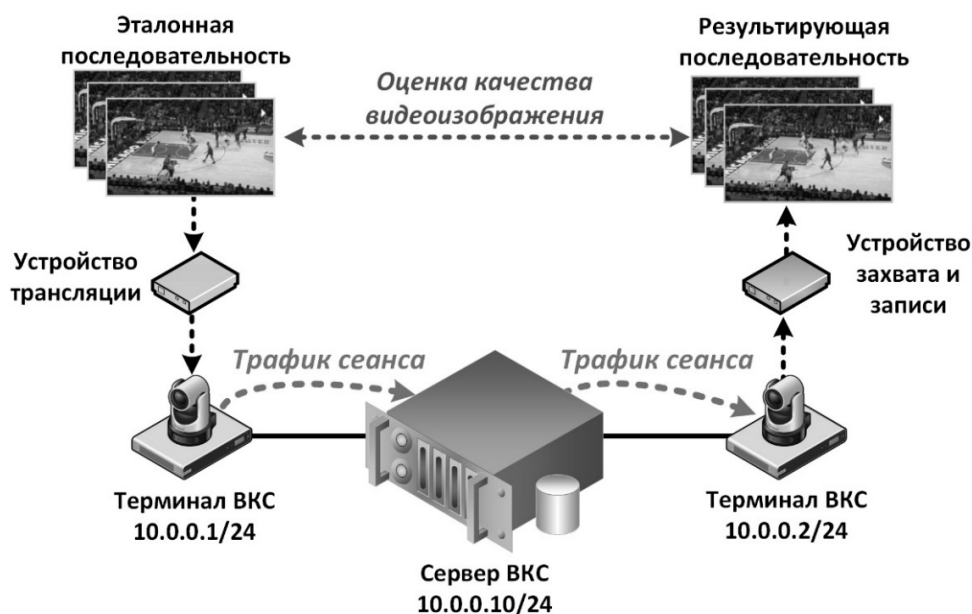


Рисунок 3. Организация стенда тестирования и оценки качества сеансов

благоприятных условиях проведения сеанса ВКС без ухудшения характеристик каналов передачи данных. В качестве источника передаваемого видеоизображения может использоваться некоторый набор видеофайлов, соответствующих характеру передаваемого видеопотока в ходе сеанса. Полученные таким способом видеопоследовательности будут выступать эталонными и

в последующем сравниваться с видеопоследовательностями, получаемыми в условиях моделирования процесса передачи трафика, например, более низкой пропускной способностью или внесением задержек в каналы передачи данных.

В рамках текущего исследования получение объективных оценок осуществлялось средствами имитационного моделирования на сформирован-

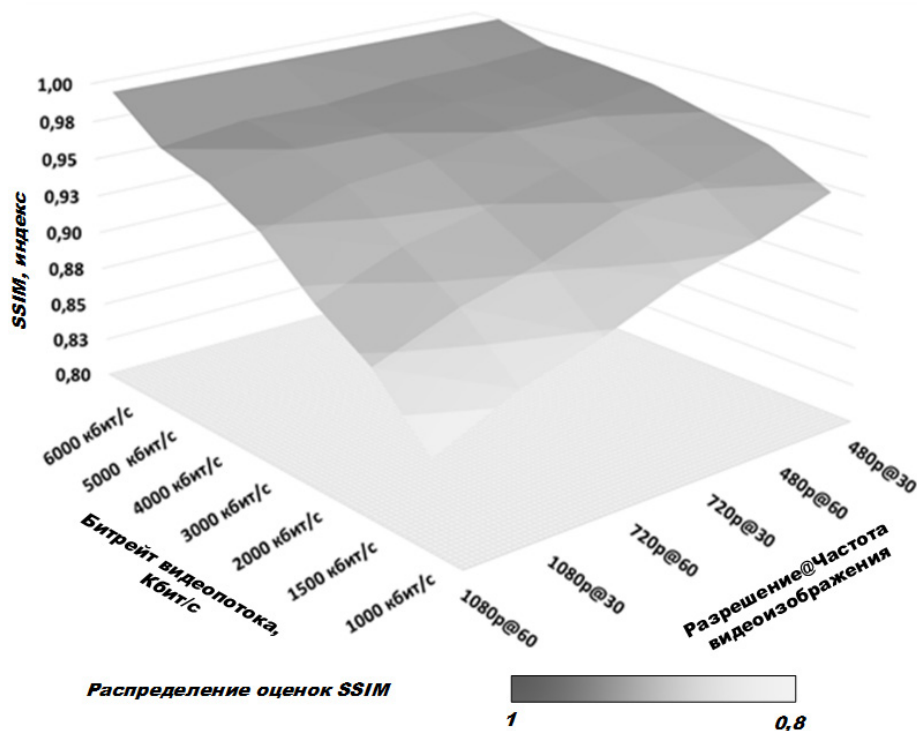


Рисунок 4. Распределение оценок качества метода SSIM при различных параметрах сеанса ВКС

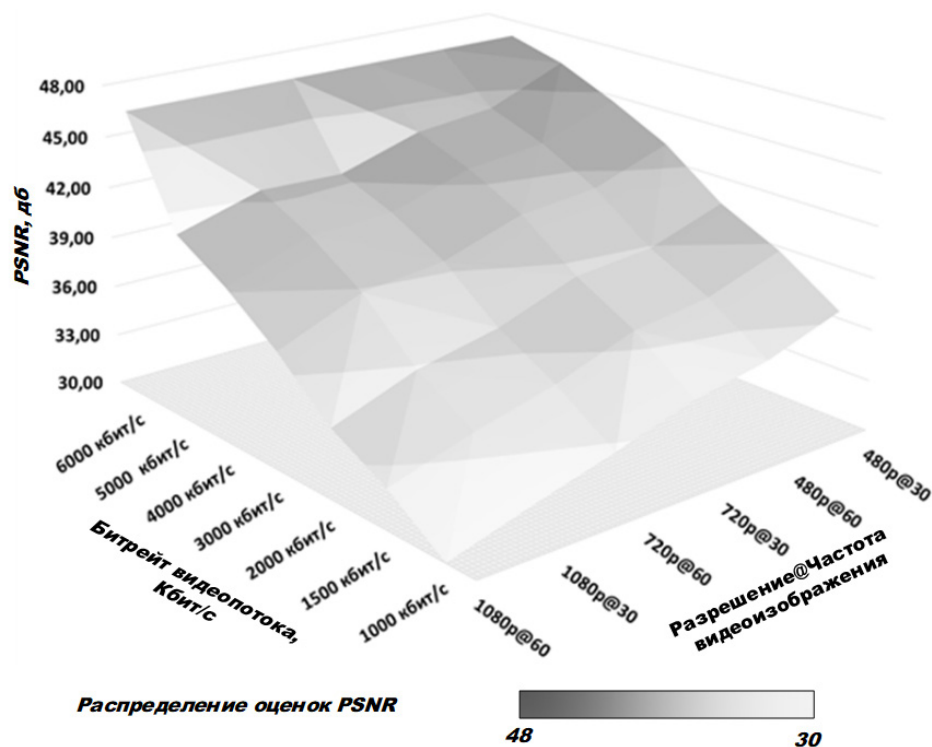


Рисунок 5. Распределение оценок качества методом PSNR при различных параметрах сеанса ВКС

ном стенде, представленном на рисунке 3. Между терминалами последовательно организуются сеансы ВКС с различными параметрами передаваемого видеопотока. Источником выступает устройство видеотрансляции, передающее на терминал отправителя видеопоток из файла (эталона). На стороне получателя видеоизображение сеанса передается на устройство захвата и записи, которое формирует результирующий файл. В качестве объективных методик выбраны SSIM (structure similarity, индекс структурного сходства) [11] и PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio, пиковое отношение сигнала к шуму) [12]. На основе выбранных методик сравниваются эталонный и результирующий файлы, в результате каждого сравнения производится количественная оценка качества.

В ходе имитационного моделирования оцениваются значения параметров P_{res} , P_{fps} , P_{rate} , влияющие на результирующее качество получаемого видеоизображения в сеансе ВКС [13]. Типовыми разрешениями сеанса ВКС являются 1080p (FullHD, Full High Definition), 720p (HD, High Definition), 480p (SD, Standart Definition), частота обновления передаваемого видеоизображения –

30Гц, 60 Гц, формируемый битрейт видеопотока 6000-1000 Кбит/с [14].

На рисунках 4, 5 показано распределение полученных оценок методом SSIM и PSNR соответственно, на основании которых можно сделать вывод, что при организации сеанса ВКС с выбором максимального разрешения 1080p@60 оценка качества сильно зависит от доступной пропускной способности канала. За максимальную оценку (эталон) был взят битрейт видеопотока в 6000 Кбит/с.

В таблицах 1, 2 приведены значения полученных оценок методами SSIM и PSNR соответственно для различных форматов видеоизображений с битрейтом видеопотока от 6000 Кбит/с до 1000 Кбит/с.

С точки зрения восприятия качества видеоизображения конечными пользователями критерием приемлемости является оценка MOS (Mean Opinion Score, показатель усредненного мнения) [15]. В исследовании [16] предложены распределения оценок SSIM и PSNR, соответствующих оценкам по шкале MOS (таблица 3).

Таблица 1. Оценки качества, полученные методом SSIM

Разрешение\ Битрейт	1080p@60	1080p@30	720p@60	720p@30	480p@60	480p@30
6000 кбит/с	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
5000 кбит/с	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99
4000 кбит/с	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,99
3000 кбит/с	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98	0,98
2000 кбит/с	0,92	0,94	0,95	0,96	0,97	0,97
1500 кбит/с	0,89	0,92	0,93	0,95	0,95	0,96
1000 кбит/с	0,86	0,88	0,90	0,92	0,93	0,95

Таблица 2. Оценки качества, полученные методом PSNR

Разрешение\ Битрейт	1080p@60	1080p@30	720p@60	720p@30	480p@60	480p@30
6000 кбит/с	47,00	47,00	47,00	47,00	47,00	47,00
5000 кбит/с	40,97	42,39	42,26	43,74	44,23	46,13
4000 кбит/с	39,19	40,91	41,08	42,56	43,05	44,67
3000 кбит/с	36,89	38,88	39,41	40,94	41,38	42,98
2000 кбит/с	34,07	35,85	36,84	38,51	38,92	40,44
1500 кбит/с	32,35	33,84	35,02	36,68	37,26	38,75
1000 кбит/с	29,84	31,41	32,71	34,08	34,92	36,42

Таблица 3. Диапазоны значений объективных оценок и сопоставление с субъективными оценками качества

MOS	Отличное	Хорошее	Среднее	Низкое	Плохое
SSIM	>0,99	0,99-0,95	0,95-0,88	0,88-0,50	0,50>
PSNR	>37	37-31	31-25	25-20	20>

Решение задачи поиска маршрута и расчета требуемой пропускной способности каналов для сеанса ВКС с заданным качеством видеоизображения

Полученные объективные оценки качества видеоизображения при их последующей интерпретации в субъективные метрики восприятия конечными пользователями позволяют сформулировать более обоснованные требования к необходимым характеристикам каналов передачи данных. Либо же при изначально известных характеристиках каналов необходимо подобрать наиболее высококачественное видеоизображение при организации сеанса ВКС.

Для расчета требуемой пропускной способности сеанса на рисунке 6 приведен пример многоуровневого графа системы ВКС $MLG = \{G^1, G^2, G^3, V, E\}$. Между терминалами v_1^3, v_2^3, v_3^3 и сервером v_4^3 организуется многоточечный сеанс ВКС, в котором должна быть обеспечена передача видеоизображений максимально высокого качества (определяемого в MOS как «отличное»). Следующие параметры сеанса удовлетворяют заданному требованию $e_1^3, e_2^3, e_3^3 = (1080p, 60 \text{ Гц}, 6000 \text{ Кбит/с})$. Необходимо выбрать маршруты между терминалами и сервером с учетом минимальной загрузки каналов при организации данного сеанса.

На первом этапе проверяется связанность вершин (v_1^3, v_4^3) (v_2^3, v_4^3) (v_3^3, v_4^3) через уровень G^2 , в результате чего определяются вершины v_3^2, v_1^2, v_2^2 для терминалов и v_5^2 для сервера соответственно (рисунок 7). Тем самым подтверждается возможность организации многоточечного сеанса по доступным маршрутам на защищенном уровне сети. Критерием связанности является наличие любого доступного маршрута.

На втором этапе между вершинами графа G^2 , которые определены на первом этапе, ищутся

логические маршруты для каждой связи «терминал-сервер». Глубина поиска может ограничиваться количеством переходов, в данном примере выбираются маршруты с кратчайшим путем. Для каждого найденного маршрута проверяется связанность вершин (v_3^2, v_5^2) (v_1^2, v_5^2) (v_2^2, v_5^2) через уровень G^1 , включая возможные транзитные вершины маршрута. Например, найденные маршруты для связи (v_3^3, v_4^3) терминала 3 с сервером на уровне графа G^2 проходят через транзитные вершины v_4^2 , в первом случае, v_1^2 – во втором (рисунок 8).

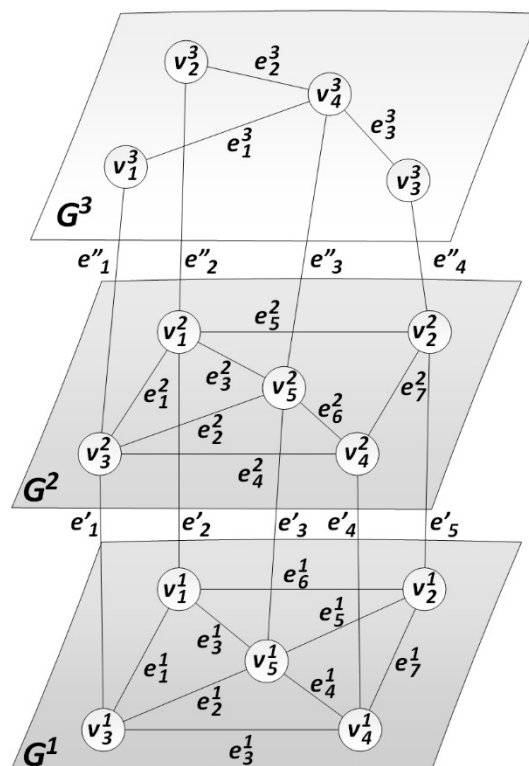


Рисунок 6. Пример решения задачи поиска маршрутов на многоуровневом графе для многоточечного сеанса ВКС

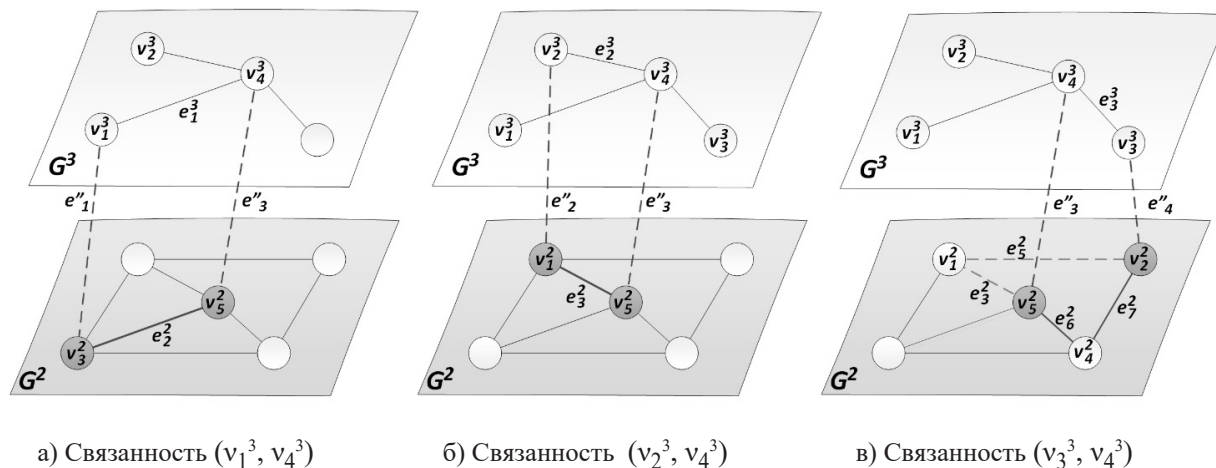
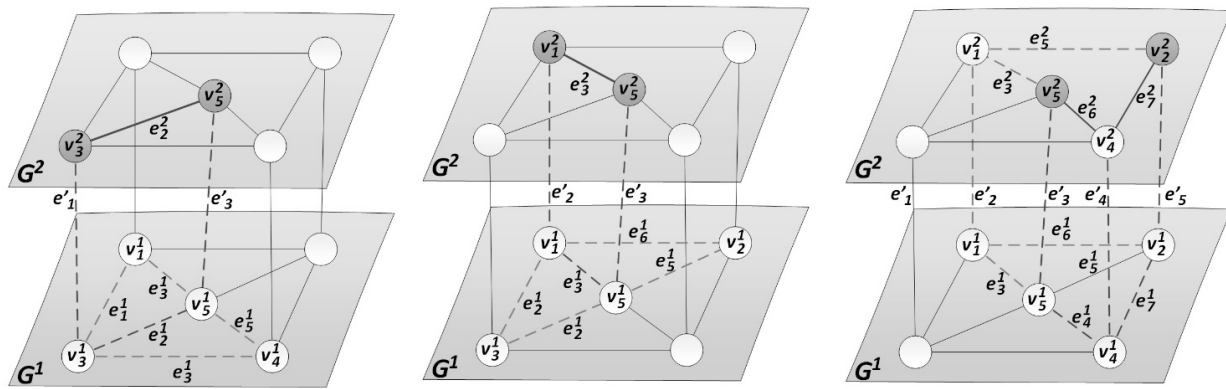


Рисунок 7. Определение связанности вершин

а) Поиск маршрутов (v_1^3, v_4^3) на графах G^2, G^1 б) Поиск маршрутов (v_2^3, v_4^3) на графах G^2, G^1 в) Поиск маршрутов (v_3^3, v_4^3) на графах G^2, G^1 Рисунок 8. Поиск маршрутов на графах G^2, G^1 и оценка загруженности $e_i' \in E'$

Для каждого найденного маршрута между вершинами графа G^2 определяются смежные вершины графа G^1 , между которыми ищутся маршруты, а соответствующим ребрам $e'(v^2, v^1)$ задается пропускная способность с учетом направлений потоков:

- исходящему – начальному ребру;
- входящему – конечному ребру;
- входящему и исходящему – ребру, с транзитной вершиной.

Так как каждый найденный маршрут на уровне G^2 может иметь множество способов реализации физической связанности на уровне G^1 , то необходимо выбрать решение, при котором будут выбраны маршруты, обеспечивающие минимальную суммарную загруженность для $e_1', e_2', e_3', e_4', e_5'$.

В данном примере глубина поиска возможных маршрутов на уровне ограничивается количеством переходов, равных двум.

Первые два этапа повторяются аналогично для (v_4^3, v_1^3) (v_4^3, v_2^3) (v_4^3, v_3^3) при поиске обратных маршрутов от сервера к терминалам 1–3.

На третьем этапе выбираются решения, удовлетворяющие требованию минимальной суммарной загруженности всех каналов $e_i' \in E'$.

В таблице 4 показаны результаты двух существующих решений задачи, которые дали следующее распределение требуемой пропускной способности каналов.

На рисунке 9 представлена графическая визуализация загруженности каналов в разрезе трафиков каждого отдельного терминала и сервера, учитывая исходящее (out) и входящее (in) направления. Полученные результаты можно интерпретировать в качестве требований, предъявляемых к пропускной способности арендуемых каналов. Также на основе полученных результатов могут задаваться соответствующие политики качества обслуживания QoS (Quality of Services), гарантирующие резервирование канальных ресурсов на период проведения сеанса.

Заключение

Предложенная математическая модель многоуровневого графа позволяет решать широкий

Таблица 4. Результаты решения задачи с распределением загруженности каналов, Мбит/с

Решение 1:			Решение 2:		
Канал	in (Мбит/с)	out (Мбит/с)	Канал	in (Мбит/с)	out (Мбит/с)
e_1'	6	6	e_1'	6	6
e_2'	6	6	e_2'	12	12
e_3'	18	18	e_3'	18	18
e_4'	12	12	e_4'	6	6
e_5'	6	6	e_5'	6	6

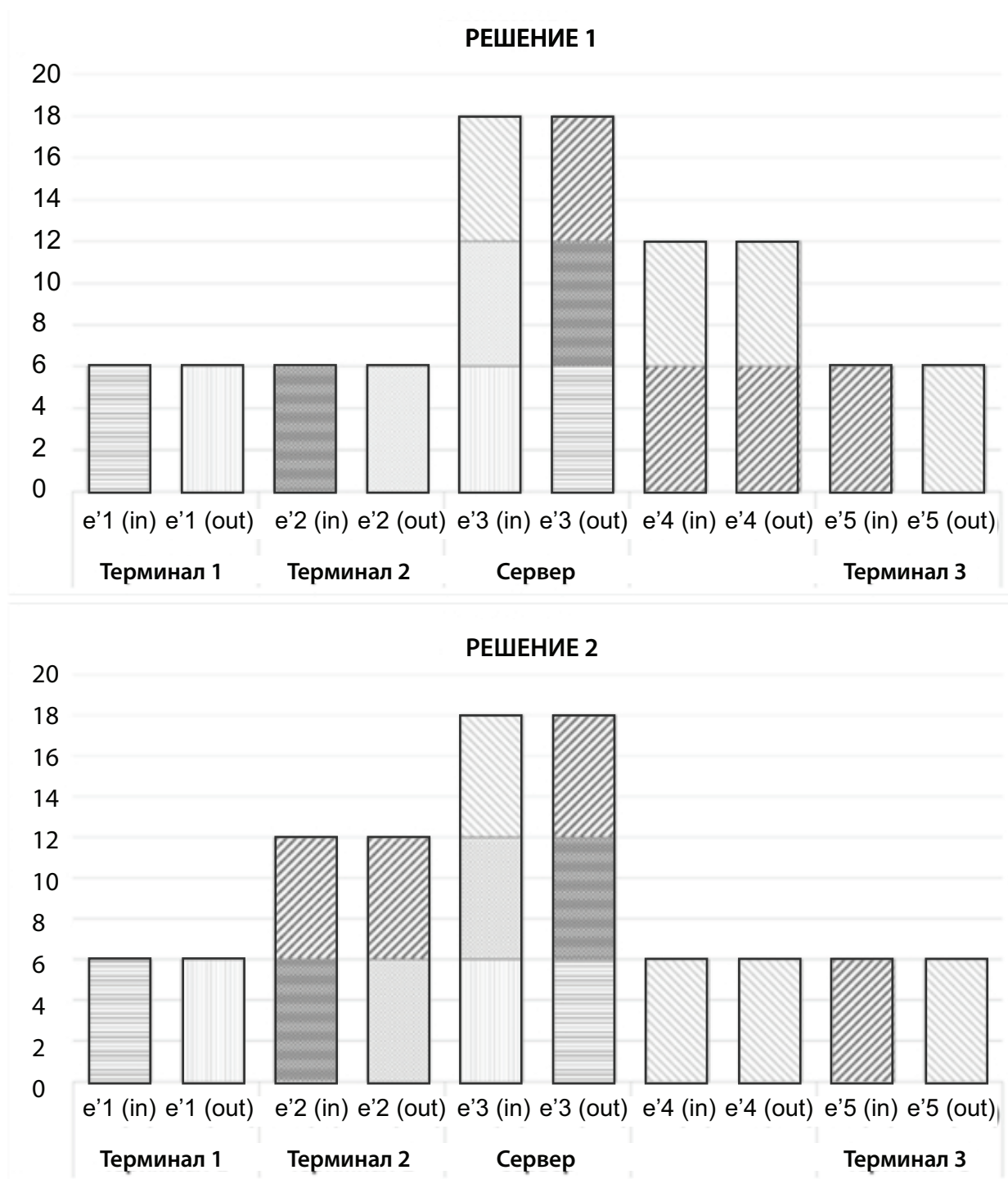


Рисунок 9. Распределение исходящего и входящего трафиков по каналам

класс задач, возникающих при организации многопоточных сеансов ВКС. В данной работе рассмотрены задачи, связанные с оценкой пропускной способности каналов, задействованных для организации сеанса. Перспективными направлениями дальнейших исследований являются задачи балансировки трафика в условиях ограничения пропускной способности отдельных каналов. Одним из способов решения задачи балансировки является применение многопуте-

вой маршрутизации на защищенном уровне сети. Актуальными также являются задачи обеспечения отказоустойчивости проводимых сеансов, для решения которых необходимо организовать одновременную передачу трафика по нескольким маршрутам одновременно. Реализация соответствующих алгоритмов в модели многоуровневого графа позволит получить количественные оценки пропускной способности каналов с учетом задержек и потерь.

Литература

1. Рекомендация МСЭ-Т E.800 (09/2008). Термины и определения, связанные с качеством услуг электросвязи. Женева: МСЭ, 2009. 32 с.
2. Ma J., Li M., Li H.-J. Traffic dynamics on multilayer networks with different speeds // IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs. 2022. Vol. 69, no. 3. P. 1697–1701. DOI: 10.1109/TCSII.2021.3102577
3. Traffic optimization in multi-layered WANs using SDN / H. Rodrigues [et al.] // IEEE 22nd Annual Symposium on High-Performance Interconnect. Mountain View, 2014. P. 71–78. DOI: 10.1109/HOTI.2014.23
4. Multilayer network simplification: approaches, models and methods / R. Interdonato [et al.] // Computer Science Review. 2020. No. 36. URL: <https://www.sci-hub.ru/10.1016/j.cosrev.2020.100246> (дата обращения: 10.06.2024).
5. Агеев Д.В. Проектирование современных телекоммуникационных систем с использованием многоуровневых графов // Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2010. Т. 4, № 2 (46). С. 75–77.
6. Агеев Д.В. Структурный синтез сети WDM с оптическими конверторами с применением модели, представленной в виде многослойного графа // Проблемы телекоммуникаций. 2012. № 2 (7). С. 3–17.
7. Study of subjective and objective quality assessment of audio-visual signals / X. Min [et al.] // IEEE Transactions on Image Processing. 2020. Vol. 29. P. 6054–6068. DOI: 10.1109/TIP.2020.2988148
8. Screen content video quality assessment: subjective and objective study / S. Cheng [et al.] // IEEE Transactions on Image Processing. 2020. Vol. 29. P. 8636–8651. DOI: 10.1109/TIP.2020.3018256
9. Рекомендация МСЭ-R BT.500-14 (10/2019). Методики субъективной оценки качества телевизионных изображений. Женева: МСЭ, 2020. 104 с.
10. Subjective and objective quality assessment of high frame rate videos / P.C. Madhusudana [et al.] // IEEE Access. 2021. Vol. 9. P. 108069–108082.
11. Structural similarity index (SSIM) revisited: a data-driven approach / I. Bakurov [et al.] // Expert Systems with Applications. 2022. Vol. 189. URL: https://www.researchgate.net/publication/355499235_Structural_Similarity_Index_SSIM_Revisited_a_Data-Driven_Approach (дата обращения: 10.06.2024).
12. Overview of full-reference video quality metrics and their performance evaluations for videoconferencing application / L. Zhang [et al.] // Journal of Electronic Imaging. 2019. Vol. 28, no. 2. P. 023001–023007.
13. Moldovan A.-N., Ghergulescu I., Muntean C.H. VQAMap: A novel mechanism for mapping objective video quality metrics to subjective MOS scale // IEEE Transactions on Broadcasting. 2016. Vol. 62, no. 3. P. 610–627. DOI: 10.1109/TBC.2016.2570002
14. Klink J., Uhl T. Video quality assessment: some remarks on selected objective metrics // International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM). Split, 2020. DOI: 10.23919/SoftCOM50211.2020.9238303. URL: https://www.researchgate.net/publication/345806819_Video_Quality_Assessment_Some_Remarks_on_Selected_Objective_Metrics (дата обращения: 15.06.2024).
15. Akramullah S. Digital Video Concepts, Method and Metrics. Quality, Compression, Performance and Power-off Analysis. New York City: Apress, 2014. 368 p.
16. Shahid M., Abebe M.A., Hardeberg J.Y. Assessing the quality of videoconferencing: from quality of service to quality of communication // Electronic Imaging. 2018. P. 235-1–235-7. DOI: 10.2352/ISSN.2470-1173.2018.12.IQSP-235.

Получено 05.07.2024

Гладких Анатолий Афанасьевич, д.т.н., профессор, профессор кафедры радиотехники, телекоммуникации и защиты информации Ульяновского государственного технического университета. 432027, Российская Федерация, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32. Тел. +7 909 357-78-37. E-mail: a_gladkikh@mail.ru

Мишин Дмитрий Викторович, д.т.н., профессор кафедры радиоэлектронных систем Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики. 443010, Российская Федерация, г. Самара, ул. Л. Толстого, 23. Тел. +7 960 816-24-46. E-mail: d.mishin@psuti.ru

Дрягин Сергей Александрович, заместитель главного конструктора научно-производственного объединения «Марс» (НПО «Марс»). 432022, Российская Федерация, г. Ульяновск, ул. Солнечная, 20. Тел. +7 908 490-97-65. E-mail: s_drg@mail.ru

Корсунский Андрей Сергеевич, к.т.н., главный конструктор НПО «Марс». 432022, Российская Федерация, г. Ульяновск, ул. Солнечная, 20. Тел. +7 960 376-55-94. E-mail: aksspb@mail.ru

MATHEMATICAL MODELING OF SECURE MULTIPOINT VIDEO CONFERENCE SESSIONS USING MULTILAYER GRAPHS

Gladkikh A.A.¹, Mishin D.V.², Driagin S.A.³, Korsunskii A.S.³

¹ *Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russian Federation*

² *Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation*

³ *Research-and-Production Association «Mars», Ulyanovsk, Russian Federation*

E-mail: s_drg@mail.ru

The article describes a multilayer graph model for multipoint videoconference sessions. The model presented in this study allows to specify requirements for quality of video capture quality when transferred between terminals and multipoint control unit at the service layer, as well as assessing bandwidth performance and delay of datalink channels at the secure and transport network layer. The given multilayer graph model for videoconference system is designed taking into account the features of secure network configuration, in which several overlay network layers are distinguished over transportation networks. This model specifies a structure of multipoint videoconference session at service layer, at which videoconferencing terminals interoperate through server. Traffic flows generated during session are distributed according to routing rules at the secure network layer. A purpose to select the most optimal route configuration for the entire session includes a number of alternative methods to distribute traffic for each pair of client-server communication seems to be rather complicated. The study proposes an algorithm for searching the shortest path in the graph of a secure overlay network with a step-by-step projection for each individual route section onto the underlying level of the transport network to find the shortest path within its boundaries. An example for solving a problem on finding route in regard to the overlay network requirements and the actual traffic flow through the transportation network is given. Minimization of the capacity usage of leased channels was chosen as the optimality criterion. Experiments were conducted to evaluate the session quality based on the objective methods for various video-stream parameters, and corresponding quantitative estimates of the required bandwidth in order to organize a session.

Keywords: *multilayer graph, videoconference, multipoint videoconference sessions, quality evaluation of videoconference sessions, data transmission network, calculation of required channel resources*

DOI: 10.18469/ikt.2024.22.1.04

Gladkikh Anatoliy Afanasevich, Ulyanovsk State Technical University, 32, Severny Venets Street, Ulyanovsk, 432027, Russian Federation; Professor of Radio Engineering, Telecommunications and Information Security Department, Doctor of Technical Sciences. Tel. +7 909 357-78-37. E-mail: a_gladkikh@mail.ru

Mishin Dmitry Viktorovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23, L. Tolstoy Street, Samara, 443010, Russian Federation; Professor of Radio Electronic Systems Department, Doctor of Technical Sciences. Tel. +7 960 816-24-46. E-mail: mishin-dv@psuti.ru

Driagin Sergey Aleksandrovich, Research-and-Production Association «Mars», 20, Solnechnaya Street, Ulyanovsk, 432022, Russian Federation; Deputy Chief Designer. Tel. +7 908 490-97-65. E-mail: s_drg@mail.ru

Korsunskiy Andrey Sergeevich, Research-and-Production Association «Mars», 20, Solnechnaya Street, Ulyanovsk, 432022, Russian Federation; Deputy Chief Designer, PhD in Technical Sciences. Tel. +7 960 376-55-94. E-mail: aksspb@mail.ru

References

1. Recommendations ITU-T E.800 (09/2008). Definition of Terms Related to Quality of Service. Geneva: MSE, 2009, 32 p. (In Russ.)
2. Ma J., Li M., Li H.-J. Traffic dynamics on multilayer networks with different speeds. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, 2022, vol. 69, no. 3, pp. 1697–1701. DOI: 10.1109/TCSII.2021.3102577
3. Rodrigues H. et al. Traffic optimization in multi-layered WANs using SDN. *IEEE 22nd*

- Annual Symposium on High-Performance Interconnect*. Mountain View, 2014, pp. 71–78. DOI: 10.1109/HOTI.2014.23
4. Interdonato R. et al. Multilayer network simplification: approaches, models and methods. *Computer Science Review*, 2020, no. 36. URL: <https://www.sci-hub.ru/10.1016/j.cosrev.2020.100246> (accessed: 10.06.2024).
 5. Ageev D.V. Designing the modern telecommunication systems using multilayer graphs. *Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tekhnologij*, 2010, vol. 4, no. 2 (46), pp. 75–77. (In Russ.)
 6. Ageev D.V. Structural synthesis of WDM network with optical converters using a model represented as a multilayer graph. *Problemi telekomunikacij*, 2012, no. 2 (7), pp. 3–17. (In Russ.)
 7. Min X. et al. Study of subjective and objective quality assessment of audio-visual signals. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2020, vol. 29, pp. 6054–6068. DOI: 10.1109/TIP.2020.2988148
 8. Cheng S. et al. Screen content video quality assessment: subjective and objective study. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2020, vol. 29, pp. 8636–8651. DOI: 10.1109/TIP.2020.3018256
 9. Recommendations ITU-R BT.500-14. (10/2019). Methodologies for the Subjective Assessment of the Quality of Television Images. Geneva: MSE, 2020, 104 p. (In Russ.)
 10. Madhusudana P.C. et al. Subjective and objective quality assessment of high frame rate videos. *IEEE Access*, 2021, vol. 9, pp. 108069–108082.
 11. Bakurov I. et al. Structural similarity index (SSIM) revisited: a data-driven approach. *Expert Systems with Applications*, 2022, vol. 189. URL: https://www.researchgate.net/publication/355499235_Structural_Similarity_Index_SSIM_Revisited_a_Data-Driven_Approach (accessed: 10.06.2024).
 12. Zhang L. et al. Overview of full-reference video quality metrics and their performance evaluations for videoconferencing application. *Journal of Electronic Imaging*, 2019, vol. 28, no. 2, pp. 023001–023007.
 13. Moldovan A.-N., Ghergulescu I., Muntean C.H. VQAMap: A novel mechanism for mapping objective video quality metrics to subjective MOS scale. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 2016, vol. 62, no. 3, pp. 610–627. DOI: 10.1109/TBC.2016.2570002
 14. Klink J., Uhl T. Video quality assessment: some remarks on selected objective metrics. *International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM)*. Split, 2020. DOI: 10.23919/SoftCOM50211.2020.9238303. URL: https://www.researchgate.net/publication/345806819_Video_Quality_Assessment_Some_Remarks_on_Selected_Objective_Metrics (accessed: 15.06.2024).
 15. Akramullah S. *Digital Video Concepts, Method and Metrics. Quality, Compression, Performance and Power-off Analysis*. New York City: Apress, 2014, 368 p.
 16. Shahid M., Abebe M.A., Hardeberg J.Y. Assessing the quality of videoconferencing: from quality of service to quality of communication. *Electronic Imaging*, 2018, pp. 235-1–235-7. DOI: 10.2352/ISSN.2470-1173.2018.12.IQSP-235

Received 05.07.2024

ЛИНИИ СВЯЗИ И ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ТЕНОЛОГИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

УДК 681.586.54

ПОЛЕВЫЕ ИСПЫТАНИЯ МЕТОДА ПОИСКА ТРАССЫ ПРОКЛАДКИ ПОЛНОСТЬЮ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОПТИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ

Дашков М.В., Гуреев В.О., Гаврюшин С.А., Нижгородов А.О.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ
E-mail: m.dashkov@psuti.ru, v.gureev@psuti.ru, s.gavrushin@psuti.ru, anton.socol2017@yandex.ru

В статье представлен метод поиска трассы для прокладки подземных диэлектрических оптических кабелей, основанный на регистрации и анализе откликов фазочувствительного оптического рефлектометра на вибро-акустические воздействия в предполагаемой области прокладки. Особенность метода заключается в использовании импульсного ударного воздействия для примерного определения зоны прокладки кабеля и применения источника акустического воздействия для определения направления и уточнения местоположения трассы прокладки. В работе изложен алгоритм выполнения трассопоисковых работ и рекомендации по выбору параметров акустического воздействия. В соответствии с разработанным методом были проведены полевые испытания на участке волоконно-оптической линии связи, реализованном с использованием оптического кабеля полностью диэлектрической конструкции. В результате экспериментальной апробации была продемонстрирована возможность определения местоположения трассы кабеля в условиях электромагнитных и акустических помех с погрешностью не более $\pm 0,2$ м.

Ключевые слова: поиск трассы прокладки, диэлектрический оптический кабель, акустический сигнал, фазочувствительный оптический рефлектометр, система вибро-акустического мониторинга

Введение

Поиск трассы прокладки кабеля является неотъемлемой частью процесса технической эксплуатации подземных волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). Однако традиционные методы поиска, основанные на принципе электромагнитной индукции, неприменимы для оптических кабелей (ОК) без металлических элементов. В то же время полностью диэлектрические ОК обладают значительными преимуществами, связанными с устойчивостью к внешним электромагнитным воздействиям, и широко используются в районах с высокой грозовой активностью, а также на участках сближения с высоковольтными линиями электропередач и электрическими железными дорогам [1]. Также легкие малогабаритные диэлектрические ОК применяются при строительстве методом задувки в защитные полиэтиленовые трубы и пакеты микротрубок транспортной многоканальной коммуникации.

Следовательно, в процессе эксплуатации подобных ВОЛС требуются эффективные методы и средства для поиска трассы прокладки ОК и локализации повреждений.

В настоящее время технология распределенных волоконно-оптических сенсоров акустических и вибрационных воздействий интенсивно развивается, что сопровождается повышением ее эффективности и расширением области применения [2–4].

В ряде публикаций [5–7] рассматривались различные подходы по применению данной технологии для решения задач поиска и локализации кабельных линий.

В работах [8; 9] были предложены методы поиска трассы прокладки диэлектрического ОК, основанные на регистрации и анализе откликов волоконно-оптической системы вибро-акустического мониторинга (СВАМ), реализованной на базе фазочувствительного оптического рефлектометра, на вибрационное и акустическое воздействие в области локализации.

Настоящая работа посвящена усовершенствованию данных методов и их экспериментальной апробации в полевых условиях.

Метод поиска трассы прокладки

Предлагаемый метод поиска трассы прокладки оптического кабеля полностью диэлектрической конструкции представляет собой развитие и адаптацию метода, предложенного в работах [9; 10], к полевым условиям. Суть метода заключается в следующем: СВАМ размещается на оконечном пункте ВОЛС и подключается к свободному оптическому волокну (ОВ) из кабеля, трассу прокладки которого необходимо определить; в месте локализации оказывается вибрационное и/или акустическое воздействие заданного вида для набора точек на поверхности грунта; отклики СВАМ анализируются, и определяется местоположение трассы.

При этом вводятся следующие предположения: примерная область прокладки ОК известна с точностью R ; чувствительность ОВ в ОК не зависит от направления воздействия; характеристики распространения вибро-акустических воздействий в грунте однородны.

Метод реализуется в два этапа: на первом этапе производится примерное определение зоны прокладки кабеля на местности с применением импульсного ударного воздействия; на втором этапе производится определение направления трассы и уточнение местоположения кабеля.

Алгоритм реализации метода:

1) в заданном месте поиска трассы прокладки ОК строится прямоугольная система координат, которую для определенности можно привязать к сторонам света;

2) на заданном расстоянии R от центра системы координат отмечаются точки в соответствии с направлением (Север – 1, Восток – 2, Юг – 3, Запад – 4);

3) в отмеченных точках производятся ударные воздействия заданной кратности путем организации свободного падения груза массой 5 кг с

высоты 1 м на поверхность грунта, с фиксацией откликов СВАМ;

4) определяется точка максимальной интенсивности отклика, в которую переносится центр координат, и задаются новые точки воздействия на расстоянии R ;

5) при необходимости выполняется несколько итераций до тех пор, пока воздействию в центре системы координат не будет соответствовать наиболее интенсивный отклик;

6) производится анализ спектральных характеристик, мешающих вибро-акустических воздействий в зоне поиска трассы кабеля по результатам анализа характеристик СВАМ без какого-либо рода внешнего воздействия;

7) производится анализ спектральных характеристик откликов при размещении источника акустического сигнала в центре системы координат и воздействии с помощью сигнала с линейной частотной модуляцией;

8) определяется частота, соответствующая максимальной чувствительности и отношению сигнал/шум;

9) в отмеченных точках производится воздействие гармоническим акустическим сигналом на определенной ранее частоте, и фиксируются отклики СВАМ;

10) составляется карта распределения интенсивностей отклика по оси ОК для выбранных точек воздействия;

11) взаимное расположение максимумов откликов для различных точек воздействия по длине ОВ определяет примерное направление трассы прокладки ОК;

12) определяется азимут направления трассы прокладки ОК в соответствии с формулами:

$$\theta = \arccos\left(\frac{Q_p}{2R}\right), \quad \theta = \arcsin\left(\frac{Q_{\perp}}{2R}\right), \quad (1)$$

где Q_p – расстояние между максимумами откликов для диаметральных точек воздействия по направлению оси отсчета азимута; $Q_{\perp}$ – расстояние между максимумами откликов для диаметральных точек воздействия вдоль перпендикулярного направления, относительно оси отсчета азимута; R – расстояние от центра системы координат до точки воздействия;

13) полученные результаты для пар точек «Север-Юг» и «Запад-Восток» сопоставляются, и выносится заключение о корректности расчетов с учетом влияния погрешности локализации;

14) из центра системы координат перпендикулярно предполагаемому направлению трассы прокладки ОК проводится линия;

15) вдоль полученной линии с заданным шагом перемещается источник акустического воздействия, и регистрируются отклики СВАМ;

16) местоположение трассы уточняется по результатам анализа откликов СВАМ.

На рисунке 1 приведен пример варианта взаимного расположения кабельной трассы и географической системы координат.

Взаимное расположение точек N, E, S и W, соответствующих пространственным координатам максимумов откликов на характеристиках СВАМ, при воздействии вибрационным или акустическим методом в точках 1–4 будет определять ориентировочное направление трассы кабеля с

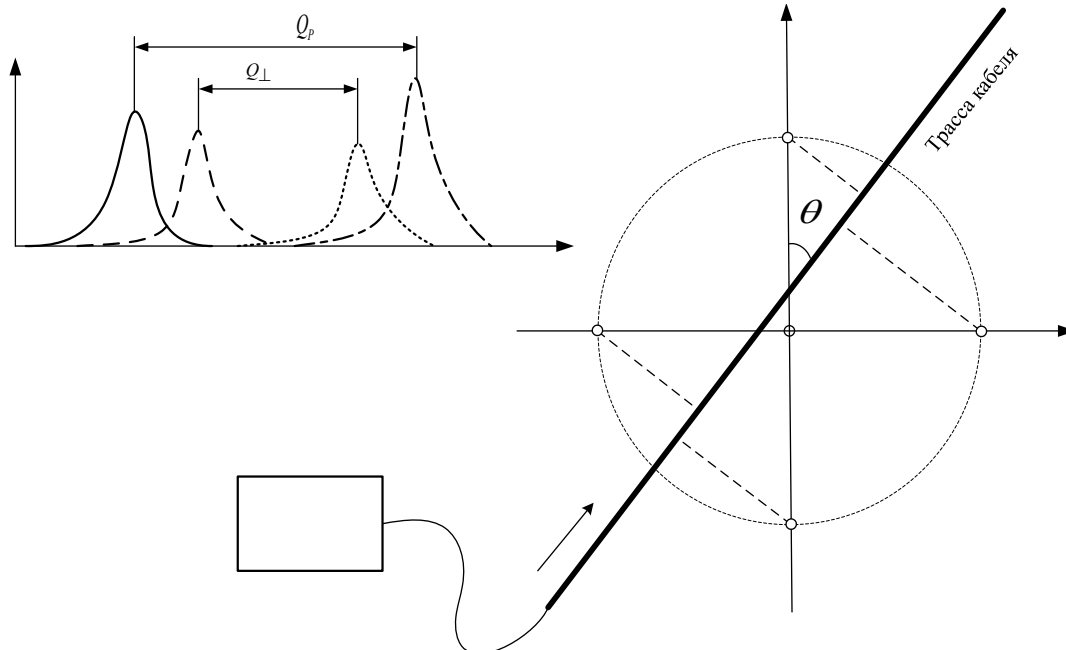


Рисунок 1. Пример расположения кабельной трассы и географической системы координат

учетом расположения СВАМ. В результате определения ориентировочного направления трассы будет выбираться направление, относительного которого целесообразно откладывать азимут.

В общем случае возможны 12 вариантов взаимного расположения точек, включая частные случаи при расположении трассы кабеля под углами 0° , 45° , 90° и 135° относительно одной из осей выбранной системы координат.

Основными факторами, влияющими на точность локализации, являются: разная чувствительность ОВ по длине ОК; неоднородность грунта; избыточность длины ОВ в ОК; расположение ОК в трубке; шаг дискретизации по расстоянию СВАМ (параметр, определяющий пространственную разрешающую способность).

Погрешность определения азимута трассы прокладки в зависимости от погрешности локализации максимума воздействия по откликам СВАМ можно выразить в виде:

$$\partial\theta = (4R^2 - Q^2)^{-0.5} \cdot \partial Q,$$

где ∂Q – погрешность локализации максимума воздействия по откликам СВАМ.

В отсутствии дополнительной обработки данных СВАМ в качестве основной составляющей погрешности локализации максимума воздействия будем считать погрешность, связанную с дискретизацией характеристики СВАМ по расстоянию.

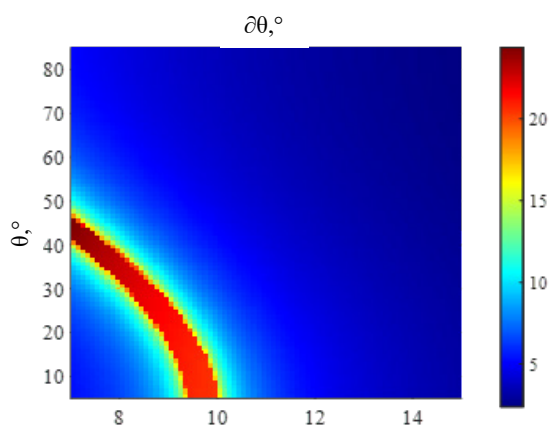


Рисунок 2. Зависимость погрешности определения азимута от величины истинного значения азимута и расстояния от центра координат до точек воздействия

На рисунке 2 приведены результаты расчета погрешности определения азимута трассы прокладки ОК в соответствии с разработанным методом при пространственном разрешении СВАМ 1,25 м.

Таким образом, целесообразно выбирать значения не менее 10 м и определять азимут по ре-

зультатам анализа отклика для двух ортогональных осей согласно формулам (1).

Результаты экспериментальной апробации в полевых условиях

Экспериментальная апробация метода проводилась на участке действующей ВОЛС, построенной с использованием ОК полностью диэлектрической конструкции. На участке сближения с высоковольтными линиями электропередачи (ЛЭП) 110–220 кВ оптический кабель с броней из стеклопластиковых прутков прокладывался на глубине 0,9–1,2 м.

Присутствие высоковольтных ЛЭП в непосредственной близости от места проведения испытаний оказывает дестабилизирующее электромагнитное и акустическое влияние.

При обследовании выставлялись следующие параметры измерения СВАМ: длина волны 1550 нм; шаг дискретизации по расстоянию 1,25 м; измерительная (калибровочная) длина 5 м; частота опроса 2000 Гц; показатель преломления 1,4682; длина участка анализа от 2500 до 4500 м.

В результате проведенных мероприятий в соответствии с пунктами 1)–5) после второй итерации была выстроена прямоугольная географическая система координат, ориентированная по сторонам света, а опорные точки были выставлены на расстоянии 10 м от центра.

Для определения возможностей локализации при импульсном вибрационном воздействии в каждой опорной точке осуществлялось по три последовательных воздействия в виде свободного падения на грунт массы в 5 кг с высоты 1 метр с интервалом 1–3 секунды.

На рисунках 3 и 4 приведены диаграммы распределения энергии откликов СВАМ, рассчитанные для диапазона частот от 0 до 40 Гц.

Было отмечено, что отклик на импульсное воздействие в основном сосредоточен в диапазоне частот от 10 до 40 Гц и на диаграммах можно однозначно выделить трехкратное воздействие.

В результате анализа полученных диаграмм были сделаны следующие выводы: наибольшее воздействие наблюдается для точки «Юг»; наименьшее воздействие наблюдается для точки «Запад»; воздействие в точке «Север» сильнее, чем в точке «Восток».

Для определения точности локализации при импульсном вибрационном воздействии от точки «Юг» в направлении центра координат производилось перемещение по направлению к Центру координат с шагом 1 м, в каждой точке при этом осуществлялось по три импульсных вибрацион-

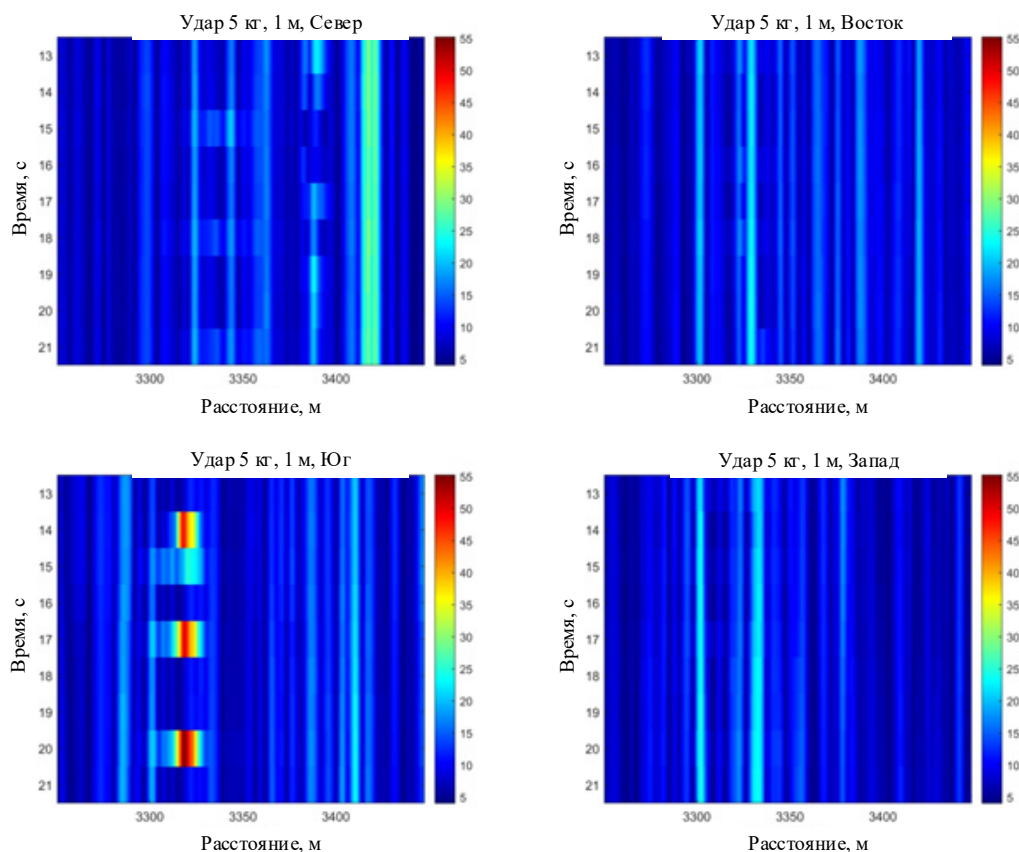


Рисунок 3. Диаграммы распределения энергии откликов СВАМ на импульсное воздействие в опорных точках во временной области и вдоль оптического волокна в диапазоне частот 0–40 Гц

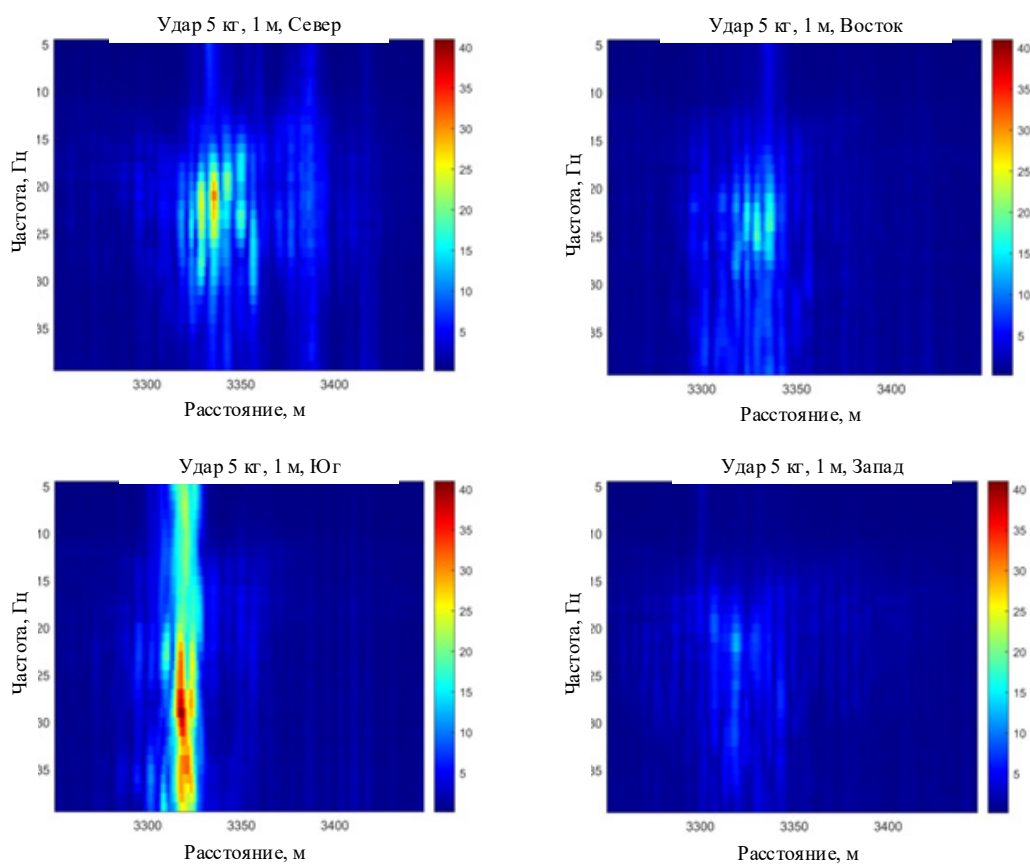


Рисунок 4. Диаграммы распределения энергии откликов СВАМ на импульсное воздействие в опорных точках в частотной области и вдоль оптического волокна

ных воздействия (свободное падение на грунт массы в 5 кг с высоты 1 метр).

В итоге было проанализировано 11 точек, расположенных вдоль направления «Юг» – «Центр», при этом 1-я точка соответствует месту, отстоящему от опорной точки «Юг» на 5 метров южнее, а 11-я точка соответствует месту, отстоящему от опорной точки «Юг» на 5 метров севернее. Точка № 6 соответствует опорной точке «Юг».

На рисунке 5а представлена диаграмма энергий частотного диапазона при троекратных импульсных вибрационных воздействиях вдоль направления «Юг» – «Центр» с шагом 1 метр, начиная от точки, отстоящей на 5 метров в южном направлении. На рисунке 5б приведена интегральная диаграмма энергий при троекратных импульсных вибрационных воздействиях вдоль направления «Юг» – «Центр» с шагом 1 метр, начиная от точки, отстоящей на 5 метров в южном направлении (среднеквадратичное по интервалу расстояния воздействия и временного диапазона воздействия в каждой точке).

По полученным результатам сделано заключение о том, что предполагаемая область прохождения трассы соответствует интервалу от точки № 5 и точки № 7, что соответствует точности ± 1 м относительно точки № 6 – опорная точка «Юг». Смещение точек локальных максимумов по оптическому расстоянию на рисунке 5а свидетельствует о том, что для выбранной системы координат траектория трассы отклоняется от направления «Юг» – «Север» к «Востоку» (ориентировочно «Северо – Северо-Восток»).

По результатам шурфования был обнаружен ОК полностью диэлектрической конструкции. Глубина залегания кабеля составила 0,65 м. В результате расстояние от точки № 6 до ОК состави-

ло 0,2 м, а расстояние от точки № 5 до ОК составило 0,72 м.

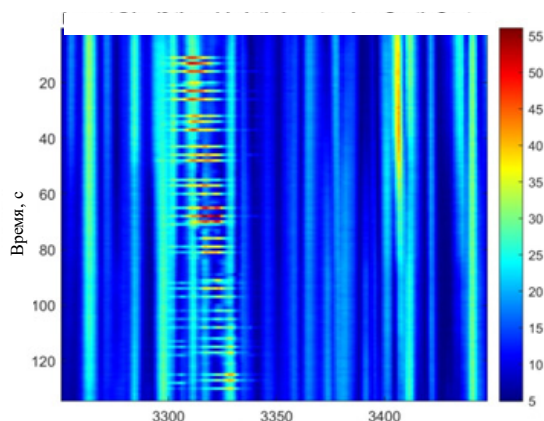
В соответствии с пунктами 6) и 7) предлагаемого метода были проведены измерения фонового шума без воздействия и с воздействием акустическим сигналом с линейной частотной модуляцией в диапазоне частот 140–200 Гц для временного интервала 180 с.

На рисунке 6 приведены частотно-временное распределение интенсивности отклика на акустический сигнал с линейной частотной модуляцией и итоговая спектральная характеристика. В результате анализа для дальнейших испытаний была выбрана частота акустического воздействия 180 Гц.

В соответствии с пунктом 9) источник акустического сигнала частотой 180 Гц и уровнем сигнала порядка 95 дБа перемещался по опорным точкам, и характеристики СВАМ сохранялись для дальнейшей обработки. По результатам обработки был определен ориентировочный диапазон значений угла в пределах 20–40 градусов вправо относительно направления «Юг» – «Север».

В соответствии с пунктами 14) и 15) из центра системы координат проводится линия, перпендикулярная предполагаемому направлению прокладки трассы ВОЛС, и источник акустического воздействия перемещается вдоль проведенной перпендикулярной линии с шагом 30 см с сохранением откликов СВАМ.

В результате обработки полученных данных построена диаграмма, отображающая зависимость интенсивности отклика на акустическое воздействие на частоте 180 Гц от точки воздействия и координаты по оптическому расстоянию. (рисунк 7а). На рисунке 7б приведена зависимость интенсивности отклика на акустическое воздействие на частоте 180 Гц от точки воздей-



а)



б)

Рисунок 5. Локализация трассы прокладки кабеля при импульсных воздействиях: а) распределения откликов СВАМ на импульсное воздействие; б) распределение амплитуды откликов по точкам импульсного воздействия

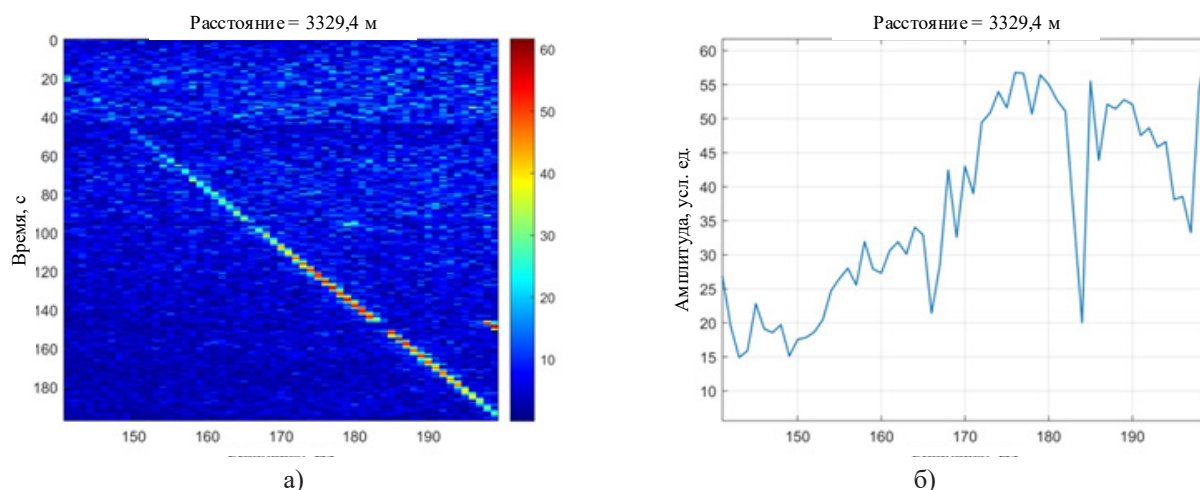


Рисунок 6. Отклик СВМ на акустический сигнал с линейной частотной модуляцией: а) частотно-временное распределение отклика; б) спектральная характеристика

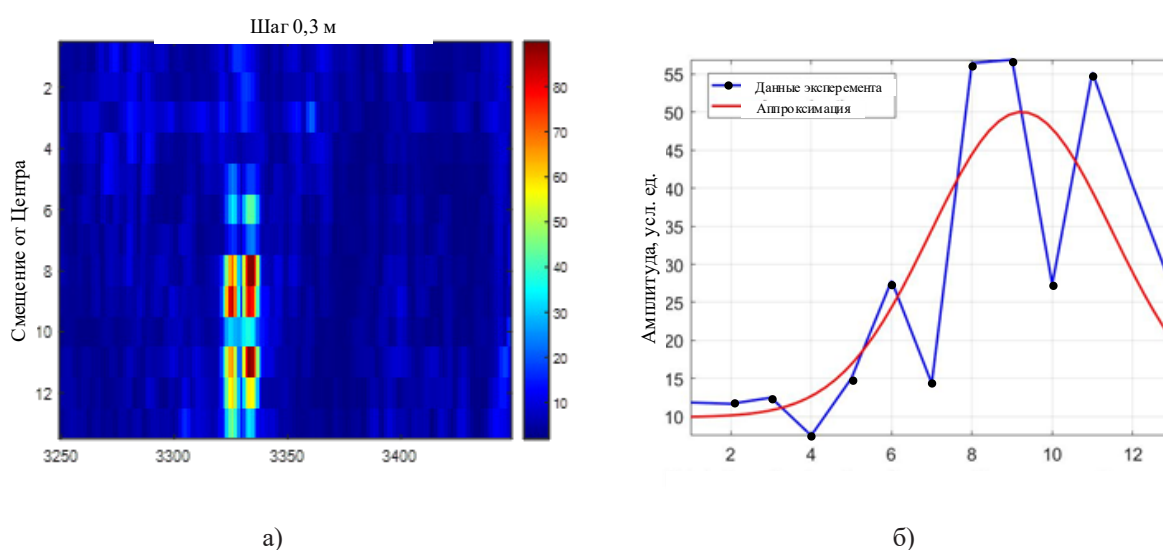


Рисунок 7. Отклик СВМ на акустический сигнал: а) распределение отклика по длине оптического волокна и точкам воздействия; б) зависимость амплитуды отклика от точки акустического воздействия

ствия и результат аппроксимации, полученные в результате обработки данных в специализированной программе.

В результате было сделано заключение о том, что наиболее вероятное местоположение кабеля окажется в районе точки № 9.

По результатам шурфования в обозначенной области был обнаружен ОК полностью диэлектрической конструкции. Глубина залегания кабеля составила 0,74 м. Итоговое отклонение от точки максимального акустического воздействия (точка № 9), определенной по результатам обработки данных СВМ и рекомендованной в качестве исходной для шурфования, составило 0,17 м.

Заключение

В результате экспериментальной апробации в полевых условиях была продемонстрирована

эффективность предложенного метода и возможность локализации трассы прокладки с погрешностью не более $\pm 0,2$ м.

В ходе исследования был сделан вывод о необходимости дальнейшего развития метода с использованием сложных акустических сигналов для повышения эффективности работы в условиях сильного акустического шума от сторонних источников, таких как трубопроводы, шоссе, линии электропередач и иные инженерные сооружения.

Литература

1. Направляющие системы электросвязи: учебник для вузов: в 2 т. Т.1. Проектирование, строительство и техническая эксплуатация / В.А. Андреев [и др.]; под ред. В.А. Андреева. М.: Горячая Линия-Телеком, 2010. 424 с.

2. Scientific applications of distributed acoustic sensing: state-of-the-art review and perspective / B.G. Gorshkov [et al.] // *Sensors*. 2022. Vol. 22, no. 3. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/3/1033> (дата обращения: 15.07.2024).
3. Distributed acoustic sensing over 146 km using phase-sensitive optical time-domain reflectometer assisted by bidirectional distributed Raman amplifier / D.R. Kharasov [et al.] // 2022 International Conference Laser Optics (ICLO): IEEE Proceedings, 2022. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9840022/references#references> (дата обращения: 15.07.2024).
4. Marcon L., Galtarossa A., Palmieri L. High-frequency high-resolution distributed acoustic sensing by optical frequency domain reflectometry // *Optics Express*. 2019. Vol. 27, no. 10. P. 13923–13933. DOI: 10.1364/OE.27.013923
5. Dakin J.P., Russell S.J. Distributed optical fiber sensing methods for localisation of disturbances and the position of optical fibre cables in the ground // 17th International Conference on Optical Fibre Sensors: Proceedings SPIE. 2005. Vol. 5855. P. 162–167. DOI: 10.1117/12.623641
6. New methods for non-destructive underground fiber localization using distributed fiber optic sensing technology / H. Liu [et al.] // 25th Opto-Electronics and Communications Conference (OECC): IEEE Proceedings. 2020. P. 1–3. DOI: 10.1109/OECC48412.2020.9273672
7. Localization of fiber cable with distributed acoustic sensing / Y. Wang [et al.] // 10th International Conference on Information, Communication and Networks (ICIN): IEEE Proceedings. 2022. P. 473–478. DOI: 10.1109/ICIN56848.2022.10006527
8. Localization method for all-dielectric fiber-optic cable / O.Yu. Gubareva [et al.] // *Optical Technologies for Telecommunications 2021: Proceedings SPIE*. 2022. Vol. 12295. P. 1229510-1–1229510-8. DOI: 10.1117/12.2631780
9. Gureev V.O., Dashkov M.V., Shaban O.V. All-dielectric fiber-optic cable route search method // *Optical Technologies for Telecommunications 2022: Proceedings SPIE*. 2023. Vol. 12743. P. 1274313-1–1274313-7. DOI: 10.1117/12.2680877
10. Дашков М.В., Гуреев В.О. Метод поиска трассы диэлектрического оптического кабеля с использованием фазочувствительного рефлектометра // *Фотон-экспресс*. 2023. № 6 (190). С. 477–478. DOI: 10.24412/2308-6920-2023-6-477-478

Получено 26.07.2024

Дашков Михаил Викторович, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой линий связи и измерений в технике связи (ЛС и ИТС) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). 443090, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, 77. Тел. +7 846 339-11-00 (доб. 2373). E-mail: m.dashkov@psuti.ru

Гуреев Владимир Олегович, аспирант кафедры ЛС и ИТС ПГУТИ. 443090, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, 77. Тел. +7 846 339-11-00 (доб. 2373). E-mail: v.gureev@psuti.ru

Гаврюшин Сергей Александрович, заведующий лабораториями кафедры ЛС и ИТС ПГУТИ. 443090, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, 77. Тел. +7 846 339-11-00 (доб. 2373). E-mail: s.gavrushin@psuti.ru

Нижегородов Антон Олегович, аспирант кафедры ЛС и ИТС ПГУТИ. 443090, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, 77. Тел. +7 846 339-11-00 (доб. 2373). E-mail: anton.socol2017@yandex.ru

FIELD TESTING OF THE ROUTE TRACING METHOD FOR FULLY DIELECTRIC OPTICAL CABLE

Dashkov M.V., Gureev V.O., Gavryushin S.A., Nizhgorodov A.O.

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation

*E-mail: m.dashkov@psuti.ru, v.gureev@psuti.ru, s.gavrushin@psuti.ru,
anton.socol2017@yandex.ru*

The article presents a method of underground dielectric optical cable route tracing using a distributed acoustic sensing based on recording and analyzing of the phase-sensitive optical reflectometer response to vibration-acoustic effects in the proposed tracing area. The peculiarity of the method is the use of pulsed impact for approximate determination of the cable laying area and the use of an acous-

tic source to determine the direction and clarify the location of the tracing route. The study outlines tracing algorithm and recommendations for choosing acoustic impact parameters. In accordance with the method elaborated, field tests were carried out on the section of a fiber-optic communication line made using a fully-dielectric optical cable. In result of the experimental testing, the possibility to determine a cable route tracing location under conditions of electromagnetic and acoustic interference with an error of not more ± 0.2 m was demonstrated.

Keywords: cable route tracing, fully dielectric optical cable, acoustic signal, phase-sensitive optical time-domain reflectometer, distributed acoustic sensing

DOI: 10.18469/ikt.2024.22.1.05

Dashkov Michael Viktorovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moskovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Head of Communication Lines and Measurements in Telecommunications Department, PhD in Technical Science. Tel. +7 846 339-11-00 (ext. 2373). E-mail: m.dashkov@psuti.ru

Gureev Vladimir Olegovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moskovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; PhD Student of Communication Lines and Measurements in Telecommunications Department. Tel. +7 846 339-11-00 (ext. 2373). E-mail: v.gureev@psuti.ru

Gavryushin Sergey Alexandrovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moskovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Head of Laboratory of Communication Lines and Measurements in Telecommunications Department. Tel. +7 846 339-11-00 (ext. 2373). E-mail: s.gavrushin@psuti.ru

Nizhgorodov Anton Olegovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moskovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; PhD Student of Communication Lines and Measurements in Telecommunications Department. Tel. +7 846 339-11-00 (ext. 2373). E-mail: anton.socol2017@yandex.ru

References

1. Andreev V.A. et al. *Telecommunications Cabling Systems: Textbook for Universities: in 2 Vols. Vol. 2. Design, Installation and Maintenance*. Ed by V.A. Andreev. Moscow: Goryachaya liniya-Telecom, 2010, 424 p. (In Russ.)
2. Gorshkov B.G. et al. Scientific applications of distributed acoustic sensing: state-of-the-art review and perspective. *Sensors*, 2022, vol. 22, no. 3. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/3/1033> (accessed: 15.07.2024).
3. Kharasov D.R. et al. Distributed acoustic sensing over 146 km using phase-sensitive optical time-domain reflectometer assisted by bidirectional distributed Raman amplifier. *2022 International Conference Laser Optics (ICLO): IEEE Proceedings*, 2022. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9840022/references#references> (accessed: 15.07.2024).
4. Marcon L., Galtarossa A., Palmieri L. High-frequency high-resolution distributed acoustic sensing by optical frequency domain reflectometry. *Optics Express*, 2019, vol. 27, no. 10, pp. 13923–13933. DOI: <https://doi.org/10.1364/OE.27.013923>
5. Dakin J.P., Russell S.J. Distributed optical fiber sensing methods for localisation of disturbances and the position of optical fibre cables in the ground. *17th International Conference on Optical Fibre Sensors: Proceedings SPIE*, 2005, vol. 5855, pp. 162–167. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.623641>
6. Liu H. et al. New methods for non-destructive underground fiber localization using distributed fiber optic sensing technology. *25th Opto-Electronics and Communications Conference (OECC): IEEE Proceedings*, 2020, pp. 1–3. DOI: 10.1109/OECC48412.2020.9273672

7. Wang Y. et al. Localization of fiber cable with distributed acoustic sensing. *10th International Conference on Information, Communication and Networks (ICICN): IEEE Proceedings*, 2022, pp. 473–478. DOI: 10.1109/ICICN56848.2022.10006527
8. Gubareva O.Yu. et al. Localization method for all-dielectric fiber-optic cable. *Optical Technologies for Telecommunications 2021: Proceedings SPIE*, 2022, vol. 12295, pp. 1229510-1–1229510-8. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2631780>
9. Gureev V.O., Dashkov M.V., Shaban O.V. All-dielectric fiber-optic cable route search method. *Optical Technologies for Telecommunications 2022: Proceedings SPIE*, 2023, vol. 12743, pp. 1274313-1–1274313-7. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2680877>
10. Dashkov M.V., Gureev V.O. Method for searching the route of a dielectric optical cable using a phase-sensitive reflectometer. *Foton-ekspress*, 2023, no 6 (190), pp. 477–478. DOI: 10.24412/2308-6920-2023-6-477-478 (In Russ.)

Received 26.07.2024

УДК 621.315.2

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛЬНО-БЛОКИРОВОЧНЫХ КАБЕЛЕЙ

Попов Б.В., Попов В.Б.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: inkat@inbox.ru

С ростом объемов перевозок на железных дорогах страны возрастают требования к обеспечению их безопасности и надежности. Одной из технических составляющих обеспечения безопасности и надежности железнодорожного транспорта является кабельная инфраструктура железных дорог, в которой особая роль отводится сигнально-блокировочным кабелям. Качественные сигнально-блокировочные кабели должны иметь характеристики, строго соответствующие требованиям ГОСТ. В статье проводятся результаты экспериментальных исследований и анализ электрических характеристик сигнально-блокировочных кабелей с однопроволочными и многопроволочными токопроводящими жилами. Показано, что производство изолированных проводников сигнально-блокировочных кабелей, так же, как и любых других симметричных кабелей связи, осуществляется на технологических автоматических линиях, оборудованных системами автоматического регулирования, что обеспечивает высокую стабильность их электрических характеристик. Даны практические рекомендации по применению сигнально-блокировочных кабелей не только на железнодорожном транспорте, но и в других ведомствах, где используются симметричные кабели связи.

Ключевые слова: *сигнально-блокировочные кабели, технология производства, нормативные документы, низкочастотные характеристики, высокочастотные характеристики*

Общие положения

Совершенствование кабельной инфраструктуры железных дорог является неотъемлемой частью развития технологических сетей сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) железных дорог.

Сигнально-блокировочные кабели обеспечивают функционирование железнодорожной автоматики и телемеханики. По их цепям передаются сигналы управления и электрическое питание систем сигнализации, централизации и блокировки [1].

В настоящее время сигнально-блокировочные кабели изготавливаются в соответствии с техническими условиями (ТУ). Например, по ТУ 16.К71-297-2000, разработанным Всероссийским научно-исследовательским институтом кабельной промышленности (ВНИИКП) [2]. Сравнительно недавно был выпущен новый стандарт

ГОСТ 34679-2020, в котором стали нормироваться важные для практического использования кабелей высокочастотные характеристики [3].

На технологических сетях СЦБ находят применение сигнально-блокировочные кабели с однопроволочными и многопроволочными токопроводящими жилами. Сейчас в научно-технических источниках информации отсутствуют систематизированные данные результатов исследований электрических характеристик сигнально-блокировочных кабелей. В этой связи исследование электрических характеристик сигнально-блокировочных кабелей становится достаточно актуальным. В статье исследуются электрические характеристики сигнально-блокировочных кабелей производства АО «Самарская кабельная компания».

Технологические особенности изготовления сигнально-блокировочных кабелей

Технологический процесс серийного выпуска сигнально-блокировочных кабелей имеет ряд особенностей. Первым этапом производства является изготовление изолированной токопроводящей жилы, которое осуществляется на экструзионной линии. Экструзионная линия имеет в своем составе измерительные системы, контролирующие такие параметры изолированной жилы, как:

- погонная емкость;
- диаметр;
- эксцентриситет;
- электрическая прочность изоляции.

Автоматическая система регулирования экструзионной линии поддерживает нормативные значения указанных параметров [4–6]. Нормы отклонения составляют:

- для толщины изоляции – $\pm 1\%$ (0,003 мм);
- для емкости – не больше 2 пФ;
- для концентричности – не меньше 0,95.

Пары изолированных токопроводящих жил кабеля скручиваются с разными шагами. Это необходимо для уменьшения взаимных электромагнитных влияний между цепями. Для скрутки подбираются шаги скрутки, не превышающие 100 мм. Таким образом, обеспечиваются стабильно высокое качество кабельно-проводниковой продукции.

Результаты измерения электрических характеристик сигнально-блокировочных кабелей с однопроволочными жилами

Измерения электрических характеристик сигнально-блокировочного кабеля СБВБэпПу 4х2х0,9 проводились на кабельном заводе на строительных длинах 170, 200 и 240 м.

Подключение жил исследуемого кабеля к измерительной системе выполнялось при помощи специального подключающего устройства, изготовленного с применением отрезка LAN-кабеля емкостью 4х2х0,52.

Низкочастотные характеристики.

Контролируемыми низкочастотными характеристиками передачи сигнально-блокировочных кабелей являются:

Таблица 1. Низкочастотные характеристики кабеля СБВБэпПу 4х2х0,9

R , Ом/км		ΔR , Ом		C , нФ/км	
R_{cp}	σ	ΔR_{cp}	σ	C_{cp}	σ
27,94	0,29	0,15	0,23	48,06	0,82

- электрическое сопротивление жил при постоянном токе R , Ом/км;
- омическая асимметрия жил ΔR , Ом;
- рабочая емкость C , нФ/км.

Низкочастотные характеристики данного кабеля должны соответствовать нормируемым величинам:

- величина R не более 28,8 Ом/км;
- величина ΔR не более 0,8 Ом;
- величина C не более 100 нФ/км.

Полученные результаты измерений низкочастотных характеристик кабеля были обработаны с помощью методов статистики. При нормальном законе распределения они характеризуются среднестатистическим значением и среднеквадратическим отклонением [7]. Низкочастотные характеристики кабеля СБВБэпПу 4х2х0,9 приведены в таблице 1.

Анализ результатов измерения низкочастотных характеристик кабеля СБВБэпПу 4х2х0,9 (таблица 1) показывает, что:

- электрическое сопротивление жил близко к норме и стабильно;
- омическая асимметрия жил меньше нормы 0,8 Ом;
- рабочая емкость меньше максимума 100 нФ/км.

Нормируемое значение омической асимметрии жил для сигнально-блокировочных кабелей оказывается даже жестче, чем для симметричных кабелей связи. Низкая величина ΔR достигается посредством использования для производства кабелей токопроводящих жил повышенной однородности.

Высокочастотные характеристики.

К высокочастотным характеристикам кабелей относятся:

- коэффициент затухания, α , дБ/км;
- переходное затухание на ближнем конце (БК), A_o , дБ;
- защищенность на дальнем конце (ДК), A_z , дБ.

Высокочастотные характеристики кабелей характеризуют потребительские свойства кабелей. Их нужно знать при строительстве и эксплуатации кабельных линий.

Стандарт ГОСТ 34679-2020 регламентирует:

- коэффициент затухания на частотах до 39 кГц;

– переходное затухание на БК на частотах до 160 кГц.

Указанные характеристики исследуются на частотах до 16 МГц. Также исследуется защищенность на ДК.

Ниже приводится исследование высокочастотных характеристик кабеля СБВБэпПу 4х2х0,9. Исследование проведено для строительной длины 170 м. Характеристики пересчитаны к длине 100 м. Пересчет сделан для удобства сравнения с характеристиками кабеля широкополосного доступа (ШПД) похожей конструкции (ГОСТ Р 70042-2022) [6].

В таблице 2 приведены результаты измерения коэффициента затухания кабеля СБВБэпПу 4х2х0.

Анализ результатов измерения коэффициента затухания, приведенных в таблице 2 и на рисунке 1, а также сравнение с нормами этого параметра кабеля ШПД [8] показывают, что затухание в сравниваемых кабелях с диаметром медных жил 0,9 мм с повышением частоты возрастает пропорционально квадратному корню из частоты. Следовательно, можно сделать вывод о преобладании в цепях кабеля потерь в металле.

При этом частотные характеристики коэффициента затухания сигнально-блокировочного кабеля и кабеля ШПД совпадают оптимальным образом.

В таблицах 3 и 4 приведены результаты измерения суммарной мощности степеней взаимного

влияния на БК (PS NEXT) и ДК (PS ELFEXT) кабеля СБВБэпПу 4х2х0,9.

Анализируя данные, приведенные в таблицах 3 и 4, а также частотные характеристики, приведенные на рисунках 2 и 3, и сравнивая их с нормами кабелей ШПД в соответствии с ГОСТ Р 70042-2022 [8], следует отметить следующее:

– ГОСТ Р 70042-2022 разделяет кабели ШПД согласно диапазону частот: до 30 МГц; до 60 МГц; до 100 МГц;

– на частотах до 16 МГц кабель СБВБэпПу 4х2х0,9 имеет PS NEXT на 6-8 дБ, а PS ELFEXT на 14-18 дБ выше норм для кабеля ШПД на частотах до 30 МГц. Все это свидетельствует о высокой однородности сигнально-блокировочного кабеля марки СБВБэпПу 4х2х0,9.

Результаты измерения электрических характеристик сигнально-блокировочных кабелей с многопроволочными жилами

Рассмотрим электрические характеристики кабеля СБМВБАБпШп 19х2х1,0 повышенной гибкости с многопроволочными жилами. Токопроводящая жила представляет собой стренгу, скрученную из 7 проволок по 0,427 мм. Измерялись строительные длины 0,112 км и 0,3 км. Для проведения измерений использовался измерительный комплекс «ПИКА ИКС».

Таблица 2. Коэффициент затухания кабеля СБВБэпПу 4х2х0,9, дБ/100м

Пара	1,0 МГц	2,0 МГц	4,0 МГц	6,0 МГц	8,0 МГц	10,0 МГц	12,0 МГц	14,0 МГц	16,0 МГц
1	1,04	1,48	2,08	2,59	3,01	3,28	3,80	4,00	4,31
2	1,01	1,46	2,03	2,52	3,05	3,38	3,73	4,06	4,31
3	1,06	1,52	2,13	2,58	3,02	3,36	3,76	4,08	4,49
4	1,04	1,49	2,14	2,55	3,00	3,40	3,75	4,07	4,35

Таблица 3. Результаты измерения характеристики PS NEXT кабеля СБВБэпПу 4х2х0,9, дБ/100м

Пара	1,0 МГц	2,0 МГц	4,0 МГц	6,0 МГц	8,0 МГц	10,0 МГц	12,0 МГц	14,0 МГц	16,0 МГц
1	55,45	48,84	45,76	41,89	38,26	36,26	39,06	34,79	37,22
2	55,90	47,89	43,53	40,63	36,67	37,48	30,58	32,09	29,25
3	52,17	45,13	42,88	46,16	37,95	39,21	35,90	32,08	31,91
4	50,52	45,58	46,53	45,58	36,93	35,19	30,67	33,87	30,29

Таблица 4. Результаты измерения характеристики PS ELFEXT кабеля СБВБэпПу 4х2х0,9, дБ/100м

Пара	1,0 МГц	2,0 МГц	4,0 МГц	6,0 МГц	8,0 МГц	10,0 МГц	12,0 МГц	14,0 МГц	16,0 МГц
1	69,93	60,70	53,35	55,63	47,14	41,46	43,67	42,60	37,62
2	65,02	58,32	53,74	49,04	43,82	43,07	38,53	40,83	40,53
3	68,83	45,13	59,48	50,03	43,95	41,49	43,49	40,14	34,89
4	63,90	56,03	49,51	46,79	44,03	39,06	38,62	40,58	35,85

Низкочастотные характеристики. Низкочастотные характеристики кабеля СБМВБАБпШп 19х2х1,0 должны соответствовать нормируемым величинам:

- величина R не более 17,8-19,9 Ом/км;
- величина ΔR не более 0,8 Ом;
- величина C не более 70 нФ/км.

Полученные результаты измерений низкочастотных характеристик кабеля были обработаны с помощью методов статистики. При нормальном законе распределения они характеризуются среднестатистическим значением и среднеквадратическим отклонением от него [7]. Низкочастотные характеристики кабеля СБВБэпПу 4х2х0,9 приведены в таблице 5.

Анализируя результаты измерения низкочастотных характеристик кабеля СБМВБАБпШп 19х2х1,0 (таблица 5) можно заключить, что этот кабель также является достаточно однородным:

- электрическое сопротивление жил близко к норме и стабильно;
- омическая асимметрия жил меньше нормы 0,8 Ом;
- рабочая емкость меньше максимума 70 нФ/км.

Нормируемое значение омической асимметрии

жил для сигнально-блокировочных кабелей оказывается даже жестче, чем для симметричных кабелей связи. Низкая величина ΔR достигается посредством использования для производства кабелей токопроводящих жил повышенной однородности.

Высокочастотные характеристики. Высокочастотные характеристики сигнально-блокировочного кабеля с многопроволочными проводниками марки СБМВБАБпШп 19х2х1,0 на частотах до 250 кГц измерялись с помощью прибора PSM-39. В таблице 6 приведены усредненные значения коэффициента затухания, на рисунке 1 приведена частотная характеристика.

Коэффициент затухания увеличивается пропорционально квадратному корню из частоты, что характерно для преобладания потерь в металле. Коэффициент затухания соответствует требованиям ГОСТ 34679-2020.

В таблице 7 приведены усредненные значения переходного затухания на БК и защищенности на ДК, а на рисунке 2 – частотные характеристики этих параметров.

Анализ результатов исследования показывает, что нормы переходных затуханий по ГОСТ 34679-2020 выполняются. Частотные характеристики с повышением частоты уменьшаются не более, чем

Таблица 5. Низкочастотные характеристики кабеля СБМВБАБпШп 19х2х1,0

R , Ом/км		ΔR , %		C , нФ/км	
$R_{\text{ср}}$	σ	$\Delta R_{\text{ср}}$	σ	$C_{\text{ср}}$	σ
17,75	0,34	0,03	0,23	48,56	0,92

Таблица 6. Коэффициент затухания кабеля СБМВБАБпШп 19х2х1,0

Частота, кГц	0,8	10	15	20	40	60	100	160	250
α , дБ/км	0,72	1,13	1,23	1,37	1,94	2,55	3,23	3,74	4,98

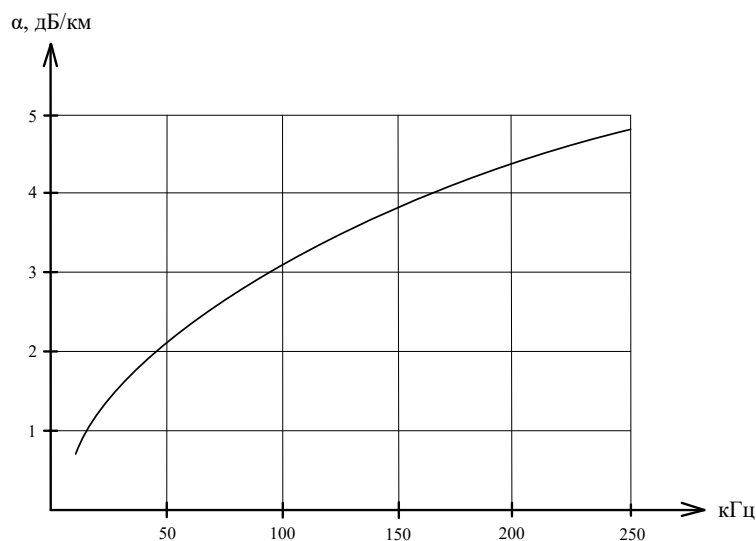
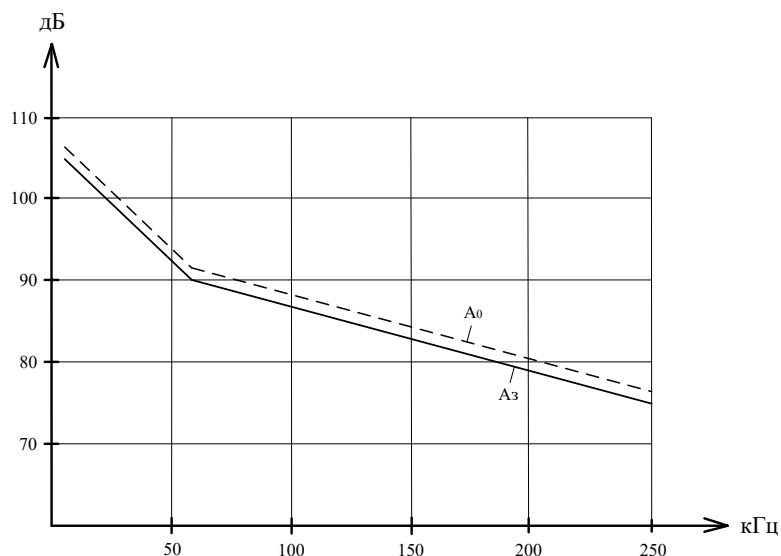


Рисунок 1. Частотная характеристика коэффициента затухания кабеля СБМВБАБпШп 19х2х1,0

Таблица 7. Характеристики взаимного влияния кабеля СБМВБАБпШп 19х2х1,0

Частота, кГц	0,8	10	15	20	40	60	100	160	250
A_0 , дБ	106	104	101	99	94	90	86	82	76
A_3 , дБ	105	103	100	98	93	91	84	80	75

Рисунок 2. Частотные характеристики переходного затухания на БК (A_0) и защищенности на ДК (A_3) кабеля СБМВБАБпШп 19х2х1,0

до 6 дБ/окт, что характерно для преобладания непосредственного влияния за счет нерегулярной составляющей. Теоретические и экспериментальные результаты хорошо согласуются [9; 10]. Результаты исследования свидетельствуют о высокой однородности кабеля СБМВБАБпШп 19х2х1,0.

Заключение

Выполненное исследование электрических характеристик сигнально-блокировочных кабелей позволяет сформулировать следующие выводы:

1. Показано, что низкочастотные характеристики кабелей соответствуют нормам ГОСТ 34679-2020.

2. Показано, что производство изолированных проводников сигнально-блокировочных кабелей, так же, как и любых других симметричных кабелей связи, осуществляется на технологических автоматических линиях, оборудованных системами автоматического регулирования, что обеспечивает высокую стабильность их электрических характеристик.

Высокая однородность изолированной токопроводящей жилы во многом обеспечивает стабильность электрических характеристик кабеля.

3. Установлено, что высокочастотные характеристики сигнально-блокировочных кабелей удовлетворяют нормам кабелей ШПД (ГОСТ Р 70042-2022).

4. Высокие электрические характеристики

сигнально-блокировочных кабелей АО «Самарская Кабельная Компания» показывают целесообразность их использования не только на технологических сетях СЦБ железнодорожного транспорта, но и в других ведомствах, где используются симметричные кабели связи.

Литература

1. Кабели и провода. Основы кабельной техники / А.И. Балашов [и др.]; под ред. И.Б. Пешкова. М.: Энергоатомиздат, 2009. 467 с.
2. ТУ 16.К71-297-2000. Кабели для сигнализации и блокировки с полиэтиленовой изоляцией в металлической оболочке с гидрофобным заполнением. М.: ВНИИКП, 2015. 58 с.
3. ГОСТ 34679-2020. Кабели для сигнализации и блокировки. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2020. 32 с.
4. Качество LAN-кабелей – основа надежной работы СКС и сетей ШПД / Андреев В. [и др.] // Первая миля. 2020. № 1 (86). С. 34–37.
5. Гроднев И.И., Сергейчук К.Я. Экранирование аппаратуры и кабелей связи. М.: Связьиздат, 1960. 316 с.
6. Гроднев И.И. Электромагнитное экранирование в широком диапазоне частот. М.: Связь, 1972. 111 с.
7. Шварцман В.О. Взаимные влияния в кабелях связи. М.: Связь, 1996. 416 с.
8. ГОСТ Р 70042-2022. Кабели связи симметрич-

ные для сетей широкополосного доступа. Общие технические условия. М.: Российский институт стандартизации, 2022. 42 с.

9. Направляющие системы электросвязи: учебник для вузов / В.А. Андреев [и др.]; под редакцией В.А. Андреева; 8-е изд. М.: Горячая линия-Телеком, 2018. 396 с.

10. Попов Б.В., Попов В.Б., Сабиров Р.Н. Электрические характеристики кабеля с многопроволочными проводниками // Автоматика, связь, информатика. 2023. № 10. С. 27–29.

Получено 03.07.2024

Попов Борис Владимирович, к.т.н., профессор кафедры линий связи и измерений в технике связи (ЛС и ИТС) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). 443090, Российская Федерация, г. Самара, ул. Московское шоссе, 77. Тел. +7 846 228-00-66. E-mail: inkat@inbox.ru

Попов Виктор Борисович, к.т.н., профессор кафедры ЛС и ИТС ПГУТИ. 443090, Российская Федерация, г. Самара, ул. Московское шоссе, 77. Тел. +7 846 228-00-66. E-mail: inkat@inbox.ru

RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF SIGNAL-LOCKING CABLES

Popov B.V., Popov V.B.

Povolzhskiy State University of telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation

E-mail:inkat@inbox.ru

With the increase of transportation volumes on the country's railways, the requirements for ensuring their safety and reliability are also increasing. One of the technical components of ensuring the safety and reliability of railway transport is the cable infrastructure of railways, in which a special role is given to signaling and interlocking cables. High-quality signal-locking cables must have characteristics that strictly comply with GOST requirements. The article presents the results of experimental studies and analysis of the electrical characteristics of transmission and mutual influences of signal-locking cables with single-wire and multi-wire conductors. It was proved that the production of insulated conductors of signal-locking cables, as well as of any other symmetrical communication cables, is realized on an extrusion line equipped with automatic control systems, which ensures high stability of their electrical characteristics. Practical recommendations for the use of signal-blocking cables not only in railway transport, but also in other departments that use symmetrical communication cables are also provided in this study.

Keywords: *signal-locking cables, production technology, regulatory documents, low-frequency characteristics, high-frequency characteristics*

DOI: 10.18469/ikt.2024.22.1.06

Popov Boris Vladimirovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moskovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Professor of Communication and Measurement in Communications Technology Department, PhD in Technical Science. Tel. +7 846 228-00-66. E-mail: inkat@inbox.ru

Popov Victor Borisovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moskovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Professor of Communication and Measurement in Communications Technology Department, PhD in Technical Science. Tel. +7 846 228-00-66. E-mail: inkat@inbox.ru

References

1. Balashov A.I. et al. *Cables and Wires. Fundamentals of Cable Technology*. Ed. by I.B. Peshkova. Moscow: Energoatomizdat, 2009. 467 p. (In Russ.)
2. U 16.K71-297-2000. Cables for Signaling and Interlocking with Polyethylene Insulation in a Metal Shell with Hydrophobic Filling. Moscow: VNIIPK, 2015, 58 p. (In Russ.)
3. GOST 34679-2020. Cables for signaling and interlocking. General technical conditions. Moscow: Standartinform, 2020, 32 p. (In Russ.)

4. Andreev V. et al. Quality of LAN cables – the basis for reliable work of SCS and broadband networks. *Pervaya milya*, 2020, no. 1 (86), pp. 34–37. (In Russ.)
5. Grodnev I.I., Sergeychuk K.Ya. *Shielding of Equipment and Communication Cables*. Moscow: Svyaz'izdat, 1960, 316 p. (In Russ.)
6. Grodnev I.I. *Electromagnetic Shielding in a Wide Frequency Range*. Moscow: Svyaz', 1972, 111 p. (In Russ.)
7. Shvartsman V.O. *Mutual Influences in Communication Cables*. Moscow: Svyaz', 1996, 416 p. (In Russ.)
8. GOST R 70042-2022. Symmetrical communication cables for broadband access networks. General technical conditions. Moscow: Rossijskij institut standartizacii, 2022, 42 p. (In Russ.)
9. Andreev V.A. et al. *Guiding Telecommunication Systems: Textbook for Universities*. Ed. by V.A. Andreeva. 8nd ed. Moscow: Goryachaya liniya-Telekom, 2018, 396 p. (In Russ.)
10. Popov B.V., Popov V.B., Sabirov R.N. Electrical characteristics of transmission cables with multi-wire conductors. *Avtomatika, svyaz', informatika*, 2023, no. 10, pp. 27–29. (In Russ.)

Received 03.07.2024

АНТЕННЫ, АФУ И УСТРОЙСТВА СВЧ

УДК 681.586

ПРЕДКОРРЕКЦИЯ ФАЗОЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ

Шакурский М.В.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: m.shakurskiy@psuti.ru

Статья посвящена синтезу компьютерной модели цифрового фильтра с нулевой фазочастотной характеристикой. Известна структурная реализация цифрового фильтра с нулевой фазочастотной характеристикой на основе двойной фильтрации сигнала в прямом и обратном направлениях, а также на основе фильтров с конечной импульсной характеристикой. В данной статье рассматривается реализация фильтра с нулевой фазочастотной характеристикой на основе фильтров с бесконечной импульсной характеристикой. Реализация предкоррекции фазочастотной характеристики фильтра достигается путем использования двухканальной структурной схемы с переносом спектра входного сигнала. Сложность использования фильтров с бесконечной импульсной характеристикой обусловлена ее нелинейностью, что требует предварительной коррекции с целью линеаризации фазочастотной характеристики. В статье рассматривается как математическая модель прохождения сигнала через структурную схему, так и компьютерную модель в среде Matlab-Simulink в статическом и динамическом режимах.

Ключевые слова: цифровой фильтр, нулевая фазочастотная характеристика, моделирование, система реального времени, структурная реализация фильтра

Введение

В задачах цифровой обработки сигналов [1; 2] реализация фильтра с нулевой фазочастотной характеристикой (ФЧХ) относится к нереализуемым задачам, так как она подразумевает нулевую задержку сигнала. Однако ее реализация невозможна только в реальном времени. Вне реального времени существуют решения для цифровой фильтрации с нулевой ФЧХ. Для фильтров с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ) существует оригинальное решение относительно реализации цифрового фильтра за счет двукратной фильтрации сигнала в прямом и обратном направлениях последовательности отсчетов с

помощью стандартного алгоритма фильтрации, что позволяет получить фильтр с нулевой фазочастотной характеристикой. Один из наиболее известных примеров – функция `filtfilt` [3] в среде MATLAB. Для фильтров с конечной импульсной характеристикой (КИХ) существуют решения на основе задержки сигнала [4–6].

Однако также известна реализация цифрового фильтра с нулевой ФЧХ в реальном времени, в которой сохраняется фундаментальный принцип задержки. В качестве примера такой реализации рассмотрим гармонический сигнал. Если допустить, что выходной сигнал отстает на один или несколько периодов, то фактически фазовый сдвиг будет равен нулю. Распространяя на полосу

частот можно получить утверждение, что если в пределах полосы фазовый сдвиг между входным и выходным сигналом равен нулю, при том, что имеет место фактическое отставание сигнала, то такая система окажется реализуемой. Реализация такой системы возможна с помощью структурной схемы, приведенной на рисунке 1 [7].

Структурная схема содержит идентичные полосные фильтры 1 и 4, блок 2 выделения несущего сигнала с удвоенной частотой, умножитель 3.

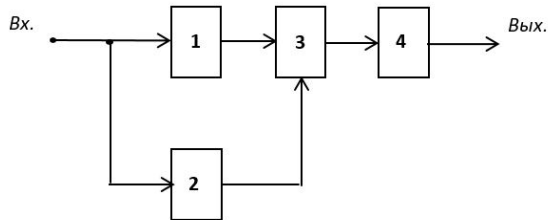


Рисунок 1. Структурная схема фильтра с нулевой фазочастотной характеристикой

В работах [8–10] для реализации данной структуры использовались КИХ фильтры, реализуемые методом частотной выборки. Целью данной работы является реализация модели данной структурной схемы на основе цифровых БИХ фильтров, так как данные фильтры обладают, как правило, повышенным быстродействием за счет рекурсивных схем реализации. Их использование предпочтительно, однако нелинейность ФЧХ фильтров ограничивает их использование.

Постановка задачи

Фазочастотная характеристика цифровых фильтров определяется алгоритмом их работы. Например, если используются только отсчеты входного сигнала, то создаются условия реализации линейной ФЧХ. Если используются отсчеты входного и выходного сигналов, то реализовать линейную ФЧХ становится невозможно. Рекурсивные БИХ фильтры требуют выполнения условий устойчивой реализации. Достоинством последних фильтров является более компактный алгоритм работы. Общим недостатком цифровых фильтров является большой диапазон изменения фазового сдвига в рабочей полосе, зависящий от порядка фильтров. Это приводит, например, к многозначности частот с одинаковым фазовым сдвигом [7].

Актуальной задачей является приведение ФЧХ цифровых фильтров к заданному виду в реальном времени. Оптимальным видом ФЧХ после коррекции будем считать нулевой эквивалентный фазовый сдвиг в полосе пропускания фильтра, нулевую ФЧХ, которая, к тому же, линеаризуется [10].

Описание работы структурной схемы

Рассмотрим реализацию структурной схемы, приведенной на рисунке 1. В устройстве использовано известное свойство преобразования узкополосных сигналов путем гетеродинного переноса их спектров в заданные области частот. Если частота гетеродина больше средней частоты узкополосного сигнала, и после перемножения выделяется спектр с разностными частотами, то начальные фазы гармоник вычитаются из начальной фазы сигнала гетеродина.

Продemonстрируем работу устройства на примере прохождения через него гармонического сигнала, частота которого находится в полосе пропускания фильтров 1 и 4. Изменениями амплитуды пренебрегаем.

Входной сигнал устройства:

$$u_{\text{вх}} = \sin(\omega t + \theta)$$

на выходе фильтра 1 получит дополнительный фазовый сдвиг:

$$u_1 = \sin(\omega t + \theta + \varphi).$$

Входной сигнал устройства на выходе блока 2 после удвоения частоты примет вид:

$$u_2 = \sin(2\omega t + 2\theta + \psi).$$

В умножителе 3 оба сигнала перемножаются. С помощью фильтра 4 выделяется сигнал с разностью частот перемножаемых сигналов, который примет вид:

$$\begin{aligned} u_{\text{вых}} &= \sin(2\omega t - \omega t + 2\theta - \theta - \phi + \phi + \psi) = \\ &= \sin(\omega t + \theta + \psi). \end{aligned}$$

Видно, что фазовые сдвиги в фильтрах 1 и 4 компенсируют друг друга. В выходном сигнале возникает фазовый сдвиг ψ , вызванный прохождением сигнала через блок 2, и его необходимо уменьшить при реализации устройства до возможного минимума.

Компьютерное моделирование

Анализ работы указанного устройства при прохождении через него узкополосного сигнала и при использовании рекурсивных фильтров высокого порядка потребовал дополнительных исследований, которые выполнены с помощью модели устройства в среде MATLAB.

На рисунке 2 приведена разработанная компьютерная модель устройства предкоррекции ФЧХ рекурсивного цифрового фильтра и вспомогательные блоки.

Модель содержит три идентичных полосных фильтра Filter 2, 3 и 4. Коррекции подвергается ФЧХ фильтра 2. Фильтр 3 необходим для внесе-

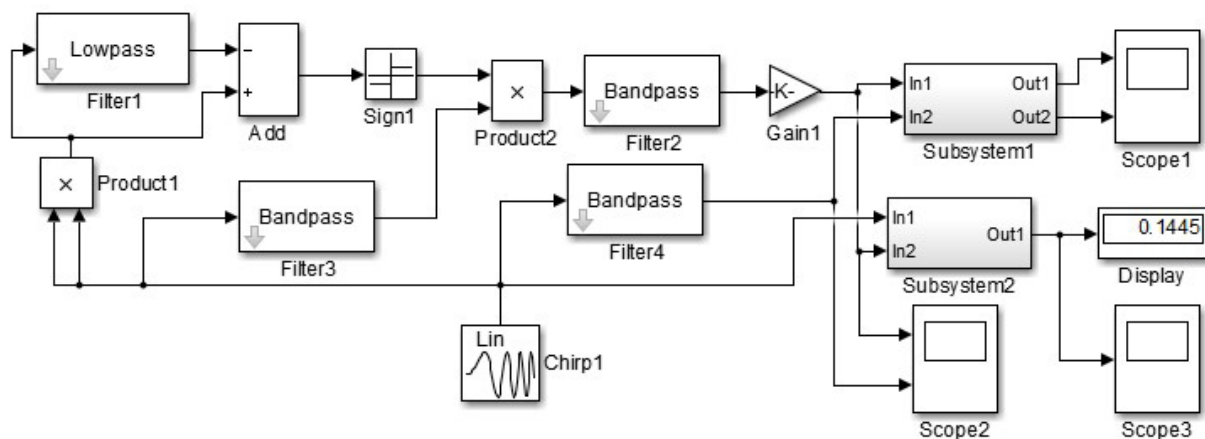


Рисунок 2. Компьютерная модель цифрового фильтра с нулевой ФЧХ

ния в сигнал необходимого фазового сдвига, а контрольный фильтр 4 используется для сравнения результатов эксперимента. Перемножитель Product 1, фильтр нижних частот Filter 1, блок вычитания Add и ограничитель амплитуды Sign необходимы для выделения из входного узкополосного сигнала несущего колебания с удвоенной частотой. Во втором перемножителе Product 2 перемножаются несущее колебание с удвоенной частотой и выходной сигнал фильтра 3, получивший дополнительный фазовый сдвиг относительно входного сигнала устройства.

Умножение входного сигнала устройства на себя дополнительно дает постоянную составляющую:

$$\sin^2 a = 0.5(1 - \cos 2a).$$

Постоянная составляющая выделяется фильтром 1 и вычитается из сигнала. Ограничитель Sign 1 необходим для снятия амплитудной модуляции несущего колебания.

Результат второго перемножения определяется выражением:

$$\begin{aligned} \sin \beta (-\cos 2\alpha) &= \\ &= 0.5(\sin(\beta - 2\alpha - \pi) + \sin(\beta + 2\alpha + \pi)). \end{aligned}$$

Второе слагаемое не попадает в полосу пропускания фильтра 2 и исключается. На выходе фильтра 2 будет сигнал вида $\sin(2\alpha - \beta)$, сигнал с частотой входного сигнала.

Для снятия частотных характеристик модель содержит генератор гармонического сигнала с линейно изменяющейся частотой Chirp1, блок синхронных детекторов Subsystem 1 и блок измерения текущего фазового сдвига Subsystem 2. В целях визуального контроля результатов используются осциллографы Scope 1, 2, 3 и Display.

Разработанная модель позволяет исследовать предкоррекцию любых цифровых полосных фильтров, а также сформировать алгоритм про-

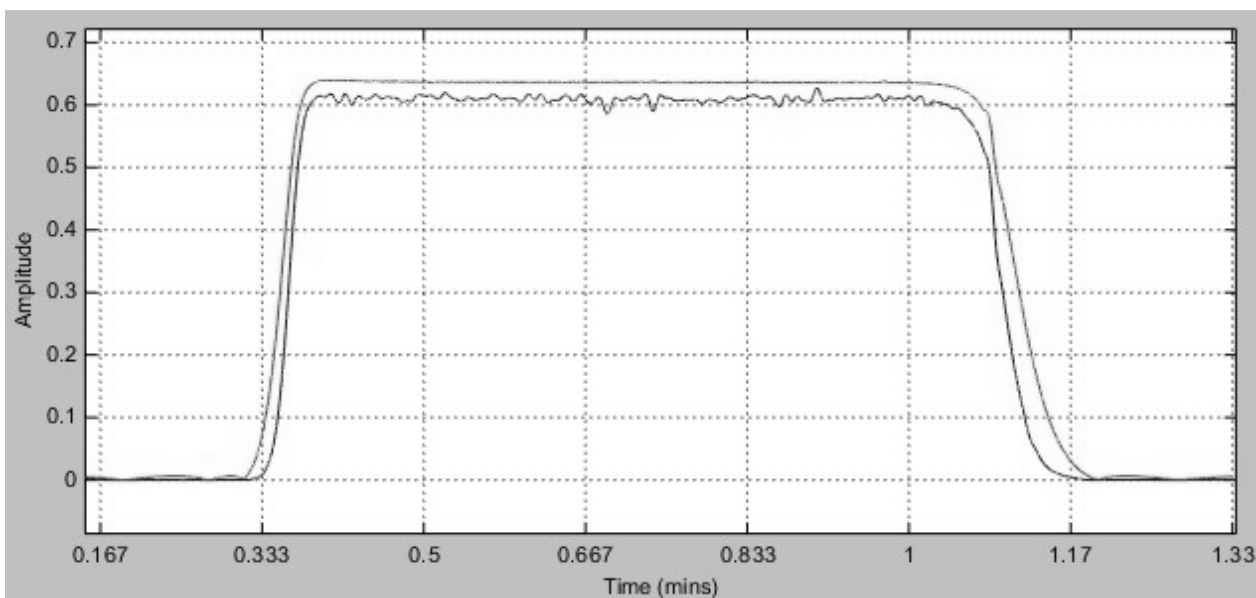


Рисунок 3. АЧХ рекурсивного фильтра используемого в модели

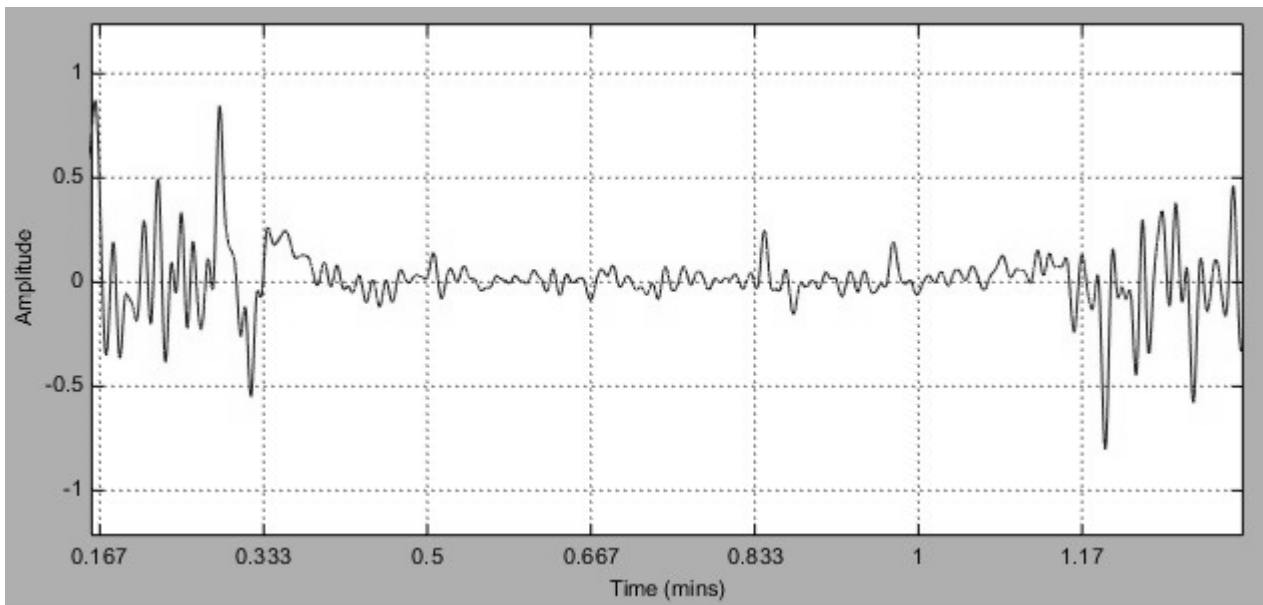


Рисунок 4. Результат работы модели – выходной сигнал фазометра

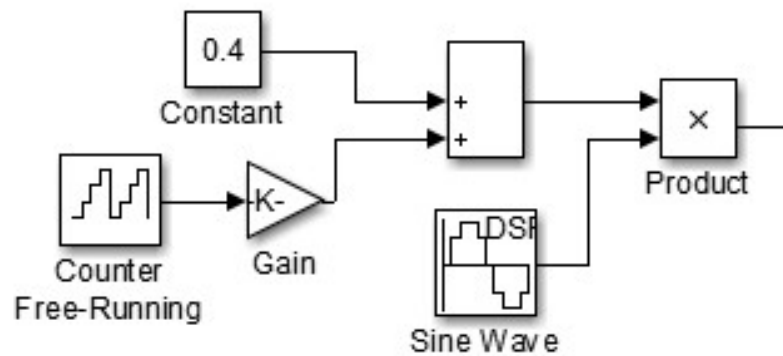


Рисунок 5. Модель генератора периодического узкополосного сигнала

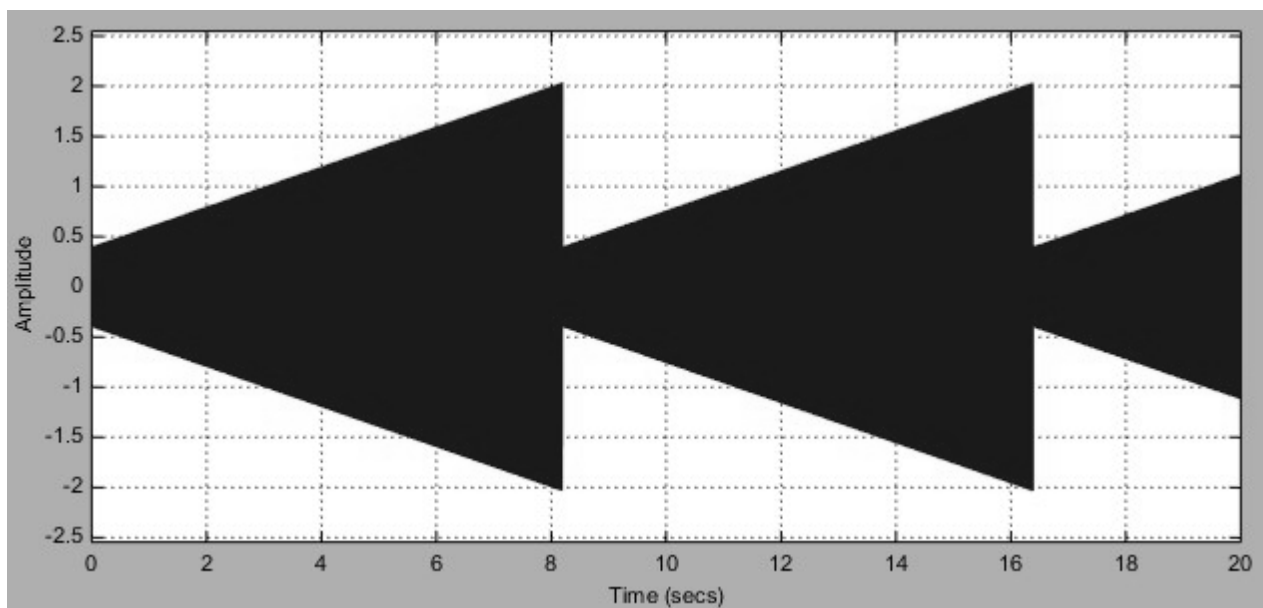


Рисунок 6. Выходной сигнал генератора периодического узкополосного сигнала

граммной реализации цифровых фильтров с нулевой ФЧХ, работающих в реальном времени.

В качестве доказательства эффективности предварительной коррекции приведем результаты эксперимента, выполненного с помощью данной модели.

В эксперименте использовался рекурсивный фильтр, АЧХ которого приведена на рисунке 3 (верхняя кривая). ФЧХ фильтра является нелинейной, а фазовый сдвиг в полосе пропускания изменяется на 15 радиан.

Эквивалентная АЧХ устройства с предварительной коррекцией приведена на рисунке 3 (нижняя кривая). Полоса пропускания стала уже, так как сигнал проходит через каскадное соединение двух одинаковых фильтров 3 и 2.

Эквивалентная ФЧХ устройства с предварительной коррекцией приведена на рисунке 4. Пренебрегая погрешностью измерения фазового сдвига из-за быстрого сканирования будем считать ФЧХ нулевой. Измерение фазового сдвига выполнялось на каждом периоде сигнала. Исследовалось прохождение через фильтр произвольного периодического узкополосного сигнала с предварительной коррекцией, который формировался с помощью модели, представленной на рисунке 5, и вид которого приведен на рисунке 6.

На рисунке 7 приведены огибающие выходных сигналов контрольного фильтра 4 (верхняя кривая) и фильтра с предварительной коррекцией (нижняя кривая).

Видно, что введение предварительной коррекции существенно не сужает полосу пропускания фильтра, незначительно увеличивает задержку сигнала, а характер переходного процесса на

фронтах сигнала остается прежним.

Согласно результатам выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

Использование разработанной технологии предварительной коррекции ФЧХ рекурсивных полосных цифровых фильтров позволяет получить нулевую линейную эквивалентную ФЧХ в реальном времени.

Разработанная технология предварительной коррекции реализуется с помощью программных средств.

Введение предварительной коррекции незначительно влияет на полосу пропускания фильтра, на задержку сигнала и на характер переходных процессов, в сравнении с фильтром без предварительной коррекции.

Литература

1. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. СПб.: Питер, 2005. 604 с.
2. Автоколебательные системы с управляемой фазой внешнего воздействия / Д.А. Крылосова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. 2023. Т. 31, № 5. С. 549–565. DOI: 10.18500/0869-6632-003057
3. Kormylo J., Jain.V. Two-pass recursive digital filter with zero phase shift // IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing. 1974. Vol. 22, no. 5. P. 384–387. DOI: 10.1109/TASSP.1974.1162602
4. Zero-phase FIR filter design algorithm for repetitive controllers / P.V.S.G. de Lima [et al.] // Energies. 2023. Vol. 16, no. 5. URL: https://www.researchgate.net/publication/369056353_Zero-Phase_

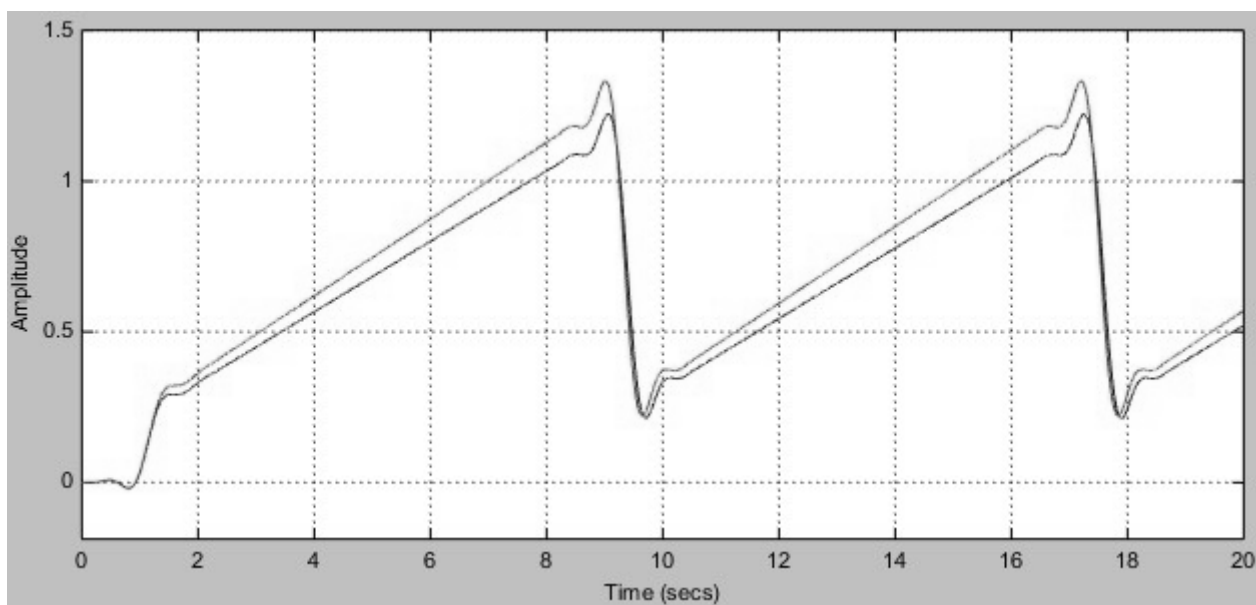


Рисунок 7. Огибающие выходных сигналов

- FIR_Filter_Design_Algorithm_for_Repetitive_Controllers (дата обращения: 25.05.2024).
5. Chang G., Yan S., Wang Y. Application of zero-phase digital filter on non-stationary signal processing // Journal of Beijing Jiaotong University. 2011. Vol. 35, no. 6. P. 49–56.
 6. Ang W.T., Krichane M. Zero phase filtering for active compensation of periodic physiological motion // Biomedical Robotics and Biomechanics (BioRob 2006). 2006. P. 182–187.
 7. Иванов В.В., Шакурский В.К. Генератор-ные, фазовые и частотные преобразователи и модуляторы. М.: Радио и связь, 2003. 184 с.
 8. Цифровой фильтр с нулевой фазочастотной характеристикой: патент 109619. Российская Федерация. № 2011123825 / В.К. Шакурский (RU), М.В. Шакурский (RU); заявл. 10.06.2011; опублик. 20.10.2011, бюл. № 29.
 9. Шакурский В.К., Шакурский М.В. Математическая модель цифровых фильтров, реализуемых методом частотной выборки // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2011. № 2 (16). С. 98–100.
 10. Цифровой фильтр с предкоррекцией фазочастотной характеристики: патент 221361. Российская федерация. № 2023125738. М.В. Шакурский (RU); заявл. 09.10.2023; опублик. 02.11.2023, бюл. № 31.

Получено 01.06.2024

Шакурский Максим Викторович, д.т.н., заведующий кафедрой информационной безопасности Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики. 443090, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, 77. Тел. +7 927 772-98-73. E-mail: m.shakurskiy@psuti.ru

PRE-CORRECTION OF PHASE-FREQUENCY CHARACTERISTICS OF DIGITAL FILTERS

Shakurskiy M.V.

*Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation
E-mail: m.shakurskiy@psuti.ru*

The article is devoted to the synthesis of a digital filter computer model with zero phase-frequency characteristic. A predetermined structural implementation of the digital filter with zero phase-frequency response is based on double filtering of the signal in the forward and reverse directions, as well as on filters with a finite impulse response. This article discusses the implementation of a filter with zero phase-frequency response based on filters with infinite impulse response. The implementation of pre-correction of the phase-frequency response of the filter is achieved due to the use of the two-channel structural diagram with the input signal spectrum transfer. The complexity of using filters with an infinite impulse response is associated with its nonlinearity, which requires pre-correction in order to linearize the phase-frequency response. The article discusses both a mathematical model of signal passage through a block diagram and a computer model in the Matlab-Simulink environment in static and dynamic modes.

Keywords: *digital filter, zero phase response, simulation, real-time system, structural implementation of the filter*

DOI: 10.18469/ikt.2024.22.1.07

Shakurskiy Maxim Viktorovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moskovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Head of Information Security Department, Doctor of Technical Sciences. Tel. +7 927 772-98-73. Email: m.shakurskiy@psuti.ru

References

1. Sergienko A.B. *Digital Signal Processing*. Saint Petersburg: Piter, 2005, 604 p. (In Russ.)
2. Krylosova D.A. et al. Self-oscillating systems with controlled phase of external force. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Prikladnaya nelinejnaya dinamika*, 2023, vol. 31, no. 5, pp. 549–565. DOI: 10.18500/0869-6632-003057 (In Russ.)
3. Kormylo J., Jain V. Two-pass recursive digital filter with zero phase shift. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 1974, vol. 22, no. 5, pp. 384–387. DOI: 10.1109/TASSP.1974.1162602

4. De Lima P.V.S.G. et all. Zero-phase FIR filter design algorithm for repetitive controllers. *Energies*, 2023, vol. 16, no. 5. URL: https://www.researchgate.net/publication/369056353_Zero-Phase_FIR_Filter_Design_Algorithm_for_Repetitive_Controllers (accessed: 25.05.2024).
5. Chang G., Yan S., Wang Y. Application of zero-phase digital filter on non-stationary signal processing. *Journal of Beijing Jiaotong University*, 2011, vol. 35, no. 6, pp. 49–56.
6. Ang W.T., Krichane M. Zero phase filtering for active compensation of periodic physiological motion. *Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob 2006)*, 2006, pp. 182–187.
7. Ivanov V.V., Shakurskiy V.K. *Generator, Phase and Frequency Converters and Modulators*. Moscow: Radio i svyaz', 2003, 184 p. (In Russ.)
8. Digital Filter with Zero-Phase Characteristic: patent 109619. Russian Federation. No. 2011123825 / V.K. Shakurskiy (RU), M.V. Shakurskiy (RU); заявл. 10.06.2011; opubl. 20.10.2011, byul. no. 29. (In Russ.)
9. Shakurskiy V.K., Shakurskiy M.V. Mathematical model of digital filters based on frequency selection method. *Vektor nauki Tol'yatinskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2011, no. 2 (16), pp. 98–100. (In Russ.)
10. Digital Filter with Phase Response Pre-Correction: patent 221361. Russian Federation. No. 2023125738 / M.V. Shakurskiy (RU); заявл. 09.10.2023; opubl. 02.11.2023, byul. no. 31. (In Russ.)

Received 01.06.2024

РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ И РАДИОПРИЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА, ТЕЛЕВИДЕНИЕ

УДК 621.396

МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ПИК-ФАКТОРА СИГНАЛОВ ФВМС НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНО-НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ СПРОТТА, РЕАЛИЗОВАННОЙ НАД КОНЕЧНЫМ ПОЛЕМ ГАЛУА

Логинов С.С., Ишимев И.И., Сивинцева О.А.

*Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева – КАИ,
Казань, РФ
E-mail: sivinceva96@mail.ru*

В данной статье проведен сравнительный анализ методов снижения пик-фактора сигналов системы мульти-плексирования на основе программных средств моделирования с использованием банка фильтров с помощью дискретно-нелинейной системы Спротта, реализованной над конечным полем Галуа. Исследуются методы частичной последовательности передачи, скремблирования, а также комбинированный метод, который включает в себя оба способа. Каждый метод заключается в формировании псевдослучайной последовательности на основе системы Спротта. По итогам работы для каждого метода оценен пик-фактор и представлена дополнительная кумулятивная функция распределения. Кроме того, оценено влияние количества итераций и окон, использующихся в методе частичной последовательности передачи, на пик-фактор. Полученные в ходе проведенного исследования результаты могут быть применены при проектировании систем передачи информации.

Ключевые слова: мультиплексирование с использованием банка фильтров, пик-фактор, дополнительная кумулятивная функция распределения, псевдослучайные последовательности, система Спротта

Введение

На сегодняшний день беспроводные технологии являются одним из самых быстроразвивающихся и перспективных направлений в телекоммуникационной индустрии. Беспроводная связь сохраняет высокую доступность для абонентов за счет эффективной организации множественного доступа.

Хорошо известные принципы временного, кодового или частотного разделения абонентов уже не позволяют в полной мере соответствовать предъявляемым требованиям к современным системам. Поэтому в данной сфере активно ведутся исследования с целью создания новых более эффективных методов множественного доступа.

Одним из таких методов является метод мультиплексирования с использованием банка фильтров (Filter Bank Multicarrier, FBMC), который характеризуется более высокой спектральной эффективностью по сравнению с методом мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM). Данный метод позволяет принимать асинхронные данные и разделять несмежные поддиапазоны в частотной области, что делает его более устойчивым к смещению несущей [1].

FBMC предполагает использование для каждой поднесущей модулированного фильтра-прототипа с хорошей частотно-временной локализацией, удовлетворяющего свойству Найквиста [2]. Формирование сигналов FBMC происходит следующим образом: двоичная информация моделируется при помощи сложного алфавита модуляции, после чего разделяется на действительную и мнимую составляющие сложного символа модуляции FBMC, которые передаются со смещением по времени. Однако, передаваемые символы FBMC перекрываются во временной области, а специальная конструкция фильтра позволяет разделять символы на приемнике [3].

Основным критерием оценки энергетической эффективности систем связи с FBMC является пик-фактор (Peak-to-Average Power Ratio, PAPR). Высокое значение пик-фактора оказывает влияние на достоверность приема и скорость передачи данных.

В исследовании [4] авторы предлагают гибридный метод сокращения PAPR систем связи с видимым светом на основе FBMC, который представляет собой комбинированный модифицированный метод отсечения со смещением и преобразованием Адамара. Преимущество преобразования Адамара заключается в уменьшении пик-фактора без ущерба для частоты битовых ошибок.

В статье [5] рассматривался метод оптимизации фазы перекрытия частичной последовательности передачи (Partial Transmit Sequence, PTS) с использованием алгоритма оптимизации фазы искусственной пчелиной семьи (Artificial Bee Colony Phase Optimization, ABC) для системы FBMC-OQAM. Ключевой особенностью данного метода является снижение пик-фактора за счет применения метода перекрывающихся PTS и снижения вычислительной сложности процесса благодаря использованию фазовой оптимизации ABC. Предлагаемый авторами метод уменьшает PAPR на 1,9 дБ в сравнении с традиционным методом PTS.

Целью данной работы является анализ методов снижения пик-фактора сигналов FBMC на основе дискретно-нелинейных систем Спротта, реализованных над конечным полем Галуа.

Методы снижения пик-фактора

Одним из показателей энергетической эффективности систем с FBMC является PAPR, оценка которого производится следующим образом [6–7]:

$$PAPR_{dB} = 10 \log_{10} \frac{|x|_{peak}^2}{x_{rms}^2},$$

где $|x|_{peak}^2$ – квадрат максимальной амплитуды, x_{rms}^2 – квадрат среднего значения амплитуды сигнала.

С целью проведения оценки пик-фактора применяется дополнительная кумулятивная функция распределения (Complementary Cumulative Distribution Function, CCDF), которая показывает вероятность превышения PAPR желаемого порогового значения [8].

Существует различные методы улучшения PAPR, такие как: амплитудное ограничение, кодирование, вероятностные методы, техника адаптивного предсказания, DFT-Spreading, инжектирования поднесущих и др. [9].

Наиболее интересным для исследования с точки зрения практического применения и получаемого результата является вероятностный метод, принцип работы которого состоит в том, что скремблирование модулированных данных и передача потока осуществляется с минимальным значением PAPR, таким образом, сигналы с большим значением пик-фактора не исключаются, а снижается вероятность их появления.

Среди вероятностных методов выделяют следующие: частичная последовательность передачи, селективное отображение (Selective Mapping, SLM), резервные несущие (Tone Reservation, TR).

Метод PTS зарекомендовал себя как один из эффективных методов решения проблемы высокого пик-фактора в системах OFDM. Поэтому в работе рассматриваются метод частичной последовательности передачи, скремблирование, а также комбинированный метод, включающий PTS и скремблирование.

Принцип работы метода PTS состоит в разделении блока входных данных на непересекающиеся подблоки, которые умножаются на фазовую последовательность $b = e^{i\varphi}$, получаемую с помощью алгоритма оптимизации, направленного на минимизацию значения PAPR. Результаты генерируют набор возможных сигналов, из которых выбирается сигнал с наименьшим PAPR.

Кроме того, с целью восстановления исходных данных дополнительно передается информация об индексе оптимального фазового коэффициента, при котором достигается минимальный пик-фактор.

Таким образом, метод частичной последовательности передачи уменьшает пик-фактор путем снижения вероятности появления модулированных поднесущих с той же фазой. Фазовый вектор выбирается из псевдослучайной последовательности (ПСП). Скремблирование информации также осуществляется с известной ПСП.

Одним из источников ПСП может быть динамический хаос, который обеспечивает формирование сложных и непредсказуемых сигналов. Системы Спротта относятся к искусственно сконструированным моделям нелинейной динамики [10–11].

В общем виде системы Спротта могут быть представлены следующим образом:

$$\begin{cases} \dot{x} = A_1 \cdot x + B_1 \cdot x \cdot y + C_1 \cdot y + D_1 \cdot y \cdot z + E_1 \cdot z^2 + F_1 \cdot z + G_1 \\ \dot{y} = A_2 \cdot x^2 + B_2 \cdot x + C_2 \cdot E \cdot z + D_2 \cdot y^2 + E_2 \cdot y + F_2 \cdot y \cdot z + G_2 \cdot z^2 + H_2 \cdot z + I_2 \\ \dot{z} = A_3 \cdot x^2 + B_3 \cdot x + C_3 \cdot E \cdot y + D_3 \cdot E \cdot z + E_3 \cdot y^2 + F_3 \cdot y + G_3 \cdot z + H_3 \end{cases}$$

где $A_1, B_1, C_1, D_1, E_1, F_1, G_1, A_2, B_2, C_2, D_2, E_2, F_1, G_2, H_2, I_2, A_3, B_3, C_3, D_3, E_3, F_3, G_3, H_3$ – подбираемые под каждую систему уравнений коэффициенты.

В работе ПСП формируются на основе систем Спротта, реализованных над полем Галуа $GF(2^{16})$. При формировании ПСП используется 16 систем Спротта, а сами системы записываются в виде рекуррентных выражений, соответствующих их численному решению методом Эйлера. На каждом этапе вычислений осуществляется псевдослучайный выбор номера одной из 16 систем Спротта. Таким образом, производится перемешивание систем. После каждой итерации складываются три 16-битных числа, полученные в двоичной форме записи (соответствующие текущим значениям x, y, z), затем по четырём младшим битам результата определяется номер системы уравнений для следующей итерации. Таким образом, при каждой последующей итерации выбирается новая система уравнений.

Далее в работе приведены результаты оценки пик-фактора для трех систем с FBMC.

Оценка пик-фактора систем с FBMC

Для повышения эффективности снижения PAPR было принято решение о внедрении комбинированного использования двух методов: PTS и скремблирования. Рассматриваются результаты моделирования при использовании исключитель-

но метода PTS и их сравнение с результатами при комбинированном использовании обоих методов с применением скремблирования.

Для оценки распределения получаемых значений PAPR в работе использована функция CCDF.

На рисунке 1 представлены результаты снижения PAPR при применении метода частичной последовательности передачи с различным количеством итераций, где количество итераций – это число попыток нахождения наименьшего пик-фактора, путем перебора фазовых последовательностей.

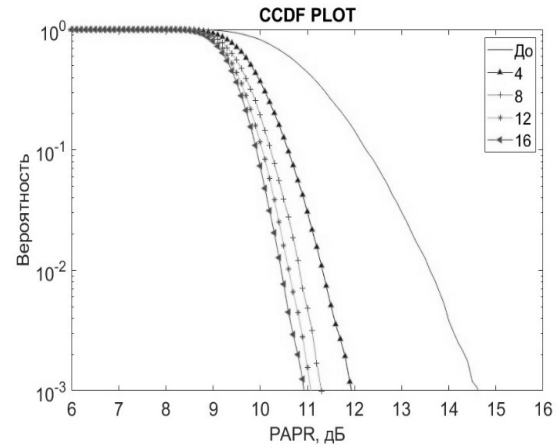


Рисунок 1. CCDF для метода частичной последовательности передачи при разном числе итераций

При увеличении числа итераций с 4 до 8 наблюдается снижение пик-фактора на 2,7 и 3,31 дБ по сравнению с обычной системой FBMC без применения метода частичной последовательности передачи. При увеличении количества итераций до 12 и 16 пик-фактор уменьшается на 3,56 и 3,72 дБ, соответственно.

На рисунке 2 представлены результаты исследования CCDF при комбинированном использовании методов скремблирования и частичной последовательности передачи, где также сравниваются результаты при разном числе итераций.

При увеличении числа итераций с 4 до 8 наблюдается снижение пик-фактора на 3,5 и 4,02 дБ, соответственно, по сравнению с системой без использования методов снижения пик-фактора. При использовании 12 и 16 итераций пик-фактор снижается на 4,33 и 4,53 дБ, соответственно.

В работе также исследовано влияние количества окон в методе PTS на снижение пик-фактора, где под окном подразумевается длина разделения символа. На рисунке 3 показаны результаты исследования CCDF при комбинированном использовании метода скремблирования и PTS с разным числом окон.

При использовании 4, 8 и 16 окон отмечается снижение PAPR с 4,04 до 4,09 дБ в сравнении с исходной системой. При использовании 32 окон пик-фактор снижается на 4,24 дБ.

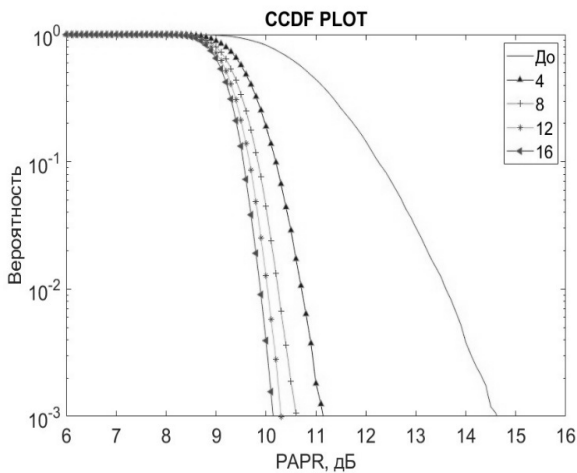


Рисунок 2. CCDF для комбинированного метода частичной последовательности передачи и скремблирования при разном числе итераций

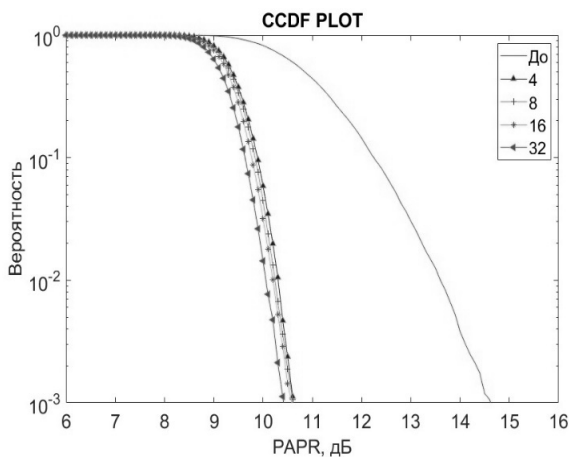


Рисунок 3. CCDF для комбинированного метода частичной последовательности передачи и скремблирования при разном количестве окон

Заключение

В работе проведен анализ методов снижения пик-фактора сигналов FBMC. Снижение пик-фактора сигналов FBMC выполнено с помощью методов частичной последовательности передачи, скремблирования, а также комбинированного метода, включающего оба способа. В каждом методе использовались псевдослучайные последовательности, сформированные на основе дискретно-нелинейной системы Спротта, реализованной над конечным полем Галуа.

В результате моделирования выявлено, что применение методов снижения пик-фактора дает возможность снизить пик-фактор как минимум на

2,7 дБ, а в наилучшем случае - на 4,53 дБ. Использование комплексного метода PTS и скремблирования способствует чуть более, хоть и незначительно, эффективному улучшению пик-фактора по сравнению с использованием исключительно метода частичной последовательности передачи. Так, при комбинированном методе и 4 итерациях обеспечивается снижение PAPR на 3,5 дБ, что дает снижение пик-фактора на 0,8 дБ больше, чем при использовании исключительно метода частичной последовательности передачи.

Кроме того, увеличение числа итераций метода частичной последовательности передачи также дает выигрыш, выраженный в снижении пик-фактора, например, при увеличении количества итераций с 4 до 16 пик-фактор снижается на 3,5 и 4,53 дБ соответственно, по сравнению с системой без применения частичной последовательности передачи. Количество окон в методе частичной последовательности передачи не оказывает существенного влияния на снижение пик-фактора.

Литература

1. Kansal P., Shankhwar A.K. FBMC vs OFDM waveform contenders for 5G wireless communication system // *Wireless Engineering and Technology*. 2017. No. 8. P. 59–70.
2. Андрун А., Тихонова О.В. Оценка эффективности метода многоканальной модуляции FBMC в современных беспроводных сетях 5G // *Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ*. 2022. Т. 190, № 5. С. 31–37.
3. Siohan P., Siclet C., Lacaille N. Analysis and design of OFDM/OQAM systems based on filterbank theory // *IEEE Transactions on Signal Processing*. 2002. Vol. 50, no. 5. P. 1170–1183.
4. Evaluation of clipping based iterative PAPR reduction techniques for FBMC systems / Z. Kollar [et al.] // *The Scientific World Journal*. 2014. Vol. 2014, no. 30. URL: https://www.researchgate.net/publication/260371970_Evaluation_of_Clipping_Based_Iterative_PAPR_Reduction_Techniques_for_FBMC_Systems (дата обращения: 20.06.2024).
5. Jirajaracheep P., Mata T., Boonsrimuang P. A PAPR reduction in FBMC-OQAM system via overlapping-PTS with artificial bee colony phase optimization // *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*. 2019. Vol. 12, no. 5. P. 249–256.
6. Зуев М.Ю. Комплексное повышение эффективности радиоэлектронных устройств и си-

- стем передачи информации с OFDM на основе нелинейных систем с динамическим хаосом // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2022. Т. 25, № 1. С. 55–64.
7. Султанов А.Х., Мешков И.К., Ишмиев А.А. Метод повышения энергетической эффективности систем OFDM, основанный на уменьшении пик-фактора // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2018. Т. 21, № 3. С. 25–31.
 8. Ghassemi A., Gulliver T.A. Low-complexity distortionless techniques for peak power reduction in OFDM communication systems // Journal of Computer Networks and Communications. 2012. Vol. 2012, no. 5. URL: https://www.researchgate.net/publication/258388932_Low-Complexity_Distortionless_Techniques_for_Peak_Power_Reduction_in_OFDM_Communication_Systems (дата обращения: 20.06.2024).
 9. Формирователи псевдослучайных сигналов на основе системы Лоренца в средствах повышения эффективности функционирования систем передачи информации с OFDM / Ю.Р. Буткевич [и др.] // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2022. № 1(53). С. 33–44.
 10. Логинов С.С., Зуев М.Ю. Тестирование генераторов псевдослучайных сигналов на основе системы Лоренца, реализованной над конечным полем Галуа // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2018. Т. 9, № 1. С. 111–114.
 11. Кузнецов С.П. Динамический хаос. М.: Физматлит, 2001. 294 с.

Получено 01.07.2024

Логинов Сергей Сергеевич, д.т.н., профессор кафедры электронных и квантовых средств передачи информации (ЭКСПИ) Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ (КНКТУ-КАИ). 420111, Российская Федерация, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Карла Маркса, 10. Тел. +7 905 023-67-99. E-mail: sslogin@mail.ru

Ишмиев Ильназ Ильгизович, магистрант кафедры ЭКСПИ КНКТУ-КАИ. 420111, Российская Федерация, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Карла Маркса, 10. Тел. +7 927 424-91-36. E-mail: ishmiev2000@gmail.ru

Сивинцева Ольга Андреевна, аспирант кафедры ЭКСПИ КНКТУ-КАИ. 420111, Российская Федерация, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Карла Маркса, 10. Тел. +7 960 033-66-55. E-mail: sivinceva96@mail.ru

SMETHODS FOR REDUCING THE PAPR OF FBMC SIGNALS BASED ON A DISCRETE-NONLINEAR SPROTT SYSTEM IMPLEMENTED OVER A FINITE GALOIS FIELD

Loginov S.S., Ishmiev I.I., Sivintseva O.A.

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI,

Kazan, Russian Federation

E-mail: sivinceva96@mail.ru

In this article, we provide a comparative analysis of various methods for reducing the peak factor of Filter bank Multicarrier signals in a multiplexing system with a filter bank using the discrete-nonlinear Sprott system implemented over a finite Galois field. The methods of partial transmission sequence, scrambling, and a combined method, which includes both methods, are considered. Each method is based on the use of a pseudorandom sequence, the formation of which is provided by generators based on a discrete nonlinear Sprott system. As a result of the work, the peak factor for each method is estimated and an additional cumulative distribution function is also presented. In addition, the influence of the number of iterations and windows used in the partial transmission sequence method on the peak factor was estimated. The results obtained in the course of the study can be applied in the design of information transmission systems.

Keywords: filter bank multicarrier; peak factor; additional cumulative distribution function, pseudorandom sequences, Sprott system

DOI: 10.18469/ikt.2024.22.1.08

Loginov Sergey Sergeevich, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, 10, Karl Marx Street, Kazan, Republic of Tatarstan, 420111, Russian Federation; Professor of Electronic and Quantum Means of Information Transmission Department, Doctor of Technical Sciences. Tel. +7 905 023-67-99. E-mail: sslogin@mail.ru

Ishmiyev Ilnaz Ilgizovich, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, 10, Karl Marx Street, Kazan, Republic of Tatarstan, 420111, Russian Federation; Master's Degree Student of Electronic and Quantum Means of Information Transmission Department. Tel. +7 927 424-91-36. E-mail: ishmiev2000@gmail.ru

Sivintseva Olga Andreevna, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, 10, Karl Marx Street, Kazan, Republic of Tatarstan, 420111, Russian Federation; PhD Student of Electronic and Quantum Means of Information Transmission Department. Tel. +7 960 033-66-55. E-mail: sivinceva96@mail.ru

References

1. Kansal P., Shankhwar A.K. FBMC vs OFDM waveform contenders for 5G wireless communication system. *Wireless Engineering and Technology*, 2017, no. 8, pp. 59–70.
2. Andrun A., Tikhonova O.V. Effectiveness evaluation of FBMC multicarrier modulation method in modern 5G wireless networks. *Voprosy elektromekhaniki. Trudy VNIIE*, 2022, vol. 190, no. 5, pp. 31–37. (In Russ.)
3. Siohan P., Siclet C., Lacaille N. Analysis and design of OFDM/OQAM systems based on filterbank theory. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 2002, vol. 50, no. 5, pp. 1170–1183.
4. Kollar Z. et al. Evaluation of clipping based iterative PAPR reduction techniques for FBMC systems. *The Scientific World Journal*, 2014, vol. 2014, no. 30. URL: https://www.researchgate.net/publication/260371970_Evaluation_of_Clipping_Based_Iterative_PAPR_Reduction_Techniques_for_FBMC_Systems (accessed: 20.06.2024).
5. Jirajaracheep P., Mata T., Boonsrimuang P. A PAPR reduction in FBMC-OQAM system via overlapping-PTS with artificial bee colony phase optimization. *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, 2019, vol. 12, no. 5, pp. 249–256.
6. Zuev M.Yu. Complex improvement of the efficiency of radio electronic devices and information transmission systems with OFDM based on nonlinear systems with dynamic chaos. *Physics of Wave Processes and Radio Systems*, 2022, vol. 25, no. 1, pp. 55–64. (In Russ.)
7. Sultanov A.Kh., Meshkov I.K., Ishmiyarov A.A. OFDM system energy efficiency increasing method based on peak-factor decrease. *Physics of Wave Processes and Radio Systems*, 2018, vol. 21, no. 3, pp. 25–31. (In Russ.)
8. Ghassemi A., Gulliver T.A. Low-Complexity distortionless techniques for peak power reduction in OFDM communication systems. *Journal of Computer Networks and Communications*, 2012, vol. 2012, no. 5. URL: https://www.researchgate.net/publication/258388932_Low-Complexity_Distortionless_Techniques_for_Peak_Power_Reduction_in_OFDM_Communication_Systems (accessed: 20.06.2024).
9. Butkevich Yu.R. et al. Pseudo-random signal generators based on the Lorenz system in the devices for improving the efficiency of information transmission systems with OFDM. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Radiotekhnicheskie i info-kommunikacionnye sistemy*, 2022, no. 1 (53), pp. 33–44. (In Russ.)
10. Loginov S.S., Zuev M.Yu. Testing pseudorandom signal generators based on the Lorentz system implemented over a finite Galois field. *Sistemy sinhronizatsii, formirovaniya i obrabotki signalov*, 2018, vol. 9, no. 1, pp. 111–114. (In Russ.)
11. Kuznetsov S.P. *Dynamic Chaos*. Moscow: Fizmatlit, 2001, 294 p. (In Russ.)

Received 01.07.2024

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ БИНАРНЫЙ ФОРМАТ ДЛЯ БЫСТРОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО СЕТИ

Лезин И.А.

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, Самара, РФ

E-mail: lezin.ia@ssau.ru

В условиях современных подходов к разработке приложений все чаще приходится работать с распределенными системами обработки данных, например, в микросервисной архитектуре. Здесь актуальным становится вопрос быстрого обмена данными между частями одного приложения. В статье рассматривается новый формат двоичного кодирования данных не фиксированной заранее структуры с поддержкой кросс-платформенного подхода и возможностью реализации операций сериализации и десериализации на разных языках с использованием универсального способа представления данных. Степень эффективности новых алгоритмов определяется сравнением с результатами работы других широко применяемых на данный момент форматов и фреймворков. Проведенный анализ показывает, что с учетом накладываемых решаемой задачей ограничений новый формат представления данных обеспечивает более высокую скорость обмена за счет оптимизации алгоритмов сериализации-десериализации.

Ключевые слова: сериализация, десериализация, бинарный формат, обмен данными, кроссплатформенный обмен

Введение

Сериализация и десериализация данных – это два связанных процесса преобразования данных (объекта) для их представления в виде последовательности битов, с возможностью передачи по сетевым каналам или хранения в буферах памяти и файлах, и последующего восстановления исходной структуры без потерь, как в этом же приложении, так и в каком-либо другом. Считывание результирующей последовательности битов в соответствии с форматом сериализации должно приводить к созданию абсолютно точной копии исходного объекта с учетом накладываемых ограничений, поскольку комплексные вычислительные системы не являются гомогенными и могут физически не позволять оперировать идентичными типами данных или объектов в разных частях. Процесс создания двоичной копии и восстановления исходного объекта не является простым и может сопровождаться наложением различных ограничений на способы и области его применения. При разработке распределенных приложений сериализация и десериализация являются неотъемлемой частью процесса программирования при передаче данных по сети, сохранении объектов в базу данных, либо при кэшировании. Например, если мы рассматриваем передачу собранной телеметрии через сеть, то некоторый набор данных сериализуется на стороне источника в виде формата JSON или бинарного потока, затем происходит передача данных по сети и их восстановление в такую же, либо максимально подобную структуру на стороне приемника для дальнейшего использования.

Для сериализации и десериализации данных на разных языках программирования было придумано множество форматов и разработан целый ряд реализующих их фреймворков, поскольку данный аспект необходимо учитывать при работе распределенных систем для реализации обмена информацией между разными компонентами программного обеспечения.

Общие преимущества и недостатки сериализации и десериализации

Технология преобразования форматов данных с помощью сериализации и десериализации обладает рядом преимуществ, которые обуславливают ее использование программистами при работе с данными [1].

Сериализация предоставляет возможность передавать произвольные структуры данных в удобном формате по сети, без чего невозможно обойтись при реализации клиент-серверного взаимодействия и при обмене данными в распределенных системах.

Состояние объектов в сериализованном виде можно сохранять в файлах, базах данных или системах кэширования, если требуется зафиксировать некоторый срез данных, либо текущее состояние программы, чтобы возобновить работу позже.

Даже если программы или сервисы написаны на разных языках программирования, им необходимо взаимодействовать между собой. Для упрощения интеграции разнородных систем можно сериализовать данные в общие форматы. При этом зачастую бинарные форматы, которые используются в фреймворках для сериализации,

являются более компактными, чем текстовые, что ускоряет передачу данных по сети.

Сериализацию можно использовать для обеспечения совместимости между разными версиями программ, если поддерживается версионирование данных через сохранение возможности десериализовать старые данные в предыдущих форматах в новых версиях программного обеспечения. Также для повышения гибкости и создания возможности расширения форматов некоторые фреймворки позволяют работать с метаданными и сохранять информацию о пользовательских типах данных в процессе сериализации.

Но, как и любой другой инструмент, помимо преимуществ, сериализация обладает и некоторыми недостатками.

Для восстановления данных при десериализации может потребоваться дополнительная информация о сложных типах данных, которые в таком случае при сериализации также необходимо сохранять в формируемый пакет, чтобы сериализованные данные хранили сведения о своей исходной структуре.

Разработка алгоритмов механизмов сериализации и десериализации становится в ряде случаев сложной задачей, особенно при реализации механизма версионирования или обеспечении совместимости форматов между разными платформами. Если при изменении структуры данных между двумя версиями программного обеспечения требуется сохранение обратной совместимости, то используемый формат должен предусматривать возможность управления версионированием данных.

Сериализованные данные также могут быть объектом атак, например, для внедрения вредоносного кода, но эта проблема является общей при передаче данных по сети, а не исключительно проблемой сериализации. Тем не менее, при работе с восстановлением сериализованных данных необходимо обеспечивать должный уровень безопасности.

Обилие различных форматов представления данных в сериализованном виде предполагает у разных фреймворков разную степень экономичности с точки зрения занимаемого объема, и эффективности с точки зрения требуемого времени на сериализацию-десериализацию. Поэтому выбор формата следует выполнять исходя из имеющихся ограничений по скорости обработки или объему сериализованных данных.

Также данные могут содержать иерархически вложенные друг в друга объекты, либо иметь циклические зависимости, поэтому механизмы

сериализации и десериализации могут столкнуться с трудностями при обработке подобных конструкций.

Наиболее популярные форматы сериализации

При практической разработке нового бинарного формата и новых алгоритмов преобразования данных все актуальные проблемы сериализации и десериализации рассматривались в рамках разработки микросервисного приложения на фреймворках Spring Boot [2], Flask [3] и платформе .NET [4], версий языков Java 17, Python 3.10 и C# 12.0 соответственно. Основными направлениями использования механизма сериализации являлась передача данных для задач ETL [5], в которых формат данных является произвольным и заранее неизвестен, но при этом сами данные не содержат кольцевых ссылочных зависимостей. Для структурного представления таких данных идеально подходят форматы JSON или XML, но остается вопрос эффективности при обмене данными между микросервисами по сети.

Как показано в исследовании современных текстовых форматов JSON, XML и YAML [6], наиболее популярным форматом в настоящее время является JSON. Он и был выбран для сравнения.

Все рассмотренные фреймворки для сериализации приведены в таблице 1.

Поскольку универсальных форматов для передачи данных по сети не так много, а основным языком разработки приложения является Java, и большая часть обмена происходит между Java-сервисами, то были рассмотрены не только универсальные форматы, но и Java-специфичные [7; 8; 9].

Как видно из проведенного анализа, полностью подходят по всем ограничениям форматы JSON, BSON, Hessian и MessagePack, поскольку они работают с данными произвольной структуры и поддерживаются множеством языков программирования.

Форматы Protobuf, Thrift и Avro требуют предварительной фиксации и описания формата передаваемых данных.

Форматы JDK Serializable, FST, Kryo и One Nio подходят только для решений на Java.

Новый двоичный формат

Для обеспечения вариативности, чтобы не ограничиваться исключительно двумя форматами при выборе, был разработан новый универсальный двоичный формат представления данных,

Таблица 1. Фреймворки для сериализации

Формат	Универсальность платформы	Универсальность структуры данных
JSON	Да	Да
JDK Serializable	Java	Да
FST	Java	Да
Kryo	Java	Да
Protobuf	Да	Жесткая
Thrift	Да	Жесткая
Avro	Да	Жесткая
Hessian	Да	Да
One Nio	Java	Да
MessagePack	Да	Да
BSON	Да	Да

который можно использовать для сериализации, передачи по сети и десериализации.

Основная идея заключается в построении JSON-подобной последовательности байт с поддержкой коллекций и объектов в формате «ключ-значение». Предусмотрена поддержка основных примитивных типов данных фиксированной длины: логические данные, 1-байтовое целое, 2-байтовое целое, 4-байтовое целое, 4-байтовое с плавающей запятой и 8-байтовое с плавающей запятой. А также три типа данных произвольной длины: строка, массив и коллекция «ключ-значение». Хранение имен классов не предусмотрено для обеспечения совместимости между платформами на разных языках. Это одно из ограничений формата, которое приходится принимать для поддержки кросс-платформенности, но в контексте решаемых задач с учетом априорной неопределенности форматов ограничение накладывается не фреймворком, а самим условием задачи.

Рассмотрим пример передачи данных следующей структуры:

```
[{"Value":1234}].
```

После выполнения сериализации с использованием нового формата получается следующая последовательность байт:

```
[3, 1, 13, 5, 86, 97, 108, 117,
101, 9, 4, -46, 0, 0, 2, 4].
```

Первый байт с кодом 3 означает начало коллекции. Затем идет байт с кодом 1, означающий начало объекта в формате «ключ-значение». Далее код 13 означает начало строки, используемой как имя поля текущего объекта. Байт с кодом 5 означает длину текущей строки, а следующие 5 байт содержат коды символов строки. После этого идет байт с кодом 9, это код целого 4-байтового числа. Следующие 4 байта содержат код этого

числа в «swapped» формате. Затем следует байт с кодом 2 – конец текущего объекта. И последний байт с кодом 4 – конец текущей коллекции.

При кодировании используется следующий набор из 15 служебных кодов:

- 1 – начало объекта;
- 2 – конец объекта;
- 3 – начало коллекции;
- 4 – конец коллекции;
- 5 – логическая 1;
- 6 – логический 0;
- 7 – целое со знаком (1 байт);
- 8 – целое со знаком (2 байта);
- 9 – целое со знаком (4 байта);
- 10 – целое со знаком (8 байт);
- 11 – число с плавающей запятой (4 байта);
- 12 – число с плавающей запятой (8 байт);
- 13 – строка в универсальном формате;
- 14 – строка Java в формате LATIN1;
- 15 – строка Java в формате UTF16.

Для записи служебных кодов используются 4 бита, это означает, что в сжатом формате есть возможность записывать два кода в 1 байт. Тогда приведенный выше пример можно представить в виде следующего сериализованного кода:

```
[19, 157, 5, 86, 97, 108, 117, 101, 4, -46, 0, 0, 66].
```

Здесь первый байт содержит коды начала коллекции и начала объекта в младшей и старшей тетрадах соответственно. Второй байт содержит коды начала строки и 4-байтового целого. Подобный подход не вносит неопределенности, поскольку после чтения кода строки из младшей тетрады 2-го байта при десериализации идет чтение длины строки из следующего байта, а затем чтение указанного числа байт для формирования строки. После этого идет анализ старшей тетрады 2-го байта, из которой десериализатор понимает,

что нужно прочитать 4 следующих байта для восстановления целого числа со знаком. Последний байт содержит коды конца объекта и конца коллекции.

В итоге количество байт, используемых под служебные коды, сокращается вдвое, а общая длина сериализованного объекта уменьшается с 17 до 14 байт.

Сравнение скорости работы

Для сравнения эффективности работы рассмотренных фреймворков с новым предлагаемым подходом были выбраны все фреймворки с возможностью реализации на Java и не требующие предварительной фиксации структуры передаваемых данных на этапе разработки. Алгоритмы сериализации и десериализации для нового фреймворка также были реализованы на языке Java.

Объектом сериализации являлся экземпляр класса Map с 1000000 пар «ключ-значение». Для ключей использовались сгенерированные строки длиной от 15 до 20 символов, а значения генерировались случайным образом в виде примитивов boolean, int и double.

Результаты замеров приведены в таблице 2.

Сравнение результатов проводилось с разбиением на две категории: универсальные форматы и Java-форматы.

В число универсальных форматов вошли JSON, Hessian и новый формат с универсальной кодировкой строк. Как видно из таблицы, фреймворк Jackson проигрывает конкурентам с огромным отрывом, что легко объясняется его человеко-читаемым способом представления данных в сериализованном виде. При этом между фреймворками Hessian и предложенным форматом кодировки развернулась борьба. Hessian чуть более эффективен, если сравнивать объемы данных в сериализованном виде, но в 2 раза уступает по

скорости при сериализации и на 20% с восстановлением данных из двоичного формата.

Если же рассматривать Java-фреймворки, то здесь основное соперничество развернулось между новым способом сериализации и фреймворком Kryo. Фреймворк Kryo чуть более эффективен по объему занимаемой памяти, обладает такой же скоростью сериализации, но в 1,5 раза медленнее оказывается при восстановлении, если сравнивать его новым фреймворком в режиме работы с сериализацией строк в Java-формате. Новый фреймворк в универсальном формате представления строк обладает примерно схожими характеристиками с фреймворком Kryo, но при этом является универсальным.

Столь существенная разница по части скорости работы нового фреймворка в режимах универсальной кодировки и Java-кодировки объясняется тем, что Java-формат предусматривает работу с данными напрямую в памяти через Unsafe и методы рефлексии. Разумеется, это приводит к ускорению работы алгоритмов, поскольку минует этапы преобразования форматов представления строковых данных.

Заключение

Как показало сравнение с наиболее популярными на данный момент фреймворками, новый бинарный формат представления данных и алгоритмы его сериализации и десериализации в условиях наложенных задач ограничений показывают более высокую эффективность обмена, как при сравнении с универсальными фреймворками, так и ориентированными на платформу Java.

Стоит заметить, что общий объем исходного кода составляет чуть более 300 строк, при этом включать в сборку внешние библиотеки не требуется, что позволяет в дальнейшем как расширять, так и оптимизировать существующие алгоритмы,

Таблица 2. Сравнение скорости работы

Фреймворк	Сериализация, мс	Десериализация, мс	Объем, байт
JSON Jackson	173	545	21161004
JDK Serialization	427	259	209935090
FST	159	100	15960511
Kryo	80	55	13690063
One Nio	791	71	16293146
Hessian	109	88	13831124
MessagePack	180	365	14021928
BSON	131	131	14187753
Новый (универсальные строки)	55	71	14093287
Новый (строки Java)	56	55	(15093288)

подстраивая их под текущие условия очередной задачи. Например, при передаче телеметрии количество используемых форматов данных сокращается вдвое.

Универсальность формата была подтверждена через организацию обмена сообщениями по соединениям на основе сокетов [10] с сервисами, написанными на языках Python и C#, для интеграции модулей в распределенной системе.

Стоит отметить, что различие подходов к представлению данных на разных языках программирования привносит дополнительную сложность в разработку универсального формата двоичного представления сериализованных данных, который подходил бы для обработки на всех используемых платформах.

Литература

1. Кряхтунов Г.М., Боронников А.С. Подходы к созданию проприетарного формата представления данных // International Journal of Open Information Technologies. 2024. Vol. 12, no. 5. P. 141–150.
2. Turnquist G. Learning Spring Boot 3.0. Third Edition. Birmingham: Packt Publishing Ltd, 2022. 270 p.
3. Dwyer G. Flask by Example. Birmingham: Packt Publishing Ltd, 2016. 276 p.
4. Price M.J. C# 12 and .NET 8 – Modern Cross-Platform Development Fundamentals – Eighth

- Edition. Birmingham: Packt Publishing Ltd, 2023. 828 p.
5. Арьков В.Ю. Бизнес-аналитика. Извлечение, преобразование и загрузка данных. Ridero, 2020. 128 с.
6. Канаев К.А., Фалеева Е.В., Пономарчук Ю.В. Сравнительный анализ форматов обмена данными, используемых в приложениях с клиент-серверной архитектурой // Фундаментальные исследования. 2015. № 2-25. С. 5569–5572.
7. An introduction and comparison of several common java serialization frameworks. URL: https://www.alibabacloud.com/blog/an-introduction-and-comparison-of-several-common-java-serialization-frameworks_597900 (дата обращения: 15.06.2024).
8. Java-сериализация: максимум скорости без жесткой структуры данных. URL: <https://habr.com/ru/companies/sberbank/articles/488612/> (дата обращения 15.06.2024).
9. Optimizing data serialization: faster alternatives to JSON. URL: <https://medium.com/@shipshoper986/optimizing-data-serialization-faster-alternatives-to-json-a3685d21008/> (дата обращения: 05.07.2024).
10. Дубаков А.А. Сетевое программирование: учебное пособие. СПб.: НИУ ИТМО, 2013. 248 с

Получено 20.06.2024

Лезин Илья Александрович, к.т.н., заведующий кафедрой информационных систем и технологий Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева. 443086, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, 34. Тел. +7 902 320-92-99. E-mail: lezin.ia@ssau.ru

UNIVERSAL BINARY FORMAT FOR FAST DATA TRANSMISSION OVER THE NETWORK

Lyozin I.A.

Samara National Research University, Samara, Russian Federation

E-mail: lezin.ia@ssau.ru

In the context of modern approaches to application development, it is increasingly necessary to use distributed data processing systems, for example, in a microservice architecture. Here, the issue of fast data exchange between parts of the same application becomes relevant. The article discusses a new format for binary data encoding of the non-fixed, supported by the cross-platform approach and with the ability to implement serialization and deserialization operations in different languages using a universal data representation method. The efficiency degree of the new algorithms is determined by comparing them with the results for another formats and frameworks that are widely used at the moment. The analysis shows that, taking into account the limitations imposed by the problem being solved, the new data presentation format provides a higher exchange rate due to optimization of serialization-deserialization algorithms.

Keywords: *serialization, deserialization, binary format, data transmission, cross-platform exchange*

DOI: 10.18469/ikt.2024.22.1.09

Lyozin Ilya Alexandrovich, Samara National Research University, 34, Moskovskoye shosse, Samara, 443086, Russian Federation; Head of Information Systems and Technologies Department, PhD in Technical Science. Tel. +7 902 320-92-99. E-mail: lezin.ia@ssau.ru

References

1. Kryakhtunov G.M., Boronnikov A.S. Approaches to creating a proprietary data presentation format. *International Journal of Open Information Technologies*, 2024, vol. 12, no. 5, pp. 141–150. (In Russ.)
2. Turnquist G. *Learning Spring Boot 3.0. Third Edition*. Birmingham: Packt Publishing Ltd, 2022, 270 p.
3. Dwyer G. *Flask by Example*. Birmingham: Packt Publishing Ltd, 2016, 276 p.
4. Price M. *C# 12 and .NET 8 – Modern Cross-Platform Development Fundamentals – Eighth Edition*. Birmingham: Packt Publishing Ltd, 2023. 828 p.
5. Arkov V.Yu. *Business Analytics. Data Extraction, Transformation and Loading*. Ridero, 2020, 128 p. (In Russ.)
6. Kanaev K.A., Faleeva E.V., Ponomarchuk Yu.V. Comparative analysis of data exchange formats for applications with client-server architecture. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2015, no. 2-25, pp. 5569–5572. (In Russ.)
7. An introduction and comparison of several common java serialization frameworks. URL: https://www.alibabacloud.com/blog/an-introduction-and-comparison-of-several-common-java-serialization-frameworks_597900 (accessed: 15.06.2024).
8. Java-serialization: maximum of speed without a fixed data structure. URL: <https://habr.com/ru/companies/sberbank/articles/488612/> (accessed: 15.06.2024). (In Russ.)
9. Optimizing data serialization: faster alternatives to JSON. URL: <https://medium.com/@shipshoper986/optimizing-data-serialization-faster-alternatives-to-json-a3685d21008/> (accessed: 05.07.2024).
10. Dubakov A.A. *Network Programming: Textbook*. Saint Petersburg: NIU ITMO, 2013, 248 p. (In Russ.)

Received 20.06.2024

НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.94

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПЕРСОНИФИЦИРОВАННОГО ПОДХОДА К ПАЦИЕНТУ НА БАЗЕ MHEALTH-ПРИЛОЖЕНИЯ

Диязитдинова А.Р., Загирова А.Р., Нужин В.И.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: dijazitdinova@mail.ru

В работе представлено описание мобильного приложения mHealth-класса, с помощью которого пользователь может получить возможность расшифровки результатов общего анализа крови. Данный анализ, с точки зрения статистики, является одним из самых часто назначаемых и информативных, поскольку он позволяет врачу сделать первичные выводы о состоянии здоровья пациента. Общий анализ крови – это не один анализ, а совокупный комплекс показателей, каждый из которых в отдельности может сигнализировать о различных заболеваниях. Современные решения в области mHealth-здравоохранения содействуют получению пациентом своевременного и полноценного лечения. На рынке существует значительное число приложений для осуществления мониторинга здоровья (в том числе и анализа крови), однако они зачастую имеют ограниченную функциональность или предоставляют формальные и общеизвестные, а не персонализированные сведения о состоянии здоровья. Инструментом обеспечения персонализированного подхода к пользователю может выступать онтология. Онтология в разрабатываемом мобильном приложении рассматривается не просто как некоторое неформальное описание базы знаний, а как основа базы данных для упрощения процесса наполнения и поддержания онтологии в акту-

альном состоянии. Приложение разработано для операционной среды Android, для данного варианта был выбран следующий набор инструментов: язык программирования Java, платформа Firebase и библиотеки FireBaseStore, DatabaseReference, FireBase.

Ключевые слова: *mhealth-приложение, мобильное приложение, мониторинг крови, общий анализ крови, персонализированный подход, онтология*

Введение

Медицинские мобильные приложения (mHealth) в современном цифровом мире становятся все более популярными и распространенными среди пользователей, так как позволяют без особых усилий получить доступ к интересующей информации, а также медицинским услугам. Согласно [1], медицинскими мобильными приложениями считается разнородная группа приложений, ориентированных на улучшение здоровья и самочувствия больных. Сегодня основной целью разрабатываемых медицинских мобильных приложений является формирование оптимального плана своевременного, максимально эффективного и персонализированного лечения пациента.

Развитие ИТ в медицине выявило один из самых трудных аспектов: зачастую при создании медицинского программного продукта наибольшую трудоемкость и сложность представляет не сам процесс формирования программного кода как таковой, а задача структуризации и алгоритмизации выбранной области медицины. В частности, разрабатываемая формализованная модель должна быть полной (но не избыточной), включать необходимые и привычные медикам профессиональные термины (но не содержать распространенных синонимов: например, «жар» и «повышенная температура» иногда трактуются как одно и то же), быть актуальной и достоверной; кроме того, используемые медицинские сведения требуется периодически обновлять в связи с появлением новых результатов исследований. С учетом данных аспектов, одним из удобных инструментов считается онтологический подход. В контексте разработки приложений mHealth-класса онтология может выступать инструментом для классификации, формализации и структуризации медицинских данных.

В работе освещается проект по созданию приложения, которое предоставляет пользователю возможность получить расшифровку комплекса показателей, составляющих общий анализ крови (ОАК), для осуществления мониторинга здоровья, повышения осведомленности, обеспечения профилактики заболеваний и формирования здорового образа жизни. Периодическая оценка биометрических параметров организма и выявление симптомов выступают основными составляющими

ми профилактики заболеваний и их осложнений. В связи с вышесказанным, разработка медицинских мобильных приложений, предназначенных для мониторинга и улучшения здоровья конкретного человека, представляется актуальной задачей.

Обзор современного состояния проблемы

Анализ научных публикаций, доступных в открытой печати, свидетельствует о росте числа исследований, а также количества программных продуктов и мобильных приложений в области персонализированной медицины.

В [1] отмечается, что развитие и внедрение mHealth-приложений может оказывать значительное влияние на различные сферы здравоохранения, например, управление хроническими и аутоиммунными заболеваниями, контроль психического и эмоционального состояния, а также просвещение пациентов и освещение их прав и возможностей. Данные приложения позволяют пользователям самостоятельно контролировать состояние собственного здоровья, при необходимости получать рекомендации и советы по ведению здорового образа жизни, а также предсказывать возможные проблемы со здоровьем. Но, отдельно следует отметить, что мобильные приложения нельзя считать заменой врача, их следует рассматривать только как средство контроля и инструмент (своеобразный дневник) для учета и регистрации полученных результатов.

В [2; 3; 4] указаны результаты исследования проведенного наукометрического анализа возможностей мобильного здравоохранения. Как показывают исследования, не существует единой четко прослеживаемой классификации мобильных приложений. Тем не менее, можно выделить два укрупненных тренда: к первому относятся программные продукты, осуществляющие сбор, хранение и распространение медицинских данных (к этому направлению следует относить и организацию взаимодействия пациент – врач), ко второму – различные сенсоры и гаджеты, с помощью которых осуществляется мониторинг состояния здоровья человека в реальном времени (кардиостимуляторы, пульсоксиметры, фитнес-браслеты и прочее). Отдельным направлением можно отметить узкоспециализированные приложения, предназначенные для женщин (ве-

дение беременности, отслеживание менструального цикла и т.п.).

В статье дано описание создаваемого мобильного приложения «ЯМониторинг», основным назначением которого является осуществление контроля состояния здоровья путем расшифровки общего (клинического) анализа крови (ОАК). Целью разработки проекта «ЯМониторинг» является предоставление возможности пользователю оперативно получать детальную информацию о состоянии собственного здоровья и индивидуальные рекомендации для поддержания его на приемлемом уровне.

Самым распространенным и часто назначаемым анализом лабораторной диагностики является ОАК, так как, с одной стороны, этот анализ достаточно дешев, с другой стороны, – информативен и предоставляет врачу возможность поставить первичный диагноз. Формально ОАК – это комплекс показателей, каждый из которых «отвечает» за разные заболевания. На рынке программных продуктов можно встретить мобильные приложения, выполняющие функции контроля состояния здоровья и расшифровки анализов крови, но они часто предоставляют либо общеизвестные сведения, либо «отправляют» пользователя записаться к врачу на очный прием для последующей расшифровки (т.е. фактически представляют собой некий сервис для регистрации в медклинике). Отдельные медицинские приложения «заточены» под определенные распространенные заболевания (например, сахарный диабет) и основной анализ делается под конкретный показатель (в случае сахарного диабета, это уровень глюкозы, гликированный гемоглобин и пр.). Наиболее близким аналогом можно считать приложение Medicalab App, основанное на алгоритмах машинного обучения, которое в настоящий момент работает как прототип и ориентировано на идентификацию преддиабетического состояния (<https://www.belta.by/>).

При разработке первой версии мобильного приложения «ЯМониторинг» для верификации онтологической модели было выбрано ограниченное число симптомов и также не были рассмотрены редкие диагнозы, которые могут быть определены по изменению значений ОАК. При дальнейшей работе количество симптомов и число диагнозов могут быть увеличены.

Использование онтологии в mHealth-приложении

Общий анализ крови состоит из комплекса показателей, каждый из которых в отдельности

может предсказывать различные заболевания [5; 6; 7; 8; 9]. Например, на основании ОАК можно установить железодефицитную анемию, наличие в организме инфекционного процесса, гиперчувствительность (аллергическую реакцию) на какие-то вещества, паразитарные инфекции, лейкоз и иные заболевания.

Человеческая кровь содержит большое число элементов, каждый из которых оказывает влияние на работу человеческого организма в целом. Если человек здоров, то количество и соотношение этих элементов друг с другом не выходят за интервалы референсных значений. Но если человек заболевает, то баланс нарушается. Самым быстрым и дешевым, и в то же время информативным способом отследить данные изменения, является сдача общего (клинического) анализа крови. Следует отметить, что на основании одного общеклинического анализа, лечение не назначается.

При этом, несмотря на распространенность ОАК, некоторую сложность представляет процесс трактовки/расшифровки показателей ОАК: большинство терапевтов (или узких специалистов) смотрят на имеющиеся отклонения показателей или значения показателей, «отвечающих» за специализацию врача. Для принятия корректных диагностических решений врач должен рассматривать значения показателей ОАК в совокупности. Все это держать в памяти и принимать безошибочные и своевременные решения в условиях нехватки времени становится все сложнее.

Одним из инструментов, который позволяет отслеживать существующие взаимосвязи и взаимную корреляцию понятий предметной области, является онтология [10]. Понятие «онтология» стало широко применяться в компьютерной области с 1990-х годов, и спецификой онтологических моделей является их изначальная ориентированность на компьютерные вычисления и машинную обработку. Онтологию можно рассматривать как систему понятий предметной области и, как правило, онтология выступает основой создания семантических сетей [11]. Если рассматривать онтологию как средство формализованного представления знаний, то следует отметить такие ее преимущества, как поддержка объектно-ориентированного подхода, позволяющего модульно описывать каждый отдельный объект предметной области, так и возможность организации гибкого логического вывода.

Реализация онтологического подхода в медицинских мобильных приложениях дает возможность реализовать ряд преимуществ [12; 13; 14; 15]:

- совокупное использование узкоспециализированных медицинских знаний и данных: онтология позволяет объединить знания из различных медицинских областей, а также позволяет применять индивидуальный подход к процессу лечения конкретного пациента с соблюдением утвержденных общепринятых медицинских протоколов лечения;

- структуризация и формализация данных: онтология позволяет представить специфические медицинские данные (термины, диагнозы, симптомы, референсные значения, закономерности) в виде сети и/или иерархии;

- увеличение точности диагностики заболеваний пациента: многие болезни, особенно на начальных стадиях, характеризуются схожей симптоматикой, и формализация алгоритмов диагностики на основе онтологии может способствовать улучшению качества постановки диагноза.

Алгоритм вывода создаваемого приложения «ЯМониторинг» ориентирован на онтологический подход, позволяющий максимально близко сравняться с реальными выводами экспертов-медиков. Кроме того, ориентация на онтологический подход предоставляет возможность создания единой основы для описания базовых понятий проблемной области и содержит сведения, необходимые для полноценного функционирования программного продукта.

Онтологии представляют собой удобный инструмент для описания проблемной области, в том числе для создания программных продуктов и приложений с web-интерфейсом. Построение онтологий требует как экспертных знаний в исследуемой проблемной области, так и значительных затрат усилий и времени. Основной целью использования онтологии в разработанном мобильном приложении является именно визуализация закономерностей о том, какие показатели ОАК, в совокупности и по отдельности, о каких заболеваниях «сигнализируют».

Создание онтологий включает в себя сложно-формализуемый процесс выделения классов (терминов, концептов) домена (предметной области), свойств (атрибутов) классов и отношений между этими классами. В сформированной онтологии были выделены следующие компоненты:

1. Понятия (термины, концепты):

- показатели крови: гемоглобин, лейкоциты, эритроциты, тромбоциты и т.д.;
- состояние здоровья (диагноз): норма, анемия, лейкоцитоз, лейкопения и т.д.;
- пользователь: включает атрибуты, такие как возраст, пол, история заболеваний.

2. Свойства (атрибуты классов):

- показатель крови: референсное значение (норма), единицы измерения (г/л, $10^9/\text{л}$ и т.д.);
- состояние здоровья: критерии диагностики (например, для анемии – уровень гемоглобина ниже 120 г/л для женщин и 130 г/л для мужчин).

3. Отношения:

- влияет на: например, уровень гемоглобина влияет на диагноз анемии;
- имеет: пользователь имеет показатели крови;
- является: показатель крови является частью общего анализа крови.

4. Правила:

- если уровень гемоглобина <120 г/л для женщин, то состояние здоровья = анемия;
- если уровень лейкоцитов $>10^9/\text{л}$, то состояние здоровья = лейкоцитоз.

В мобильном приложении пользователю недоступен прямой доступ к онтологии: т.е. для внесения изменений пользователю потребуется иметь возможность корректировать непосредственно программный код. Это сделано преднамеренно, чтобы избежать несанкционированного доступа к базе знаний: как и во все продукты медицинской сферы вносить изменения должен только врач-эксперт.

Описание работы мобильного приложения «ЯМониторинг»

Для реализации медицинского мобильного приложения «ЯМониторинг» был выбран язык программирования java, для реализации онлайн базы данных использована облачная платформа Firebase, предназначенная для разработки мобильных и web-приложений. При разработке были использованы три ключевые библиотеки: FirebaseFirestore, DatabaseReference и Firebase. Мобильное приложение разрабатывалось под операционную систему Android.

При разработке ориентировались на тип архитектуры CLEAN (чистая архитектура), который означает, что каждый слой приложения не зависит от каких-либо программ или других слоев. Была выбрана трехслойная архитектура, включающая:

- презентационный слой, который предоставляет данные пользователю;
- слой бизнес-логики, отвечающий за обмен данными и обработку операций;
- слой доступа к данным, регулирующий сохранность и обслуживание данных.

На рисунке 1 приведены основные экраны мобильного приложения. Последовательность действий пользователя следующая. Пользователь запускает приложение на своем мобильном



Рисунок 1. Основные экраны мобильного приложения «ЯМонитор»

устройстве и видит экран приветствия авторизации: через электронную почту и пароль. Введя свои учетные данные, пользователь получает доступ к главному экрану приложения. После успешной авторизации пользователь заполняет профиль, указывая личные данные: пол, возраст, вес, рост и другие параметры, влияющие на интерпретацию результатов ОАК. Эти данные сохраняются в учетной записи пользователя и используются для персонализации анализа результатов.

Затем пользователь переходит в раздел «Добавить анализ» и вводит данные о сданном ОАК, включая название лаборатории, дату сдачи анализа и полученные значения показателей ОАК (гемоглобин, лейкоциты, эритроциты и другие).

Приложение обрабатывает введенные данные о результатах ОАК, рассчитывая отклонения от нормы на основе личных данных пользователя (пол, возраст и другие параметры) и референсных интервалов для каждого показателя, входящего в состав ОАК. Приложение анализирует, какие показатели выходят за пределы референсных интервалов и оценивает степень отклонения.

Далее приложение формирует отчет, в котором подробно расшифровываются результаты анализа. Для каждого показателя, выходящего за пределы нормы, предоставляется объяснение возможных причин отклонения, а также персонализированные рекомендации по посещению врача конкретной специализации (например,

терапевта, гематолога, эндокринолога). В отчете также могут быть указаны советы по образу жизни и питанию, направленные на улучшение состояния здоровья. Все введенные данные и полученные отчеты сохраняются в учетной записи пользователя. Пользователь может просматривать историю своих анализов, чтобы отслеживать динамику показателей и эффективность предпринятых мер. Приложение отправляет уведомления о необходимости повторной сдачи анализов в определенные сроки и предлагает рекомендации о желательных визитах к врачам и обновления данных о состоянии здоровья на основе результатов последних анализов.

Приложение «ЯМониторинг» после доработки может быть интегрировано с другими устройствами и сервисами для автоматического получения данных (например, фитнес-трекеры, умные часы). Пользователь сможет синхронизировать данные с приложениями Apple Health или Google Fit для осуществления комплексного мониторинга здоровья.

Заключение

Современные решения в mHealth-области способствуют получению пациентом своевременного и полноценного лечения. Результатом проведенного исследования является разработка мобильного приложения, которое обеспечит пользователей эффективным инструментом для

мониторинга и улучшения состояния здоровья. Программный продукт может быть использован для первичной персонализированной расшифровки биометрических параметров на основе общего анализа крови, позволяя пользователям принимать обоснованные решения о своем здоровье. Отличительной особенностью разработанного мобильного приложения является ориентированность на онтологический подход как единой основы для организации обмена информацией между различными группами пользователей (прежде всего, пациентами и врачами) и информационными системами для повышения ее интерпретируемости и эффективности.

Литература

1. Мобильные медицинские приложения: возможности, проблемы и перспективы / О.Т. Ким [и др.] // Профилактическая медицина. 2021. Т. 24, № 7. С. 96–102.
2. Гусев А.В., Ившин А.А., Владимирский А.В. Российские мобильные приложения для здоровья: систематический поиск в магазинах приложений // Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения. 2021. Т. 7, № 3. С. 224–231.
3. Классификация мобильных медицинских приложений, принципы и этические стандарты для их имплементации в клиническую практику / С.С. Сошников [и др.] // Медицинские технологии. Оценка и выбор. 2017. № 3 (29). С. 53–58.
4. Никитин П.В., Мурадянц А.А., Шостак Н.А. Мобильное здравоохранение: возможности, проблемы, перспективы // Клиницист. 2015. Т. 9, № 4. С. 13–21.
5. Липунова Е.А., Скоркина М.Ю. Физиология крови: моногр. исслед. Белгород: БелГУ, 2007. 324 с.
6. Николенко Л., Николенко Е., Головнева Е. Общий анализ крови: современное прочтение // Врач. 2020. Т. 31, № 1. С. 7–16. DOI: 10.29296/25877305-2020-01-02
7. Хиггинс К. Расшифровка клинических лабораторных анализов; под ред. В.Л. Эмануэля; пер. с англ. Е.К. Вишневской. 7-е изд. М.: Лаборатория знаний, 2016. 589 с.
8. Многопрофильный диагностический медицинский центр «Диагностика». URL: <https://www.zdorovje.ru/> (дата обращения: 31.05.2024).
9. Ситилаб. Международная сеть клиничко-диагностических лабораторий. URL: <https://citilab.ru/> (дата обращения: 01.06.2024).
10. Модель онтологии медицинской диагностики для интеллектуальных систем поддержки принятия решений в медицине / В.В. Грибова [и др.] // Онтология проектирования. 2018. Т. 8, № 1 (27). С. 58–73.
11. Загорулько Ю.А. Семантическая технология разработки интеллектуальных систем, ориентированная на экспертов предметной области // Онтология проектирования. 2015. Т. 5, № 1 (15). С. 30–46.
12. Горобец Е.А., Диязитдинова А.Р. Применение онтологического подхода при проектировании медицинского мобильного приложения // Инфокоммуникационные технологии. 2021. Т. 19, № 2. С. 224–231.
13. Диязитдинова А.Р., Загирова А.Р. Применение онтологии в медицинских мобильных приложениях // Актуальные проблемы информатики, радиотехники и связи: материалы XXXI Российской научно-технической конференции. Самара: ПГУТИ, 2024. С. 310–312.
14. Диязитдинова А.Р., Загирова А.Р., Нужин В.И. Использование MHEALTH-приложения как инструмента обеспечения персонализированного подхода к пациенту // Актуальные проблемы информатики, радиотехники и связи: материалы XXXI Российской научно-технической конференции. Самара: ПГУТИ, 2024. С. 312–313.
15. Нефедов Ю.В., Цыпленкова В.А. Основные тенденции и особенности развития медицинских онтологий // Врач и информационные технологии. 2018. № 4. С. 6–19.

Получено 10.07.2024

Диязитдинова Альфия Радмировна, к.т.н., доцент кафедры прикладной информатики Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). 443090, Российская федерация, г. Самара, Московское шоссе, 77. Тел. +7 917 942-57-45. E-mail: dijazitdinova@mail.ru

Загирова Алина Рамилевна, студент кафедры информационных систем и технологий ПГУТИ. 443090, Российская федерация, г. Самара, Московское шоссе, 77. Тел. +7 922 898-40-23. E-mail: zagirovaalina816@gmail.com

Нужин Владислав Иванович, студент кафедры информатики и вычислительной техники ПГУТИ. 443090, Российская федерация, г. Самара, Московское шоссе, 77. Тел. +7 927 266-54-39. E-mail: slavanuzhin@yandex.ru

MHEALTH-APPLICATION FOR PATIENT PERSONALIZED APPROACH

Diyazitdinova A.R., Zagirova A.R., Nuzhin V.I.

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation

E-mail: dijazitdinova@mail.ru

The article is devoted to the mHealth mobile application description. It allows to analyze the complete blood count. From a statistical point of view this medicine test is one of the most full and frequent one, because it allows the doctor to make initial conclusions about the patient's health condition. The complete blood count is a complex of indicators, each of which can be associated with various diseases. The mobile health application is the modern solution which helps patients to get timely and complete treatment. There are a significant number of applications for health monitoring (including blood count) on the market. But all of them often have limited functionality or do not provide sufficiently detailed and accurate information about health condition. Ontology can be considered as an instrument for ensuring personalized approach to the user. In mobile application development ontology is used not only as database but as the database basis to simplify the process of filling and maintaining the ontology up to date. The application was developed for Android operation system, and the development instruments set includes Java programming language, Firebase platform and the FirebaseStore, DatabaseReference, Firebase libraries.

Keywords: *mhealth-application, mobile application, blood monitoring, complete blood count, personalized approach, ontology*

DOI: 10.18469/ikt.2024.22.1.10

Diyazitdinova Alfiya Radmirovna, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moskovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Associated Professor of Applied Informatics Department, PhD in Technical Science. Tel. +7 917 942-57-45. E-mail: dijazitdinova@mail.ru

Zagirova Alina Ramilevna, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moskovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Student of Information Systems and Technologies Department. Tel. +7 922 898-40-23. E-mail: zagirovaalina816@gmail.com

Zagirova Alina Ramilevna, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moskovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Student of Information Systems and Technologies Department. Tel. +7 922 898-40-23. E-mail: zagirovaalina816@gmail.com

References

1. Kim O.T. et al. Mobile medical applications: opportunities, challenges and prospects. *Profilakticheskaya meditsina*, 2021, vol. 24, no. 7, pp. 96–102. (In Russ.)
2. Gusev A.V., Ivshin A.A., Vladimirsky A.V. Healthcare in the smartphone: the situation in RUSSIA. *Rossiyskiy zhurnal telemeditsiny i elektronnoy zdravookhraneniya*, 2021, vol. 7, no. 3, pp. 224–231. (In Russ.)
3. Soshnikov S.S. et al. Classification of mobile medical applications, principles and ethical standards for their implementation in clinical practice. *Meditsinskiye tekhnologii. Otsenka i vybor*, 2017, no. 3 (29), pp. 53–58. (In Russ.)
4. Nikitin P.V., Muradyants A.A., Shostak N.A. Mobile healthcare services: possibilities, problems, prospects. *Klitsinist*, 2015, vol. 9, no. 4, pp. 13–21. (In Russ.)
5. Lipunova E.A., Skorkina M.Yu. *Physiology of blood*: Monograph Research. Belgorod: BelSU, 2007, 324 p. (In Russ.)
6. Nikolenko L., Nikolenko E., Golovneva E. Complete blood count: A modern reading. *Vrach*, 2020, vol. 31, no. 1, pp. 7–16. DOI: 10.29296/25877305-2020-01-02 (In Russ.)

7. Higgins K. *Understanding laboratory investigations*. Ed by V.L. Emanuel. Transl. From English by E.K. Vishnevskaya. 7nd ed. Moscow: Laboratoriya znaniy, 2016, 589 p. (In Russ.)
8. Multidisciplinary diagnostic Medical Center «Diagnostics». URL: <https://www.zdorovje.ru/> (accesses: 31.05.2024). (In Russ.)
9. Sitilab. An international network of clinical diagnostic laboratories. URL: <https://citilab.ru/> (accesses: 01.06.2024). (In Russ.)
10. Gribova V.V. et al. Medical diagnosis ontology for intelligent decision support systems. *Ontologiya proyektirovaniya*, 2018, vol. 8, no. 1 (27), pp. 58–73. (In Russ.)
11. Zagorulko Yu.A. Semantic technology for development of intelligent systems oriented to experts in subject domain. *Ontologiya proyektirovaniya*, 2015, vol. 5, no. 1 (15), pp. 30–46. (In Russ.)
12. Gorobets E.A., Diyazitdinova A.R. Application of the ontological approach when designing a medical mobile application. *Infokommunikatsionnyye tekhnologii*, 2021, vol. 19, no. 2, pp. 224–231. (In Russ.)
13. Diyazitdinova A.R., Zagirova A.R. Application of ontology in medical mobile applications. *Aktual'nyye problemy informatiki, radiotekhniki i svyazi: materialy XXXI Rossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii*. Samara: PSUTI, 2024, pp. 310–312. (In Russ.)
14. Diyazitdinova A.R., Zagirova A.R., Nuzhin V.I. Using mhealth applications as a tool for providing a personalized approach to patient. *Aktual'nyye problemy informatiki, radiotekhniki i svyazi: materialy XXXI Rossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii*. Samara: PSUTI, 2024, pp. 312–313. (In Russ.)
15. Nefedov Yu.V., Tsyplenkova V.A. Medical ontologies: current development, main trends and features. *Vrach i informatsionnyye tekhnologii*, 2018, vol. 1, no. 4, pp. 6–19. (In Russ.)

Received 10.07.2024

УДК 621.391

ПОЛИГАУССОВО ОПИСАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ПРОЦЕССОВ, ФОРМИРУЕМЫХ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМОЙ ЛОРЕНЦА, РЕАЛИЗОВАННОЙ В ЧИСЛАХ С ФИКСИРОВАННОЙ ЗАПЯТОЙ

Кафаров К.М., Логинов С.С., Бобина Е.А.

Казанский национальный исследовательский технический университет

им. А.Н. Туполева – КАИ, Казань, РФ

E-mail: lnextp@gmail.com

Статья направлена на анализ вероятностных распределений псевдослучайных процессов, сформированных на основе решения системы Лоренца в числах с фиксированной запятой. Численное решение системы Лоренца методом Эйлера в числах с плавающей запятой одинарной и двойной точности при ограниченной разрядности чисел может приводить к срыву генерации сигналов. Использование чисел с фиксированной запятой способствует снижению вычислительной сложности при цифровой реализации подобных систем, что в конечном итоге приводит к упрощению их практической реализации на современных микросхемах программируемой логики. Это приводит к более эффективному использованию ресурсов, увеличению производительности подобных цифровых систем. Исследование аппроксимации распределений вероятностей процессов, формируемых на основе системы Лоренца с использованием смесей гауссовых распределений, имеет большое значение для прогностической аналитики и устойчивости работы системы. Исключение срыва генерации сигналов также способствует формированию устойчивых режимов формирования хаотических сигналов с требуемыми статистическими характеристиками.

Ключевые слова: динамический хаос, динамические системы, статистические характеристики, формователи с фиксированной запятой, система Лоренца, вероятностные распределения

Введение

Нелинейные системы с динамическим хаосом, обладая уникальной способностью порождать сложные динамические и хаотические процессы,

являются объектом активного исследования в современной науке. Эти системы находят широкое применение в различных областях, таких как, например, широкополосные коммуникационные системы, где они служат негармоническими «но-

сителями информации», формируя сигналы со сложной шумоподобной колебательной структурой [1]. Это расширяет возможности построения широкополосных систем, минимизируя необходимость модуляции параметров колебаний специализированными двоичными последовательностями [2].

«Прямохаотические» инфокоммуникационные системы базируются на создании сложных негармонических колебаний с высокой частотой в ограниченной полосе частот. Одним из преимуществ этих систем является упрощенность конструкции генератора, состоящего из каскада автогенератора с широкополосной колебательной системой и каскада импульсного модулятора [3; 4]. В существующих публикациях, в основном, описаны относительно упрощенные конструкции приемных устройств [9], такие как детекторные приемники, которые можно адаптировать к частотному диапазону, но не к структурным характеристикам сигнала.

В то же время с целью получения формирователей хаотических сигналов с воспроизводимыми статистическими характеристиками необходимо использование систем, реализованных на основе процедур численного интегрирования. Снижение вычислительных затрат на реализацию подобных систем делает необходимым рассмотрение формирователей хаотических сигналов на основе процедур численного интегрирования с использованием чисел с фиксированной запятой. Эти системы, как подкласс нелинейных систем с динамическим хаосом, предоставляют уникальные возможности для создания прямохаотических коммуникационных систем. Использование чисел с фиксированной запятой способствует снижению вычислительной сложности при цифровой реализации подобных систем [5], что приводит, в конечном счете, к упрощению их практической реализации на современных микросхемах программируемой логики [6].

Вероятностные характеристики играют ключевую роль в описании случайных и псевдослучайных процессов. Описание распределений вероятностей хаотических процессов, формируемых системой Лоренца с помощью полигаусовых смесей, было проведено в работе [7]. В то же время исследование особенностей подобных описаний для системы Лоренца, реализованной в числах с фиксированной запятой, представляет определенный интерес для техники систем передачи информации. Этот интерес обусловлен как использованием сигналов, формируемых системой Лоренца в качестве прямохаотических носителей информации, так и возможностей использо-

вания моделей процессов, формируемых данной системой, для описания комплексной огибающей процессов в реальных каналах связи [10].

Целью данной работы является анализ распределений вероятностей псевдослучайных процессов, сформированных на основе решения системы Лоренца в числах с фиксированной запятой.

Методы и ограничения

Выбранная в качестве объекта исследования система Лоренца может быть записана в виде:

$$\begin{cases} X_{i+1} = X_i + \Delta t(-\sigma X_i + \sigma Y_i); \\ Y_{i+1} = Y_i + \Delta t(rX_i - Y_i - X_i Z_i); \\ Z_{i+1} = Z_i + \Delta t(-bZ_i + X_i Y_i), \end{cases} \quad (1)$$

где X, Y, Z – пространственные переменные нелинейных систем с динамическим хаосом; r, σ, b – параметры системы Лоренца, Δt – величина шага численного интегрирования.

В работе проведена аппроксимация плотностей вероятностей сигналов исследуемой системы смесями распределений Гаусса, представленными в виде:

$$w(x) = \sum_{i=1}^N q_i \Gamma(x, m_i, \sigma_i), \quad (2)$$

где $\Gamma(x, m_i, \sigma_i)$ – плотности вероятностей распределений Гаусса со средними значениями компонент m_i и среднеквадратическими значениями σ_i , $i = 1, N$; q_i – вероятности компонент, причем $\sum_{i=1}^N q_i = 1$.

Сигналы получены на основе использования процедуры Эйлера численного решения систем нелинейных дифференциальных уравнений с применением метода изменения некоторых битов численного представления числа с фиксированной точкой в битовой последовательности:

$$x^+ = b_{I^+} \cdot B^{I^+} + b_{I^+-1} \cdot B^{I^+-1} + \dots + b_1 \cdot B + b_0, \quad (4)$$

$$x^- = b_{-I^-} \cdot B^{-I^-} + b_{-I^--1} \cdot B^{-I^--1} + \dots + b_{-2} \cdot B^{-2} + b_{-1} \cdot B^{-1}, \quad (5)$$

$$x = \sum_{i=-I^-}^{I^+} b_i \cdot B^i, \quad (6),$$

где младшие биты чисел $b_{-1}, b_{-2}, b_{-3} = \text{random}([0,1])$ модифицируются по псевдослучайному закону с целью предотвращения срывов генерации хаотических процессов. Выбранный размер использованных чисел при формировании процессов равен 16.

Анализ результатов

На рисунках 1, 2, 3 представлены аппроксимации гистограмм распределений частот появления

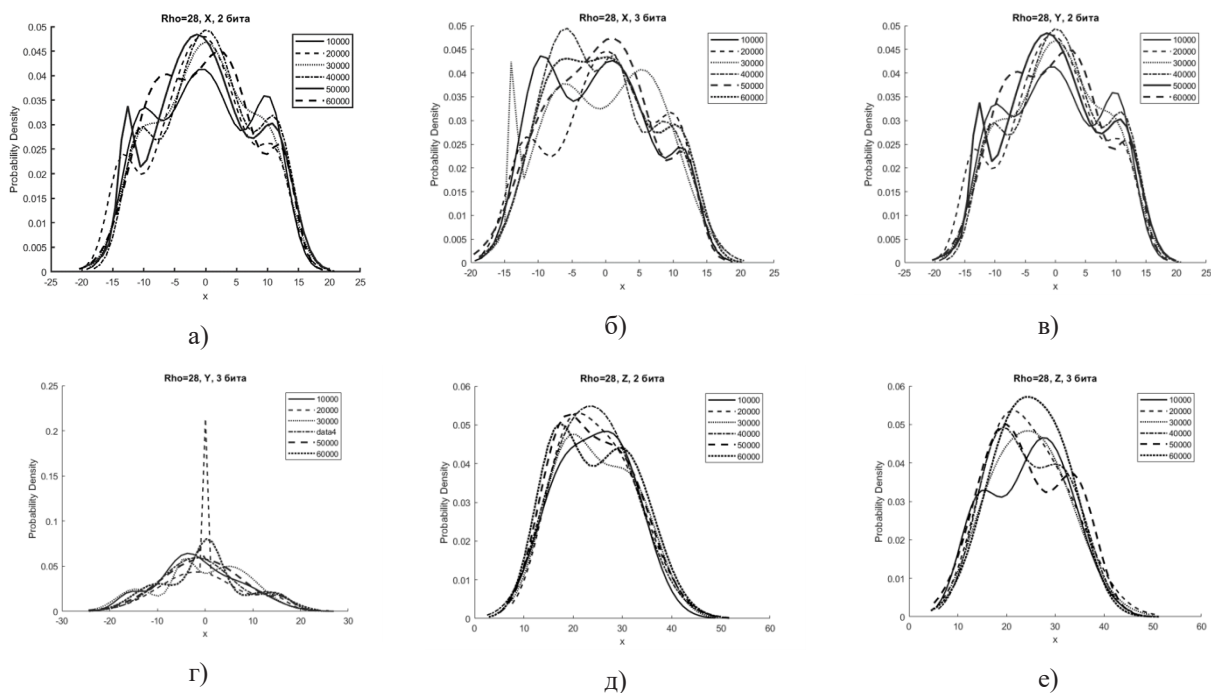


Рисунок 1. Аппроксимации гистограмм распределений частот появления чисел процессов X (сверху), Y (в середине), Z (снизу) системы Лоренца с фиксированной точкой при $M=10000\dots 60000$ реализаций, $r = 28$ с изменением 2 и 3 битов информации

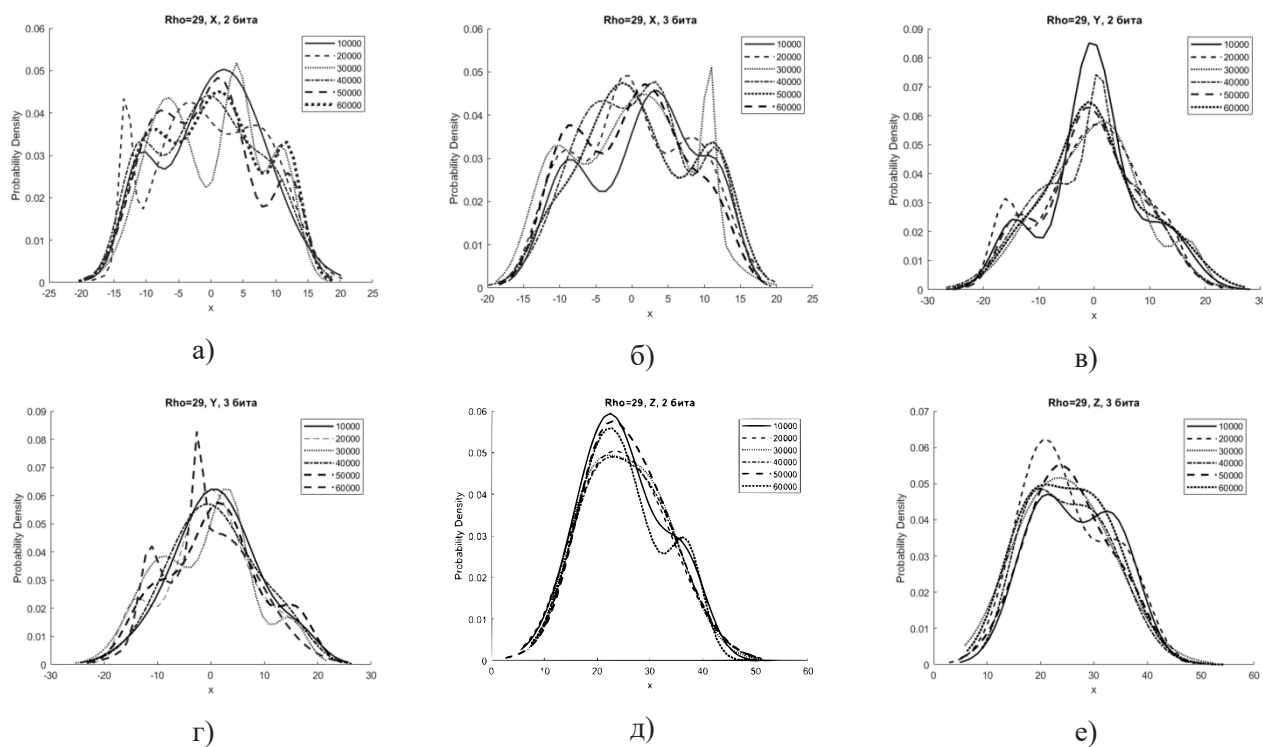


Рисунок 2. Аппроксимации гистограмм распределений частот появления чисел процессов X (сверху), Y (в середине), Z (снизу) системы Лоренца с фиксированной точкой при $M=10000\dots 60000$ реализаций, $r = 29$

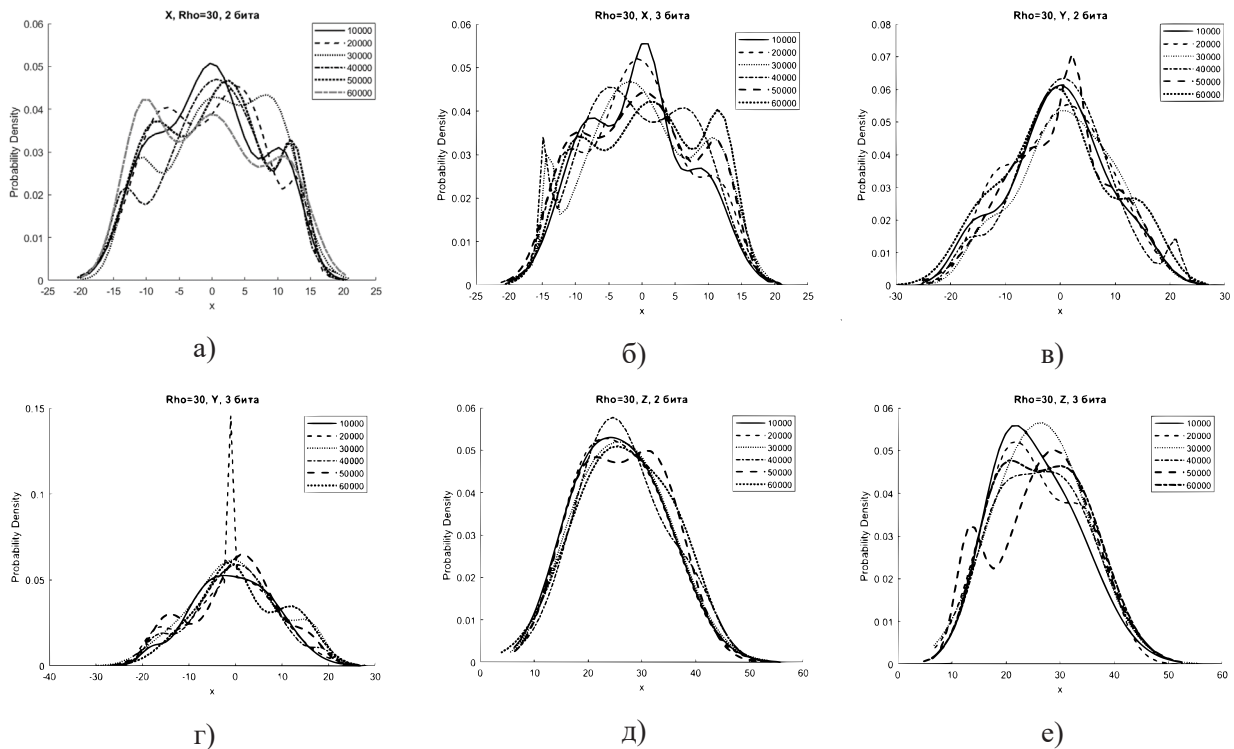


Рисунок 3. Аппроксимации гистограмм распределений частот появления чисел процессов X (сверху), Y (в середине), Z (снизу) системы Лоренца с фиксированной точкой при $M=10000\dots 60000$ реализаций, $r=30$

чисел процессов X , Y , Z системы (1) с приведенными модификациями (4), (5), (6) смесью трех-компонентного полигауссова распределения при различных значениях отношений числа Релея r (Rho на графиках) с различным количеством модифицированных младших битов для формата в числах с фиксированной точкой – 2 и 3 бита.

Представленные аппроксимации приведены для реализаций систем при $i=10000, 20000, 30000, 40000, 50000, 60000$.

Из графиков видно, что распределение математического ожидания μ и среднеквадратическое отклонение σ для всех реализаций систем при $i=10000\dots 60000$ имеют полигауссовы распределения вероятностей, что говорит о возможности применения данного метода для формирователей с фиксированной запятой как для систем с псевдослучайными последовательностями.

Особенностью указанных распределений является появление выбросов на определенных временных участках гистограмм рисунков 1б, 1г, 2б, 2г, 3б. Система Лоренца при ее формировании в условиях фиксированной запятой имеет склонность к срыву генерации [8]. Приведенные рисунки показывают, что даже в условиях псевдослучайной модификации 3 младших бит чисел, происходит срыв генерации, сопровождающийся установлением сигнала с фиксированной амплитудой. При применении метода рандомизации

младших разрядов это приводит к незначительным изменениям реализаций X , Y за определенные отрезки времени.

Временные зависимости математических ожиданий и среднеквадратических отклонений аппроксимирующих компонент смеси гауссовых распределений процессов X системы Лоренца приведены на рисунке 4.

На рисунке 4а изображены изменения математических ожиданий μ_1, μ_2, μ_3 в зависимости от времени. На графиках видно наличие переходного процесса в системе Лоренца, при котором происходят значительные изменения математических ожиданий в зависимости от времени до точки, соответствующей 10000 отсчетов. При этом также наблюдаются колебания среднеквадратических отклонений компонент с большей амплитудой. На больших интервалах времени размах колебаний математических ожиданий и среднеквадратических отклонений уменьшается, они становятся квазипериодическими. Это говорит о приближении рассматриваемого процесса к стационарному.

Полученные в данной работе результаты по описанию распределений вероятностей псевдослучайных процессов, сформированных на основе решения системы Лоренца в числах с фиксированной запятой в целом достаточно близки к результатам, изложенным в [7] для чисел с плава-

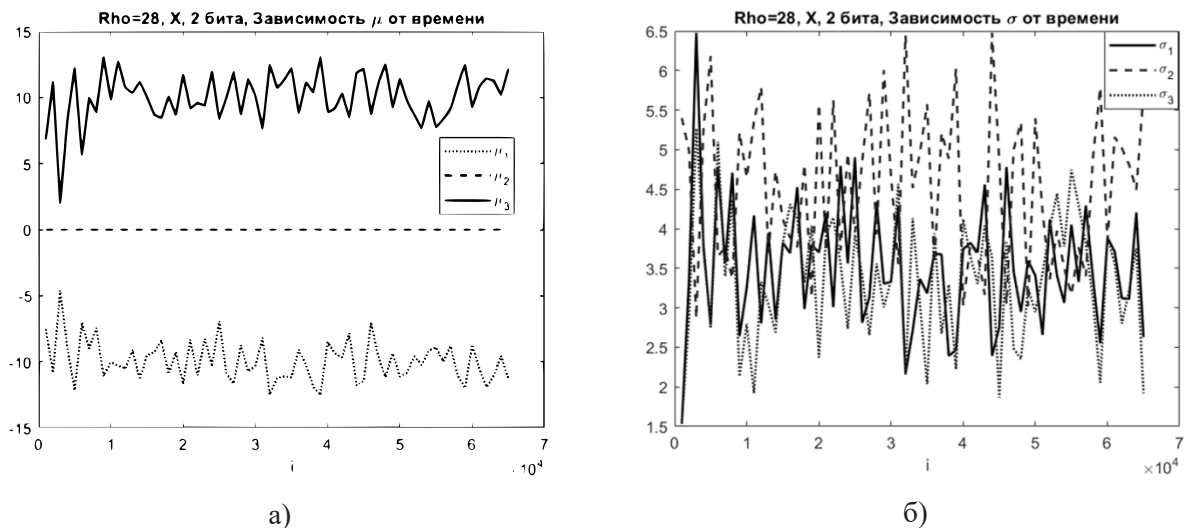


Рисунок 4. Оценки изменений во времени математических ожиданий и среднеквадратических отклонений аппроксимирующих гауссовых компонент процессов X системы Лоренца

ющей запятой. Отличием приведенных результатов является показанные в данной работе срывы генерации псевдослучайных процессов даже при условии рандомизации младших разрядов описывающих их чисел.

Выводы

1. Показана возможность использования полигауссова описания распределений вероятностей псевдослучайных процессов, сформированных на основе решения системы Лоренца в числах с фиксированной запятой.

2. Число компонент смеси гауссовых распределений, которые необходимо использовать для описания процессов, формируемых системой Лоренца, составляет не более 3.

3. Применение рандомизации 3 разрядов из 16 в формируемых числах, представляющих процессы, приводит к снижению количества реализаций со срывом генерации.

4. Время установления стационарного режима генерации процессов в системе Лоренца, реализованной над числами с фиксированной запятой, составляет не менее 10000 отсчетов.

Список литературы

1. Дмитриев А.С., Панас А.И. Динамический хаос: новые носители информации для систем связи. М.: Изд-во физико-математической литературы, 2002. 252 с.
2. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. М.: Радио и связь, 1985. 384 с.
3. Прямохаотические средства сверхширокополосной беспроводной связи в метровом и дециметровом диапазоне радиоволн / А.С. Дми-

триев [и др.] // Радиотехника и электроника. 2022. Т. 67, № 8. С. 797–806. DOI: 10.31857/S0033849422080046

4. Кузьмин Л.В., Ефремова Е.В. Эксперимент по определению времени прохождения сверхширокополосных хаотических радиоимпульсов через многолучевой канал // Письма в Журнал технической физики. 2020. Т. 46, № 16 (163). С. 23–27. DOI: 10.21883/PJTF.2020.16.49849.18352
5. Loginov S.S., Zuev M.Y. Testing of generators of pseudo-random signals based on a Lorenz system, realized over a Galois finite field // 2018 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO). Minsk, 2018. P. 1–4. DOI: 10.1109/SYNCHROINFO.2018.8457039
6. Zhang L. System generator model-based FPGA design optimization and hardware co-simulation for Lorenz chaotic generator // 2017 2nd Asia-Pacific Conference on Intelligent Robot Systems (ACIRS). Wuhan, 2017. P. 170–174. DOI: 10.1109/ACIRS.2017.7986087
7. Loginov S.S., Afanasiev V.V. Poly-Gaussian models in describing the signals of Lorenz dynamic system // 2018 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications. Moscow, 2018. P. 8350616-4. DOI: 10.1109/SOSG.2018.8350616
8. Чабдаров Ш.М., Трофимов А.Т. Полигауссовы представления произвольных помех и прием дискретных сигналов // Радиотехника и электроника. 1975. Т. 20, № 4. С. 734–735.
9. Оптимальный прием многопозиционных сигналов при комплексе шумовых и импульсных

помех с произвольными флуктуациями / А.Ф. Надеев [и др.] // Радиотехника. 1990. № 12. С. 32–35.

of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications. 2023. Vol. 6, no. 1. P. 197–200.

10. Kafarov K.M., Loginov S.S., Bobina E.A. Digital signal generators based on the Lorentz system implemented using fixed-point numbers // Systems

Получено 23.04.2024

Кафаров Каиб Мирзалиевич, аспирант кафедры электронных и квантовых средств передачи информации (ЭКСПИ) Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ (КНИТУ–КАИ). 420015, Российская Федерация, г. Казань, ул. Карла Маркса, 10. Тел. +7 927 846-25-23. E-mail: lnexptp@gmail.com

Логинов Сергей Сергеевич, д.т.н., профессор кафедры ЭКСПИ КНИТУ–КАИ. 420015, Российская Федерация, г. Казань, ул. Карла Маркса, 10. Тел. +7 905 023-67-99. E-mail: sslogin@mail.ru

Бобина Елена Андреевна, к.т.н., доцент кафедры ЭКСПИ КНИТУ–КАИ. 420015, Российская Федерация, г. Казань, ул. Карла Маркса, 10. Тел. +7 909 309-98-03. E-mail: eabobina@yandex.ru

POLYGAUSSIAN DESCRIPTION OF PROBABILITY DISTRIBUTIONS OF PROCESSES GENERATED BY A NONLINEAR LORENZ SYSTEM IMPLEMENTED IN FIXED-POINT NUMBERS

Kafarov K.M., Loginov S.S., Bobina E.A.

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI,

Kazan, Russian Federation

E-mail: lnexptp@gmail.com

The article is aimed at analyzing the probability distributions of pseudorandom processes generated on the basis of the Lorentz system solution in fixed-point numbers. Numerical solution of the Lorenz system by the Euler method in single- and double-precision floating-point numbers with a limited number capacity can lead to a breakdown in signal generation. The use of fixed-point numbers contributes to the reduction of computational complexity in the digital implementation of such systems, which ultimately leads to the simplification of their practical implementation on modern chips of programmable logic. This allows to use resources in more efficient way, and increases productivity in the creation and maintenance of such digital systems. The study of approximation of Lorenz system signals using mixtures of Gaussian distributions is of great importance for predictive analytics and stability of the system. Elimination of signal generation failure also contributes to the formation of stable modes of generation of chaotic signals with required statistical characteristics.

Keywords: *dynamic chaos, dynamic systems, statistical properties, fixed-point shapers, Lorenz system, probability distributions*

DOI: 10.18469/ikt.2024.22.1.11

Kafarov Kaib Mirzalievich, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, 10, K. Marx Street, Kazan, 4420015, Russian Federation; PhD Student of Electronic and Quantum Means of Information Transmission Department. Tel. +7 927 846-25-23. E-mail: lnexptp@gmail.com

Loginov Sergey Sergeevich, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, 10, K. Marx Street, Kazan, 4420015, Russian Federation; Professor of Electronic and Quantum Means of Information Transmission Department, Doctor of Technical Science. Tel. +7 905 023-67-99. E-mail: sslogin@mail.ru

Bobina Elena Andreevna, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, 10, K. Marx Street, Kazan, 4420015, Russian Federation; Associated Professor of Electronic and Quantum Means of Information Transmission Department, PhD in Technical Science. Tel. +7 909 309-98-03. E-mail: eabobina@yandex.ru

References

1. Dmitriev A.S., Panas A.I. *Dynamic Chaos: Novel Type of Information Carrier for Communication Systems*. Moscow: Izd-vo fiziko-matematicheskoy literatury, 2002, 252 p. (In Russ.)
2. Varakin L.E. *Communication Systems with Noise-Like Signals*. Moscow: Radio i svyaz', 1985, 384 p. (In Russ.)
3. Dmitriev A.S. et al. Direct chaotic ultra-wideband wireless communications in the very high frequency and ultra high frequency radio bands. *Radiotekhnika i elektronika*, 2022, vol. 67, pp. 1013–1021. DOI: 10.31857/S0033849422080046 (In Russ.)
4. Kuz'min L.V., Efremova E.V. Experimental estimation of the propagation time of chaotic ultra-wide-band RF pulses through multipath channel. *Pis'ma v Zhurnal tekhnicheskoy fiziki*, 2020, vol. 46, pp. 23–27. DOI: 10.21883/PJTF.2020.16.49849.18352 (In Russ.)
5. Loginov S.S., Zuev M.Y. Testing of generators of pseudo-random signals based on a Lorenz system, realized over a Galois finite field. *2018 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO)*. Minsk, 2018, pp. 1–4. DOI: 10.1109/SYNCHROINFO.2018.8457039
6. Zhang L. System generator model-based FPGA design optimization and hardware co-simulation for Lorenz chaotic generator. *2017 2nd Asia-Pacific Conference on Intelligent Robot Systems (ACIRS)*. Wuhan, 2017, pp. 170–174. DOI: 10.1109/ACIRS.2017.7986087
7. Loginov S.S., Afanasiev V.V. Poly-Gaussian models in describing the signals of Lorenz dynamic system. *2018 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications*. Moscow, 2018, pp. 8350616–4. DOI: 10.1109/SOSG.2018.8350616
8. Chabdarov Sh.M., Trofimov A.T. Polygaussian representations of arbitrary noise and reception of discrete signals. *Radiotekhnika i elektronika*, 1975, vol. 20, no. 4, pp. 734–735. (In Russ.)
9. Nadeev A.F. et al. Optimal reception of multi-position signals at a complex of noise and impulse interference with arbitrary fluctuations. *Radiotekhnika*, 1990, no. 12, pp. 32–35. (In Russ.)
10. Kafarov K.M., Loginov S.S., Bobina E.A. Digital signal generators based on the Lorentz system implemented using fixed-point numbers. *Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications*. Moscow, 2023, vol. 6 (1), pp. 197–200. DOI: 10.1109/IEEECONF56737.2023.10092093

Reseived 23.04.2024

УДК 004.89

СРАВНЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ БИБЛИОТЕК VAEX И DASK

Пальмов С.В.^{1,2}, Шаталов Н.В.¹

¹Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

²Самарский государственный технический университет, Самара, РФ

E-mail: s.palmov@psuti.ru, nickit.schatalow@yandex.ru

Цель исследования заключалась в сравнении производительности библиотек Vaex и Dask, предназначенных для повышения эффективности процесса обработки данных. Для решения поставленной задачи были проведены эксперименты, связанные с оценкой временных затрат на выполнение различных классов операций. Исследование включало подготовку датасетов, формирование выборок данных, настройку исполнительных сред, установку и настройку указанных выше модулей, написание скриптов на языке Python, тестирование производительности и последующий анализ результатов. Было установлено, что Vaex демонстрирует высокое быстродействие в случае обработки больших наборов данных, состоящих из миллиона объектов, на одном локальном компьютере; показатели Dask уступают первой библиотеке. Сей факт указывает на то, что Vaex является более эффективным инструментом для обработки крупных датасетов в условиях, аналогичных использованным в настоящей работе. Результаты и выводы исследования подчеркивают значимость выбора оптимальной библиотеки при обработке данных большого объема, а также подтверждают преимущества библиотеки Vaex в данном контексте.

Ключевые слова: Vaex, Dask, Python, большие данные, обработка данных

Введение

В современном мире каждую секунду генерируется огромное количество данных, и их анализ становится все более важным в контексте принятия обоснованных решений. Для эффективной обработки и исследования подобных объемов информации необходимы специализированные инструменты.

Среди множества разнообразных решений, предназначенных для работы с данными, выделяются Vaex [1] и Dask [2] – две популярные библиотеки, способные обрабатывать большие датасеты и выполнять с ними сложные операции.

Целью настоящей работы являлась проверка гипотезы о том, что Vaex окажется предпочтительнее для обработки и анализа крупных объемов данных по сравнению с Dask при работе на локальной машине. В ходе исследования было проведено сравнение функциональности, особенностей и производительности обеих библиотек, а также рассмотрены сценарии, в которых каждая из них может продемонстрировать наибольшую эффективность.

Dask и Vaex

Dask [3] реализует параллельные вычисления. Она способна обрабатывать массивы данных, превышающие объем оперативной памяти компьютера. Одним из ключевых преимуществ Dask является масштабируемость для работы с кластерами.

Vaex [5], с другой стороны, также предоставляет высокопроизводительные инструменты для работы с данными, но фокусируется на эффективной обработке и анализе больших наборов данных на одиночных компьютерах. Она предлагает альтернативные структуры, оптимизированные для работы с большими объемами информации в оперативной памяти, а также обладает функционалом для быстрой визуализации и анализа данных.

Противопоставление Pandas: различия в работе Dask и Vaex

Датафрейм Dask не полностью совместим с Pandas [4], но указанные библиотеки довольно близки к этому: первая содержит в себе часть функционала, присущего второй.

Vaex в большей степени отличается от Pandas (хотя в плане выполнения базовых операций, таких как чтение данных и вычисление сводной статистики, они очень похожи).

При этом если сравнивать три указанные библиотеки между собой, [6], у каждой можно выделить своим преимущества.

Практическое сравнение библиотек при работе с данными

Технические характеристики компьютера для проводимых экспериментов представлены в таблице 1.

Проведено исследование процесса чтения и преобразования файлов размером 48 Гб на локальном компьютере с использованием библиотек Vaex и Dask. Чтобы повысить удобство процесса чтения CSV-файлов больших размеров [7], было выполнено их конвертирование в формат HDF5. В исследовании задействовано 52 CSV-файла, содержащие различные типы данных (текст, числа, даты и числовые массивы) для тренировочных проектов по машинному обучению [8].

Таблица 1. Технические характеристика локального компьютера

CPU	AMD Ryzen 5 1400
RAM, Гб	16
GPU	NVIDIA Pascal GeForce GTX 1050 Ti GDDR5 4 Гб
HDD	2 Тб, 190 Мбайт/сек

HDF5 (Hierarchical Data Format version 5) – это открытый стандарт для хранения и организации больших объемов данных. Он обеспечивает эффективное хранение различных типов разнородных данных, включая числовые массивы, текстовые данные, изображения, аудио-файлы и многое другое. HDF5 представляет собой иерархическую структуру данных, которая позволяет организовывать информацию в виде древовидной структуры, состоящей из групп и датасетов. Группы могут содержать в себе подгруппы и датасеты, чем обеспечивается гибкая организация данных.

На первом шаге эксперимента данные были преобразованы в формат HDF5 с использованием Vaex; временные затраты составили 578 с. Затем выполнялись чтение и обработка этих файлов при помощи той же библиотеки, что заняло 15 с. и 79 с. соответственно. Обработка заключалась в выводе в консоль всех значений переменных, которые оказывались больше 75.

Далее процесс был произведен повторно с использованием библиотеки Dask. Преобразование в HDF5 потребовало 1343 с., чтение и обработка – 49 и 283 с.

Таким образом, в результате данного эксперимента было показано, что с использованием Vaex на локальной машине процесс обработки данных происходил быстрее по сравнению с Dask.

Второй этап эксперимента заключался в исследовании операций над двумя датасетами с суммарным размером 33,86 ГБ. Наборы состояли из случайных чисел от 0 до 100, и содержали миллион строк и тысячу столбцов каждый (рисунок 1).

Код для преобразования формата с помощью Dask взят из официальной документации [11] (рисунок 2). Чтобы преобразовать два CSV (33,86 ГБ) в два файла HDF5 (14,9 ГБ), Vaex затратил 1106,63 с. (рисунки 3–5).

```
import pandas as pd
import numpy as np
from os import path
```

```
n_rows = 1000000
n_cols = 1000
for i in range(1, 3):
    filename = 'analysis_%d.csv' % i
    file_path = path.join('csv_files', filename)
    df = pd.DataFrame(np.random.uniform(0, 100, size=(n_rows, n_cols)), columns=['col%d' % i for i in range(n_cols)])
    print('Saving', file_path)
    df.to_csv(file_path, index=False)
```

Рисунок 1. Листинг программы создания файлов датасета

```
import datetime
import vaex

# фиксируем и выводим время старта работы кода
start = datetime.datetime.now()
df = vaex.open('csv_files/analysis_1.csv', convert='csv_files/analysis_1.hdf5')
# фиксируем и выводим время окончания работы кода
finish = datetime.datetime.now()
# вычитаем время старта из времени окончания
print('Время работы: ' + str(finish - start))
```

Рисунок 2. Листинг программы для конвертирования Vaex

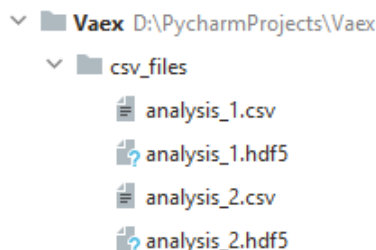


Рисунок 3. Результаты преобразования файлов

analysis_1	22.04.2024 0:08	Исходный файл ...	17 757 308 КБ
analysis_1.hdf5	22.04.2024 1:07	Файл "HDF5"	7 813 891 КБ
analysis_2	19.04.2024 23:38	Исходный файл ...	17 757 290 КБ
analysis_2.hdf5	22.04.2024 1:07	Файл "HDF5"	7 813 891 КБ

Рисунок 4. Информация о преобразованных файлах

```
D:\PycharmProjects\Vaex\venv\Scripts\python.exe D:/PycharmProjects/Vaex/vaex.py
Время работы: 0:18:26.631318
```

Рисунок 5. Время, затраченное на конвертирование файлов Vaex

В ходе эксперимента выяснилось, что Dask не имеет возможности прочитать файлы HDF5 созданные через Vaex.

Неспособность второй библиотеки прочитать результаты конвертации первой может быть объяснена различиями в структуре файлов и способе их записи. Vaex использует оптимизированный формат данных HDF5, что может привести к возникновению специфических особенностей, несовместимых с Dask. Таким образом, для обе-

спечения корректной обработки данных было выполнено их повторное преобразование посредством использования функционала второй библиотеки.

Код для конвертирования данных с помощью Dask приведен на рисунке 6.

Конвертирование данных заняло 1837,88 секунд (рисунок 7).

После этого используя различные операции над данными для анализа и визуализации, проверяем производительность данных библиотек. Результаты и названия операций представлены в таблице 2.

Таблица 2. Временные затраты (второй шаг эксперимента)

Операция	Vaex, с.	Dask, с.
Конвертация из CSV в HDF5	1106,63	1837,88
Подсчет всех данных	14,07	Ошибка
Фильтрация(отбор) данных	75,19	138,09
Среднее арифметическое чисел	64,53	133,01
Отфильтрованное среднее	18,17	Ошибка
Отфильтрованный параметр по колоннам	45,97	503,49
Отфильтрованная сумма столбцов	226,08	Ошибка
Вывод 20 строк	440,22	12,55
Добавить колонну	16,65	Ошибка
Ленивая оценка	33,13	221,00
Чтение файла	156,01	5,02
Количество всех значений	120,00	Ошибка

«Ошибка» в таблице 2 означает невозможность выполнения операции, ввиду «торможения» системы и полную остановку ядра.

```
import datetime
import dask.dataframe as df

# фиксируем и выводим время старта работы кода
start = datetime.datetime.now()
ds = df.read_csv('csv_files/*.csv')
ds.to_hdf('hdf5_files_dask/analysis_03.hdf5', key='table')
# фиксируем и выводим время окончания работы кода
finish = datetime.datetime.now()
# вычитаем время старта из времени окончания
print('Время работы: ' + str(finish - start))
```

Рисунок 6. Листинг программы для конвертирования Dask

```
D:\PycharmProjects\Vaex\venv\Scripts\python.exe D:/PycharmProjects/Vaex/dask.py
Время работы: 0:30:37.881006
```

Рисунок 7. Затраченное время на конвертирование файлов Dask

Выводы

В результате проведенного исследования и сравнительного анализа библиотек Vaex и Dask при работе с данными на локальном компьютере, можно сделать следующие выводы.

Необходимость преобразования CSV в формат HDF5 [9] в Vaex может потребовать дополнительного времени, однако это может быть оправдано высокой оптимизацией и возможностью проведения интерактивного анализа на наборах данных, превышающих объем основной памяти компьютера.

Выявилась особенность преобразования файлов Vaex с использованием функции конвертирования. Файлы, преобразованные подобным образом, могут использоваться только с Vaex; попытка их чтения с помощью Dask приводит к возникновению ошибки формата, источником которой может являться использование оптимизированного варианта HDF5 в Vaex.

Dask работает медленнее на локальной машине по сравнению с первой библиотекой, но остается более эффективным решением для вычислительных кластеров. Также стоит отметить, что Dask основан на библиотеке Pandas [12, 13]; это позволяет ему интегрироваться с другими популярными Python-библиотеками, такими как Scikit-learn, NumPy и Scipy, значительно облегчая тем самым анализ данных, процесс машинного обучения и проверку статистических гипотез [10, 14].

Таким образом, выбор между Vaex и Dask зависит от конкретных задач и условий использования: Vaex может быть более предпочтителен при работе с большими объемами данных на одной машине, в то время как Dask может иметь приоритет при использовании вычислительных кластеров. Следовательно, можно утверждать, что проверяемая гипотеза является истинной.

Литература

1. What is Vaex? URL: <https://vaex.readthedocs.io/en/latest/index.html> (дата обращения: 15.04.2024).
2. Dask – Dask documentation. URL: <https://docs.dask.org/en/stable/> (дата обращения: 15.04.2024).
3. GitHub – dask/dask: Parallel computing with task scheduling. URL: <https://github.com/dask/dask> (дата обращения: 16.04.2024).
4. NumPy. URL: <https://numpy.org/> (дата обращения: 16.04.2024).
5. GitHub – vaexio/vaex. URL: <https://github.com/vaexio/vaex> (дата обращения: 17.04.2024).
6. Dask vs Vaex – a qualitative comparison. URL: <https://vaex.io/blog/dask-vs-vaex-a-qualitative-comparison> (дата обращения: 17.04.2024).
7. Как использовать HDF5-файлы в Python. URL: <https://habr.com/ru/companies/otus/articles/416309/> (дата обращения: 17.04.2024).
8. 52 датасета для тренировочных проектов. URL: <https://habr.com/ru/companies/edison/articles/480408/> (дата обращения: 18.04.2024).
9. Vaex и Dask: когда Pandas не может обработать большие данные. URL: <https://python-school.ru/blog/analiz-dannyh/vaex-vs-dask/> (дата обращения: 18.04.2024).
10. Использование библиотеки Vaex для обработки больших объемов данных. URL: <https://newtechaudit.ru/ispolzovanie-biblioteki-vaex-dlya-obrabotki-bolshih-obyomov-dannyh/> (дата обращения: 19.04.2024).
11. Анализ данных с использованием библиотеки Dask. URL: <https://habr.com/ru/companies/otus/articles/759552/> (дата обращения: 19.04.2024).
12. Груздев А.В., Хейдт М. Изучаем pandas / пер. с англ. А.В. Груздева. М.: ДМК, 2019. 682 с.
13. Уэс М. Python и анализ данных. Первичная обработка данных с применением pandas, Numpy и Jupiter / пер. с англ. А.А. Слинкина, 3-е изд. М.: ДМК, 536 с.
14. Васильев Ю.А. Python для data science. СПб.: Питер, 272 с.

Получено 23.04. 2024

Пальмов Сергей Вадимович, к.т.н., доцент, доцент кафедры информационных систем и технологий (ИСТ) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). 443090, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, 77; доцент кафедры информационных технологий Самарского государственного технического университета. 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244. Тел. +7 927 706-61-21. E-mail: s.palmov@psuti.ru

Шаталов Никита Владимирович, студент кафедры ИСТ ПГУТИ. 443090, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, 77. Тел. +7 999 170-27-28. E-mail: nickit.schatalow@yandex.ru

PERFORMANCE COMPARISON OF THE VAEX AND DASK LIBRARIES

Palmov S.V.^{1,2}, Shatalov N.V.¹

¹*Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation*

²*Samara State Technical University, Samara, Russian Federation*

E-mail: s.palmov@psuti.ru, nickit.schatalow@yandex.ru

The purpose of the study was to compare the performance of the Vaex and Dask libraries, designed to enhance data processing efficiency. In this regard, experiments involving the assessment of time consumption for various classes of operations were conducted. The research included dataset preparation, data sampling, environment configuration execution, installation and setup of the aforementioned modules, Python script development, performance testing and subsequent analysis of the results obtained. It was observed that Vaex exhibits high performance when processing large datasets comprising of million objects on a single local machine; Dask's metrics performance is inferior to the former library. This fact indicates that Vaex is a more efficient tool for processing large datasets under conditions similar to those used in this study. The results and conclusions of the study emphasize the importance of choosing the optimal library when processing large volumes of data, and also confirm the advantages of the Vaex library in this context.

Keywords: *Vaex, Dask, Python, big data, data processing*

DOI: 10.18469/ikt.2024.22.1.12

Palmov Sergey Vadimovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moscovskoye shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Associated Professor of Information

Systems and Technologies Department, PhD in Technical Science. Samara State Technical University, 244, Molodogvardeyskaya Street, Samara, 443100, Russian Federation; Associated Professor of Technologies Department. Tel. +7 927 706-61-21. E-mail: s.palmov@psuti.ru

Shatalov Nikita Vladimirovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moscovskoye shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Student of Information Systems and Technologies Department. Tel. +7 999 170-27-28. E-mail: nickit.schatalow@yandex.ru

References

1. What is Vaex? URL: <https://vaex.readthedocs.io/en/latest/index.html> (accessed: 15.04.2024).
2. Dask – Dask documentation. URL: <https://docs.dask.org/en/stable/> (accessed: 15.04.2024).
3. GitHub – dask/dask: Parallel computing with task scheduling. URL: <https://github.com/dask/dask> (accessed: 16.04.2024).
4. NumPy. URL: <https://numpy.org/> (accessed: 16.04.2024).
5. GitHub – vaexio/vaex. URL: <https://github.com/vaexio/vaex> (accessed: 17.04.2024).
6. Dask vs Vaex – a qualitative comparison. URL: <https://vaex.io/blog/dask-vs-vaex-a-qualitative-comparison> (accessed: 17.04.2024).
7. How to use HDF5 files in Pytho. URL: <https://habr.com/ru/companies/otus/articles/416309/> (accessed: 17.04.2024). (In Russ.)
8. 52 datasets for training projects. URL: <https://habr.com/ru/companies/edison/articles/480408/> (accessed: 18.04.2024). (In Russ.)
9. Vaex and Dask: when Pandas cannot process big data. URL: <https://python-school.ru/blog/analiz-dannyh/vaex-vs-dask/> (accessed: 18.04.2024). (In Russ.)
10. Using the Vaex library for processing large amounts of data. URL: <https://newtechaudit.ru/ispolzovanie-biblioteki-vaex-dlya-obrabotki-bolshih-obyomov-dannyh/> (accessed: 19.04.2024). (In Russ.)
11. Data analysis using the Dask library. URL: <https://habr.com/ru/companies/otus/articles/759552/> (accessed: 19.04.2024). (In Russ.)
12. Gruzdev A.V., Heidt M. *Studying Pandas*. Transl. From English by A.V. Gruzdev. Moscow: DMK, 2019, 682 p. (In Russ.)
13. Ues M. *Python and Data Analysis. Primary Data Processing Using Pandas, Numpy and Jupiter*. Transl. From English by A.A. Slinkin. 3rd ed. Moscow: DMK, 536 p. (In Russ.)
14. Vasiliev Yu.A. *Python for Data Science*. Saint Petersburg: Piter, 272 p. (In Russ.)

Received 23.04.2024

УДК 004.89

РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТА ОБРАБОТКИ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНОЙ ЗАДАЧИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ИЗ ТЕКСТА

Захарова О.И., Бедняк С.Г.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: o.zaharova@psuti.ru

Текстовая аналитика используется для изучения текстового содержимого и получения новых переменных из не-обработанного текста, которые можно использовать в качестве входных данных для моделей прогнозирования или других статистических методов, в том числе при решении фундаментальных задач. Цель исследования: проанализировать алгоритмы машинного обучения, практические наработки в этой области и разработать интегрируемый программный инструмент обработки текста, используя структуру алгоритма, на основе библиотек BasicStats, ReadabilityStats, SovChLit, позволяющий извлекать статистику из текстов большого объема на русском языке. Реализован метод извлечения статистических данных из необработанных текстов больших объемов на основе машинного обучения и обработки естественного языка на языке Python, с возможностью встраивания в другие проекты. Разработан программный инструмент, использующий функционал адаптированной для русского языка

библиотеки `textacy`, который позволяет работать как с текстами, так и с Дос-объектами, подготовленными с помощью библиотеки `sraCy`. Для проведения исследования были задействованы реальные текстовые данные, собранные с информационно-новостного портала по Самарской области «63.ru» (в рамках реализации концептуального проекта «Ферма данных» научно-исследовательской лаборатории искусственного интеллекта). Разработанный программный инструмент извлечения статистических данных из текста позволяет анализировать большие объемы текстовых данных и извлекать из них полезную информацию. Его можно интегрировать в другие программные решения, как один из связующих модулей в цепи оптимизации кода для программ по обработке текстовых данных.

Ключевые слова: *Natural Language Processing, алгоритм обработки естественного языка, обработка текста, извлечение статистических данных, машинное обучение, Python*

Введение

Обработка текстов на естественном языке (Natural Language Processing, NLP) – наиболее заметно развивающееся направление, за которым стоит несколько десятков лет фундаментальных исследований и плодотворной работы в области лингвистики, математики и информатики. Термин относят к области искусственного интеллекта, в основе идеи лежит процесс интерпретации и преобразования необработанного письменного текста в форму, понятную машине [1; 2].

NLP в последнее время активно применяется в повседневной жизни человека и становится все более важным направлением по мере того, как языковые технологии используются в различных областях. Яркими примерами разработок на основе NLP, с которыми многие сталкиваются в повседневной жизни, являются голосовые системы GPS, цифровые помощники и т.д. Но NLP также играет все более важную роль в корпоративных решениях, помогающих упростить бизнес-операции, повысить производительность сотрудников и упростить критически важные бизнес-процессы.

Актуальность NLP и развитие одного из важнейших ее этапов, семантического анализа [3], подтверждается тем, что ряд мировых компаний создают собственные экосистемы и сервисы анализа текста. Стоит отметить и ряд опубликованных российских проектов [4; 5]:

- языковая модель RuBERT от DeepPavlov [21; 22];
- бенчмарк для русского языка RussianSuperGlue.

Кроме того, такие LLM (Large Language Model) как ChatGPT, подчеркивают важность и своевременность проводимых исследований и программных разработок в данной области [6].

Применение рассматриваемых методов и технологий для решения прикладных задач в области NLP [23], в том числе извлечение статистических показателей по текстовым данным, может быть использовано в программных разработках по обработке текстов. Например, их можно применять в анализе тональности текста [12; 13; 16; 17], определении частоты использования определенных

слов или фраз, выявлении ключевых тем или идей, представленных в тексте, а также многими другими способами [14; 15]. Ряд таких проектов реализуется на базе научно-исследовательской лаборатории искусственного интеллекта (НИЛ ИИ) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Статистические показатели, собираемые разрабатываемым инструментом, будут применяться при работе с большими объемами текста, такими как новостные, научные статьи и социальные медиа-посты. Они позволяют быстро получить представление о содержании текста и выделить наиболее важные аспекты.

В связи с этим актуальной является задача по программной реализации алгоритма, реализующего описываемые функциональные возможности, особенно на основе русскоязычных текстов, за счет использования современных библиотек. В рамках разработки программного инструмента на основе рассматриваемого алгоритма была взята за основу библиотека `textacy` (библиотека Python для выполнения различных задач NLP, построенная на высокопроизводительной библиотеке `sraCy`).

В свою очередь, `sraCy` – это библиотека для расширенной обработки в Python и Cython. Она основана на самых последних исследованиях и с самого начала разрабатывалась для использования в реальных продуктах. `SraCy` предлагает предварительно обученные конвейеры, которые позволяют работать с текстом на более чем 60 языках. `SraCy` также поддерживает многозадачное обучение с использованием предварительно обученных преобразователей, таких как BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers).

Алгоритм извлечения статистических данных из текстов

Как уже говорилось выше – процесс обработки естественного языка [19] состоит из двух основных этапов: понимания естественного языка и генерации естественного языка.

NLU (Natural Language Understanding) пытается понять смысл данного текста. Характер и структура каждого слова внутри текста должны быть из-

вестны для NLU. Для понимания структуры NLU пытаются разрешить следующую двусмысленность, присутствующую в естественном языке [7]:

- лексическая неоднозначность;
- синтаксическая неоднозначность;
- семантическая неоднозначность [11];
- анафорическая двусмысленность.

Затем смысл каждого слова понимается с помощью лексикона (лексики) и набора грамматических правил.

NLG (Natural Language Generation) – это процесс автоматического создания текстовых данных из структурированных данных в удобочитаемом формате со значимыми фразами и предложениями [1; 2]. С проблемой генерации естественного языка трудно справиться. Процесс реализации чаще всего включает в себя три этапа:

- планирование текста – выполняется упорядочение основного контента в структурированные данные;
- планирование предложений. Предложения объединяются со структурированными данными для представления потока информации;
- реализация. В конечном итоге для представления текста создаются грамматически правильные предложения.

В ходе нашей работы мы использовали несколько методов для разработки алгоритма по обработке текста:

1. Простейшие метрики [8].

Обработка естественного языка обычно означает обработку текста или текстовой информации (аудио, видео). Важным этапом в этом процессе является преобразование разных слов и словоформ в одну речевую форму. Кроме того, часто нужно измерить, насколько похожи или различны строки. Обычно в этом случае используем различные метрики, показывающие разницу между словами.

Одной из простых и в то же время широко используемых метрик является расстояние редактирования – алгоритм оценки схожести двух строковых значений (слово, форма слова, состав слова), путем сравнения минимального количества операций по преобразованию одного значения в другое.

2. Векторизация [8].

Векторизация – это процедура преобразования слов (текстовой информации) в цифры для извлечения текстовых атрибутов (признаков) и дальнейшего использования алгоритмов машинного обучения (NLP). Другими словами, векторизация текста представляет собой преобразование текста в числовые векторы.

Была подготовлена схема поэтапного выполнения блоков алгоритма (рисунок 1), использую-

щего библиотеки, в работе по процессу извлечения объектов выстроенного алгоритма [18].

Более полно рассмотренную схему взаимодействия было решено реализовать по основным этапам обработки текстовых данных в формате схематичного алгоритма на языке Python для решения прикладной задачи (рисунок 2).

В качестве основного инструмента для решения рассмотренных задач был выбран язык Python, среда разработки Google Colab и набор инструментов для обработки естественного языка Natural Language Toolkit (NLTK).

NLTK – это платформа для создания проектов Python, популярная благодаря своим массивным корпусам, обилию библиотек и подробной документации [7].



Рисунок 1. Основные этапы обработки текста, реализованные в разрабатываемом алгоритме

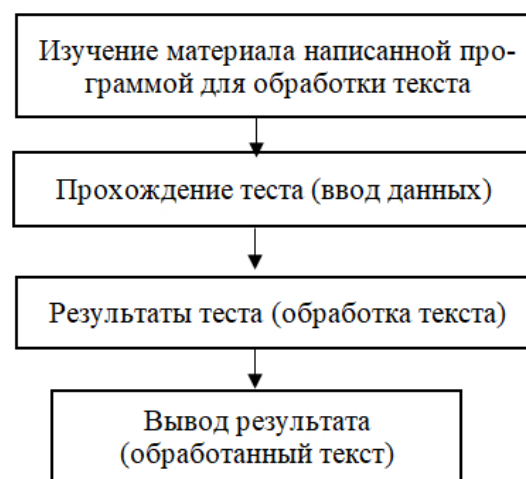


Рисунок 2. Этапы обработки текста для извлечения статистических данных

Google Colab представляет собой бесплатный онлайн-сервис для работы с машинным обучением и анализа данных, предлагаемый корпорацией Google, и предоставляет пользователям доступ к мощным вычислительным ресурсам, таким как GPU-ускорение (графические ускорители) и TPU (тензорные процессоры), что позволяет ускорить процесс обработки текстовых данных и обеспе-

чивает получение более точных результатов. Это делает его идеальным инструментом для разработки и тестирования новых алгоритмов и методов обработки текстовых данных.

Исходя из разработанной схемы поэтапного выполнения модулей программного инструмента (рисунок 1), использующего библиотеки в работе по процессу извлечения объектов [20] выстроенного алгоритма, была реализована программа, написанная на языке Python.

Процесс извлечения объектов в рамках реализации алгоритма работы метода NLP для сбора статистики из текстов

Для проведения исследования были задействованы реальные данные, собранные с информационно-новостного портала по Самарской области «<https://63.ru/>» в рамках реализации концептуального проекта «Ферма данных» НИЛ ИИ ПГУТИ, где ежедневно публикуются новости, обсуждаются проблемы региона и сообщается о происшествиях. Собранная структура данных представлена на рисунке 3.

Вид собираемых данных в формате полнотекстовых записей (тексты статей), а также комментариев для этих тестов, для дальнейшей обработки разрабатываемым инструментом наглядно

показывают их неоднородность и различную тематическую направленность (рисунок 4).

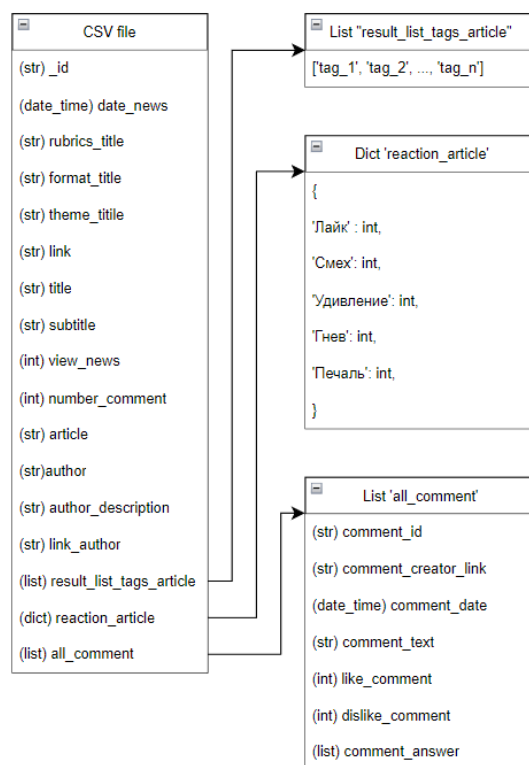


Рисунок 3. Структура данных, полученных с портала «<https://63.ru/>»

Полные статьи

```
[3]: text_1 = df_1['article'][0]
      print(text_1)
```

В «Трамвайно-троллейбусном управлении» Самара придумали, как модернизировать старые трамваи. Предприятие планирует начать реализацию программы капитально-восстановительного ремонта. Об этом в интервью 63.RU рассказал директор ТТУ Михаил Ефремов. – Что она из себя представляет? «Татру» разбирают до железного «скелета», на который «навешивают» новую проводку, стекло, кресла. Это позволяет продлить срок службы трамвая, чтобы он смог проехать еще 300 тысяч километров. И сейчас этот вопрос мы прорабатываем вместе с департаментом транспорта. Уже нашли компанию в Екатеринбурге, которая занимается модернизацией трамваев. Они сотрудничают с местным горэлектротранспортом. Правда, их специалисты работали с другими вагонами от другого производителя. Но мы уверены, что и с «Татрами» справятся. Ожидаем, что к концу осени у нас уже появится первый модернизированный трамвай, – пояснил Михаил Ефремов. Такая модернизация – тоже удовольствие не из дешевых. По предварительным подсчетам, один вагон обойдется в 19 миллионов рублей. Но если всё пойдет по плану, то реализация программы начнется уже в этом году. По сути, это будет новый трамвай, с современной системой безопасности, кондиционирования, мягкими сиденьями. Можно даже поменять внешний вид трамвая. – Предполагается, что модернизация станет совместным проектом с участием Северного и Городского трамвайного депо и коллег из Екатеринбурга. Если всё получится, то будет польза и предприятию, и всему городу. Можно будет по 20 трамваев в год ремонтировать. Это хорошая цифра, колоссальный объем, – резюмировал директор ТТУ. Он уточнил, что если программа будет длиться минимум 5 лет, то получилось бы отремонтировать 100 трамваев.

```
[4]: text_2 = df_1['article'][1]
      print(text_2)
```

Бездомные псы, на первый взгляд, бывают милыми. Но от них можно ожидать всего, чего угодно В Кошкинский районный суд подали иск о взыскании морального и материального вреда с владелицы собаки. Об этом рассказали в прокуратуре Самарской области. Собака напала на 13-летнего мальчика в феврале 2022 года. Пес укусил подростка за кисть руки. Мальчику сделали цикл уколов от бешенства. Семья мальчика потратила деньги на лекарства, а сам он испытал нравственные страдания. – Прокуратура во время проверки выяснила, что нападение собаки на ребенка случилось по вине собственника животного – жительницы села Русская Васильевка, – говорится в сообщении облпрокуратуры. Теперь с собственницы пса требуют компенсацию в 100 000 рублей. Нападение собак на людей, к сожалению, очень часто встречающееся явление в Самарской области. Недавно стая собак набросилась на двух школьников в Новокуйбышевске. Одной из девочек пес прокусил бёдро. Еще один случай произошел в Самаре: здесь бездомные собаки напали на мальчика. Самую оперативную информацию о жизни Самары и области мы публикуем в нашем телеграм-канале 63.RU. А в нашей группе во «ВКонтакте» вы можете предложить свои новости, истории, фотографии и видео.

```
[5]: text_3 = df_1['article'][10]
      print(text_3)
```

Помните, как лет 20–30 назад бразильские сериалы заполнили телеканалы? Каждый вечер мы стремились к экранам, чтобы вникать в увлекательные перипетии загадочной латиноамериканской жизни. Мы решили вернуть вам эти беззаботные времена, а заодно проверить, насколько хорошо вы помните всё, что смотрели. Справятся только те, кто смотрел «Клон» – но его одного, конечно же, не хватит!

Рисунок 4. Вид собираемых данных в формате полнотекстовых записей

При этом для решения ряда фундаментальных и практических задач и сбора дополнительных статистических данных, используемых в различных математических моделях по проектам лаборатории, возникла необходимость разработки готового интегрируемого инструмента извлечения статистических данных из необработанных текстов.

В результате проведенного анализа предметной области, тестирования наработок в этом отношении, а также современных средств машинного обучения, был разработан программный инструмент, основанный на описываемом выше функционале рассматриваемой библиотеки `textary` [7; 9].

Ниже приведен фрагмент кода, реализующий данный алгоритм:

```
import re
from nltk.corpus import stopwords
from ruts import SentsExtractor, WordsExtractor
import nltk
nltk.download('stopwords')
text = «Каждый день, каждый вечер, я выходил
на улицу. Улица была тихая, улица была спокой-
ная. Шаг за шагом, шаг за шагом, я шел вперед.
Вдыхая свежий воздух, вдыхая ароматы весны. С
каждым шагом, с каждым вдохом, я чувствовал
себя свободным.»
se = SentsExtractor(tokenizer=re.compile(r', '))
se.extract(text)
we = WordsExtractor(use_lexemes=True,
stopwords=stopwords.words('russian'), filter_
nums=True, ngram_range=(1, 2))
we.extract(text)
we.get_most_common(3)
```

На рисунке 5 представлен результат работы алгоритма, использующего данную библиотеку.

```
[nltk_data] Downloading package stopwords to /root/nltk_data...
[nltk_data] Package stopwords is already up-to-date!
[('шаг', 5), ('каждый', 4), ('улица', 3)]
```

Рисунок 5. Результат работы алгоритма по обнаружению повторяющихся слов

Библиотека `BasicStats`, также применявшаяся в разработке программного инструмента, позволяет извлекать из текста различные статистические показатели.

Python statistics – это внутренняя библиотека Python для описательной статистики. Ниже приведен фрагмент кода, реализующий алгоритм описательной статистики:

```
from ruts import BasicStats
text = «Он смотрел вдаль, словно ища что-то,
что ускользнуло из его памяти, но так и не на-
шел.»
bs = BasicStats(text)
bs.get_stats()
```

`bs.print_stats()`

На рисунке 6 представлен результат работы библиотеки `BasicStats`.

Статистика	Значение
Предложения	1
Слова	16
Уникальные слова	16
Длинные слова	5
Сложные слова	1
Простые слова	15
Односложные слова	8
Многосложные слова	8
Символы	86
Буквы	66
Пробелы	15
Слоги	27
Знаки препинания	5

Рисунок 6. Вывод результата с использованием библиотеки `BasicStats`

Примененная библиотека `ReadabilityStats` в разработанном программном инструменте (рисунок 6) предоставляет возможность вычисления метрик для текстовых данных.

Коэффициенты метрик для русского языка были взяты из работы исследователей проекта Plain Russian Language [10], которые получили их на основе специально подобранных текстов с предварительными возрастными пометками.

Ниже приведем фрагмент кода программного средства, реализующий алгоритм обработки текста по метрикам:

```
from ruts import ReadabilityStats
text = «После заката, когда небо окуталось
сумерками, он отправлялся на прогулку, вдыхая
свежий воздух и наслаждаясь тишиной и спокой-
ствием окружающего мира.»
rs = ReadabilityStats(text)
rs.get_stats()
rs.print_stats()
```

После запуска кода с использованием библиотеки `ReadabilityStats` видим результат обработки текста по метрикам на рисунке 7, которые были описаны ранее.

Метрика	Значение
Тест Флеша-Кинкайда	12.92
Индекс удобочитаемости Флеша	18.56
Индекс Колман-Лиау	12.57
Индекс SMOG	21.71
Автоматический индекс удобочитаемости	14.01
Индекс удобочитаемости LIX	80.00

Рисунок 7. Вывод результата использования библиотеки `ReadabilityStats` в работе структуры алгоритма

Библиотека SovChLi, применяемая в алгоритме (рисунок 8), обеспечивает возможность работы с несколькими предварительно обработанными текстовыми наборами данных.

Далее приведем фрагмент кода с использованием данной библиотеки на практике:

```
from ruts.datasets import SovChLit
svc = SovChLit()
svc.download()
sc = SovChLit()
sc.info
for i in sc.get_records(max_len=100,
category='Лето', limit=1):
    print(i)
for i in sc.get_texts(text_type='Рассказ',
limit=1):
    print(i)
```

Таблица 1. Перечень библиотек, реализованных в разработанном программном инструменте

	Основная работа библиотеки
BasicStats	Вычисляет обзор основных статистических значений
ReadabilityStats	Для вычисления основных метрик удобочитаемости текста. В качестве источника данных может использоваться как непосредственно текст, так и объект класса Doc библиотеки spaCy
SovChLit	Выполняет загрузку набора данных из сети и извлечение файлов

В таблице 1 сформулирован основной функционал применяемых в разработанном программном средстве и описанных выше библиотек.

Заключение

Анализ существующих наработок в области обработки текстовых данных, в частности на базе русскоязычных текстов, показал, что обработка текстовых данных – это сложная задача, требующая большого объема данных и вычислительных ресурсов. Кроме того, результаты могут быть не всегда точными, особенно если тексты содержат неоднозначности или сложные кон-

струкции. В рамках реализации ряда проектов на базе лаборатории искусственного интеллекта извлечение статистических данных из необработанных текстов является важным инструментом для анализа больших объемов информации и может быть использовано в различных областях для решения фундаментальных задач и применения этих данных в качестве параметров при математическом моделировании, что создает необходимость разработки интегрируемого в такие проекты программного инструмента.

Разработан программный инструмент, основанный на алгоритме извлечения статистических данных из текстов. Для этого была написана программа на языке Python, использующая библиотеки обработки текста NLTK и SpaCy, а ее работоспособность протестирована в среде Google Colab на различных тематиках текстов, собираемых в рамках текущих проектов НИЛ ИИ ПГУТИ.

Разработанное программное средство позволяет осуществлять извлечение объектов, подсчет базовой статистики, показателей удобочитаемости и метрики лексического разнообразия текстовыми данными в процессе сбора и обработки текстовых данных.

Проведенное исследование позволяет обозначить контуры дальнейшего направления работы с большими массивами текстов. В соответствии с проведенной работой по исследованию тематики обработки естественного языка, разработке соответствующего программного инструмента на основе машинного обучения для такой обработки и демонстрации его работы на примерах по извлечению статистики из текстовых данных, собираемых в проектах лаборатории, можно сделать вывод о практической значимости предложенного решения, связанной с его возможным применением, как одного из связующих звеньев в цепи оптимизации кода для программ по обработке текстов. Таким образом, можно выделить возможные точки роста и новые направления исследований.

```
Файл /usr/local/lib/python3.10/dist-packages/ruts_data/texts/sov_chrest_lit.tar.xz уже загружен
('В саду у Мичурина даже рябина стала хорошим плодовым деревом: ягоды на ней '
'родились крупные, сочные и сладкие. А низенькие вишнёвые деревья летом были '
'густо обсыпаны ягодами. На яблонях висели душистые, румяные яблоки, да такие '
'крупные, что одно яблоко едва держишь в руках.\n'
'Мичурин много и упорно работал. Советская власть помогала ему в работе.\n'
'Мичурин вырастил новые, чудесные сорта яблонь, груш, вишен и винограда. '
'Теперь во всех колхозных садах растут мичуринские сорта яблонь и груш, слив '
'и вишен.')'
```

Рисунок 8. Использование библиотеки SovChLit в работе алгоритма

Благодарность

Авторы выражают благодарность профессору, к.ф.-м.н., заведующему НИЛ ИИ ПГУТИ, Левашкину Сергею Павловичу за помощь в подготовке статьи и ценные комментарии.

Литература

1. Захарова О.И. Разработка системы анализа и обработки текстовых данных // Проблемы техники и технологий телекоммуникаций (ПТиТТ-2023): материалы XXV Международной научно-технической конференции. Казань: КНИТУ-КАИ, 2023. С. 261–262.
2. Кулешов С.В., Зайцева А.А., Левашкин С.П. Технологии и принципы сбора и обработки неструктурированных распределенных данных с учетом современных особенностей предоставления медиа-контента // Информатизация и связь. 2020. № 5. С. 22–28. DOI: 10.34219/2078-8320-2020-11-5-22-28
3. Захарова О.И. Семантический анализ и синтез текстовых данных. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2023. № 4. С. 182–208. DOI: 10.17308/sait/1995-5499/2023/4/182-208
4. Smetanin S., Komarov M. Deep transfer learning baselines for sentiment analysis in Russian // Information Processing & Management. 2021. Vol. 58, no. 3. P. 102484. DOI:10.1016/j.ipm.2020.102484. URL: <https://www.sci-hub.ru/10.1016/j.ipm.2020.102484> (дата обращения: 28.06.2024).
5. Шаврина Т.О. О методах компьютерной лингвистики в оценке систем искусственного интеллекта // Вопросы языкознания. 2021. № 6. С. 117–138. DOI: 10.31857/0373-658X.2021.6.117-138
6. Лещинская Н.М., Колесник М.А. Внедрение технологий искусственного интеллекта в России // Социология искусственного интеллекта. 2023. Т. 4, № 2. С. 63–72.
7. Comparing automated text classification methods / J. Hartmann [et al.] // International Journals of Research Marketing. 2019. Vol. 36, no. 1. P. 20–36. DOI:10.1016/j.ijresmar.2018.09.009. URL: <https://www.sci-hub.ru/10.1016/j.ijresmar.2018.09.009> (дата обращения: 20.07.2024).
8. A robustly optimized BERT pretraining approach / Y. Liu [et al.]. URL: <https://arxiv.org/pdf/1907.11692.pdf> (дата обращения: 28.07.2024).
9. Захарова О.И., Левашкин С.П., Иванов К.Н. Современные библиотеки Python для сбора данных из интернета // Проблемы техники и технологий телекоммуникаций (ПТиТТ-2020): материалы XXII Международной научно-технической конференции. Самара: ПГУТИ, 2020. С. 316–317.
10. A novel machine learning approach for scene text extraction / G.J. Ansari [et al.] // Future Generation Computer Systems. 2018. Vol. 87. P. 328–340. DOI: 10.1016/J.FUTURE.2018.04.074
11. Towards perfect text classification with Wikipedia-based semantic Naïve Bayes learning / H. Kim [et al.] // Neurocomputing. 2018. Vol. 315. P. 128–134. DOI: 10.1016/J.NEUCOM.2018.07.002
12. Deep learning for affective computing: Text-based emotion recognition in decision support / B. Kratzwald [et al.] // Decision Support Systems. 2018. Vol. 115. P. 24–35. DOI: 10.1016/J.DSS.2018.09.002
13. Web opinion mining and sentimental analysis / E.M. Taylor [et al.] // Advanced Techniques in Web Intelligence-2. P. 105–126. DOI: 10.1007/978-3-642-33326-2_5
14. A hybrid model of sentimental entity recognition on mobile social media / Z. Wang [et al.] // EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. DOI: 10.1186/s13638-016-0745-7. URL: <https://sci-hub.ru/10.1186/s13638-016-0745-7> (дата обращения: 25.08.2024).
15. Altinel B., Ganiz M.C. Semantic text classification: A survey of past and recent advances // Information Processing & Management. 2018. Vol. 54, no. 6. P. 1129–1153. DOI: 10.1016/J.IPM.2018.08.001
16. Understanding emotions in text using deep learning and big data / A. Chatterjee [et al.] // Computers in Human Behavior. 2019. Vol. 93. P. 309–317. DOI: 10.1016/J.CHB.2018.12.029
17. Sentiment analysis of tweet data / S.M. Mazharul [et al.] // Hoque Chowdhury. URL: https://www.researchgate.net/publication/324965434_SENTIMENT_ANALYSIS_OF_TWEET_DATA (дата обращения: 27.4.2024).
18. A brief survey of text mining: classification, clustering and extraction techniques / M. Allahyari [et al.]. URL: https://www.researchgate.net/publication/318336890_A_Brief_Survey_of_Text_Mining_Classification_Clustering_and_Extraction_Techniques (дата обращения: 30.08.2024).
19. A survey on recent approaches for natural language processing in low-resource scenarios / M.A. Hedderich [et al.] // Proceedings of the 2021 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies. 2021. P. 2545–2568.

20. Popovski G., Seljak B.K., Eftimov T. A survey of named-entity recognition methods for food information extraction // IEEE Access. 2020. Vol. 8. P. 31586–31594. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2973502
21. Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding / J. Devlin [et al.]. URL: <https://arxiv.org/pdf/1810.04805> (дата обращения: 29.08.2024).
22. Spanish pre-trained BERT model and evaluation data / J. Canete [et al.] // Accepted as a workshop paper at PML4DC (ICLR). URL: https://www.researchgate.net/publication/372962444_Spanish_Pre-trained_BERT_Model_and_Evaluation_Data (дата обращения: 20.08.2024).
23. Иванов К.Н., Захарова О.И. Обработка естественного языка. Применение языковых моделей // Актуальные проблемы информатики, радиотехники и связи: материалы XXX Российской научно-технической конференции. Самара: ПГУТИ, 2023. С. 155–156.

Получено 05.08.2024

Захарова Оксана Игоревна, к.т.н., доцент, доцент кафедры информационных систем и технологий (ИСТ), заместитель заведующего научно-исследовательской лабораторией искусственного интеллекта (НИЛ ИИ) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). 443090, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, 77. Тел. +7 906 343-25-21. E-mail: o.zaharova@psuti.ru

Бедняк Светлана Геннадьевна, к.п.н., доцент, доцент кафедры ИСТ ПГУТИ. 443090, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, 77. Тел. +7 903 308-29-88. E-mail: s.bednyak@psuti.ru

DEVELOPMENT OF A NATURAL LANGUAGE PROCESSING TOOL FOR SOLVING THE APPLICATION PROBLEM OF EXTRACTING STATISTICAL DATA FROM TEXT

Zakharova O.I., Bednyak S.G.

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation

E-mail: o.zaharova@psuti.ru

Text analytics is used to explore textual content and obtain new variables from raw text, which can be used as input data for forecasting models or other statistical methods, including for solving fundamental problems. The purpose of the research: to analyze machine learning algorithms, practical developments in this field and to develop an integrated software instrument for text processing, using the structure of the algorithm, based on the BasicStats, ReadabilityStats, SovChLit libraries, allowing to extract statistics from raw texts of large volumes in Russian. A method of extracting statistical data from raw texts of large volumes based on machine learning and natural language processing in Python has been implemented, with the possibility of embedding it into other projects. A software instrument that use the functionality of textary library adapted for Russian language was developed, which allows to work with both texts and Doc-objects generated with spaCY library. The study was conducted using real text data collected from the information and news portal for the Samara region «63.ru» (in the context of the implementation of the conceptual project «Data Farm» by the artificial intelligence research laboratory). The developed software for extracting statistical data from text allows analyzing large volumes of text data and extracting useful information from them. It can be integrated into other software solutions as one of the linking modules in the of code optimization chain for text data processing programs.

Keywords: *Natural Language Processing, natural language processing algorithm, text processing, statistical extraction, machine learning, Python*

DOI: 10.18469/ikt.2024.22.1.13

Zakharova Oksana Igorevna, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moscovskoye shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Associated Professor of Information Systems and Technologies Department, Deputy Head of the Research Laboratory of Artificial Intelligence, PhD in Technical Science. Tel. +7 906 343-25-21. E-mail: o.zaharova@psuti.ru

Bednyak Svetlana Gennadiyevna, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moscovskoye shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Associated Professor of Information Systems and Technologies Department, PhD in Pedagogical Sciences. Tel. +7 903 308-29-88. E-mail: s.bednyak@psuti.ru

References

1. Zakharova O.I. Development of a system for analysis and processing of text data. *Problemy tekhniki i tekhnologiy telekommunikacij (PTiTT-2023): materialy XXV Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii*. Kazan': KNITU-KAI, 2023, pp. 261–262. (In Russ.)
2. Kuleshov S.V., Zaitseva A.A., Levashkin S.P. Technologies and principles of unstructured distributed data processing in the context of modern media content providing. *Informatizatsiya i svyaz'*, 2020, no. 5. pp. 22–28. DOI: 10.34219/2078-8320-2020-11-5-22-28 (In Russ.)
3. Zakharova O.I. Semantic analysis and synthesis of text data. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sistemnyy analiz i informacionnye tekhnologii*, 2023, no. 4, pp. 182–208. DOI: 10.17308/sait/1995-5499/2023/4/182-208 (In Russ.)
4. Smetanin S., Komarov M. Deep transfer learning baselines for sentiment analysis in Russian. *Information Processing & Management*, 2021, vol. 58, no. 3, pp. 102484. DOI:10.1016/j.ipm.2020.102484. URL: <https://www.sci-hub.ru/10.1016/j.ipm.2020.102484> (accessed: 28.06.2024).
5. Shavrina T.O. Methods of computational linguistics in the evaluation of artificial intelligence systems. *Voprosy yazykoznaniya*, 2021, no. 6, pp. 117–138. DOI: 10.31857/0373-658X.2021.6.117-138 (In Russ.)
6. Leshchinskaya N.M., Kolesnik M.A. Implementation of artificial intelligence technologies in Russia. *Sociologiya iskusstvennogo intellekta*, 2023, vol. 4, no. 2, pp. 63–72. (In Russ.)
7. Hartmann J. et al. Comparing automated text classification methods. *International Journals of Research Marketing*, 2019, vol. 36, no. 1, pp. 20–36. DOI:10.1016/j.ijresmar.2018.09.009. URL: <https://www.sci-hub.ru/10.1016/j.ijresmar.2018.09.009> (accessed: 20.07.2024).
8. Liu Y. et al. A robustly optimized BERT pretraining approach. URL: <https://arxiv.org/pdf/1907.11692.pdf> (accessed: 28.07.2024).
9. Zakharova O.I., Levashkin S.P., Ivanov K.N. Modern Python libraries for collecting data from the Internet. *Problemy tekhniki i tekhnologiy telekommunikacij (PTiTT-2020): materialy XXII Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii*, Samara: PSUTI, 2020, pp. 316–317. (In Russ.)
10. Ansari G.J. et al. A novel machine learning approach for scene text extraction. *Future Generation Computer Systems*, 2018, vol. 87, pp. 328–340. DOI: 10.1016/J.FUTURE.2018.04.074
11. Kim H. et al. Towards perfect text classification with Wikipedia-based semantic Naïve Bayes learning. *Neurocomputing*, 2018, vol. 315, pp. 128–134. DOI: 10.1016/J.NEUCOM.2018.07.002
12. Kratzwald B. et al. Deep learning for affective computing: Text-based emotion recognition in decision support. *Decision Support Systems*, 2018, vol. 115, pp. 24–35. DOI: 10.1016/J.DSS.2018.09.002
13. Taylor E.M. et al. Web opinion mining and sentimental analysis. *Advanced Techniques in Web Intelligence-2*, 2013, pp. 105–126. DOI: 10.1007/978-3-642-33326-2_5
14. Wang Z. et al. A hybrid model of sentimental entity recognition on mobile social media. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*. DOI: 10.1186/s13638-016-0745-7. URL: <https://sci-hub.ru/10.1186/s13638-016-0745-7> (accessed: 25.08.2024).
15. Altinel B., Ganiz M.C. Semantic text classification: A survey of past and recent advances. *Information Processing & Management*, 2018, vol. 54, no. 6, pp. 1129–1153. DOI: 10.1016/J.IPM.2018.08.001
16. Chatterjee A. et al. Understanding emotions in text using deep learning and big data. *Computers in Human Behavior*, 2019, vol. 93, pp. 309–317. DOI: 10.1016/J.CHB.2018.12.029

17. Mazharul S.M. et al. Sentiment analysis of tweet data. *Hoque Chowdhury*. URL: https://www.researchgate.net/publication/324965434_SENTIMENT_ANALYSIS_OF_TWEET_DATA (accessed: 27.4.2024).
18. Allahyari M. et al. A Brief Survey of Text Mining: Classification, Clustering and Extraction Techniques. URL: https://www.researchgate.net/publication/318336890_A_Brief_Survey_of_Text_Mining_Classification_Clustering_and_Extraction_Techniques (accessed: 30.08.2024).
19. Hedderich M.A. et al. A survey on recent approaches for natural language processing in low-resource scenarios. *Proceedings of the 2021 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies*, 2021, pp. 2545–2568.
20. Popovski G., Seljak B.K., Eftimov T. A survey of named-entity recognition methods for food information extraction. *IEEE Access*, 2020, vol. 8, pp. 31586–31594. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2973502
21. Devlin J. et al. Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. URL: <https://arxiv.org/pdf/1810.04805> (accessed: 29.08.2024).
22. Canete J. et al. Spanish pre-trained BERT model and evaluation data. *Accepted as a workshop paper at PML4DC (ICLR)*. URL: https://www.researchgate.net/publication/372962444_Spanish_Pre-trained_BERT_Model_and_Evaluation_Data (accessed: 20.08.2024).
23. Ivanov K.N., Zakharova O.I. Natural language processing. application of language models. *Aktual'nye problemy informatiki, radiotekhniki i svyazi: materialy XXX Rossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii*. Samara: PSUTI, 2023, pp. 155–156. (In Russ.)

Received 05.08.2024

ТЕХНОЛОГИИ РАДИОСВЯЗИ, РАДИОВЕЩАНИЯ И ТЕЛЕВИДЕНИЯ

УДК 004.89

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ В АВТОНОМНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

*Карелин Е.А., Любашенко Т.Д., Палилов М.Р., Жиглова Н.С., Пачин А.В.
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, РФ
E-mail: evgeniikarelin01@mail.ru, tima50879@gmail.com, palilovfox@gmail.com,
zhiglova.natalia@yandex.ru, pachin.andrej@bk.ru*

Развитие современных аппаратных и программных средств привело к стремительному распространению применения беспилотных аппаратов, в первую очередь летательных. Одним из перспективных направлений повышения эффективности подобных платформ является разработка для них систем автономного управления, исключающих участие человека-оператора. В статье представлены результаты исследования, целью которого является изучение возможности построения элементов автоматической системы управления движением на основе компьютерного зрения для беспилотных летательных аппаратов. Авторами использована методология сравнительного анализа для обоснования преимуществ одного из наиболее популярных инструментов – YOLO и SSD. Также выполнен сбор данных для обучения выбранной модели и ее тестирование в разных условиях. Описываются последовательность создания обучающего набора для эффективного обучения модели, а также результаты тестирования модели на видеоизображениях, полученных с камеры беспилотного летательного аппарата в различных условиях. Результаты тестирования подтверждают, что модель YOLOv8n пригодна для обнаружения объектов на борту беспилотного летательного аппарата с аппаратной платформой в виде одноплатного компьютера Raspberry Pi 4 Model B. Точность обнаружения объектов составила 80-90% при энергопотреблении 15-25 Ватт.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, компьютерное зрение, YOLO, машинное обучение, сверточная сеть, нейронная сеть, коптер, дрон

Введение

Мониторинг состояния удаленных объектов играет важную роль в повышении эффективности различных сфер человеческой деятельности. Получение точной и своевременной информации о параметрах объектов и их изменениях позволяет поддерживать объекты или производственные процессы в оптимальном состоянии. Однако постоянное присутствие человека на таких объектах может быть нежелательным или экономически нецелесообразным.

В связи с этим возникает необходимость в дистанционном, автоматическом или диспетчерском управлении и контроле. Эти методы позволяют удаленно мониторить состояние объекта, минимизируя необходимость физического присутствия человека на месте.

Однако они не всегда охватывают все возникающие ситуации, особенно те, которые требуют оперативной локализации источников проблемы.

Для проведения мониторинга с учетом обозначенных условий, целесообразно применение беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Данный подход имеет ряд неоспоримых преимуществ [6; 10]:

1. БПЛА позволяет осуществлять мониторинг объектов, находящихся на значительном расстоянии от оператора, без необходимости непосредственного присутствия человека рядом с объектом. Наблюдение можно производить при разных условиях, в том числе в труднодоступных местах.

2. Применение БПЛА позволяет сократить расходы на обследование инфраструктуры в сравнении с классическими методами с использованием персонала. Особенно это актуально в удаленных районах и в опасных средах, например, при проверке состояния нефтяных резервуаров или трубопроводов.

3. БПЛА обладают гибкостью и масштабируемостью при выполнении задач мониторинга. Они могут быть настроены для выполнения различных типов заданий, включая фото- и видеосъемку, тепловизионную съемку, измерение параметров окружающей среды и т.д. Также могут применяться в комбинации с другими технологиями, например, с использованием датчиков или систем искусственного интеллекта для анализа полученных данных.

4. БПЛА могут обеспечить быстрый сбор данных и высокую точность. Они могут осуществлять регулярные и систематические облеты, что позволяет получать актуальную информацию в режиме реального времени. Это может помочь предотвратить аварии, своевременно выявить

проблемы и повысить эффективность работы предприятий.

Таким образом, целью данной работы является изучение возможности построения элементов автоматической системы управления движением на основе компьютерного зрения для беспилотных летательных аппаратов.

В рамках достижения поставленной цели решается ряд задач:

1. Обзор существующих методов детектирования объектов с помощью автоматизированных систем на основе компьютерного зрения для применения на борту.

2. Проведение экспериментов для оценки эффективности предложенного метода детектирования.

3. Анализ результатов экспериментов.

Обзор существующих методов обнаружения объектов

На данный момент существует несколько наиболее популярных решений по распознаванию объектов в условиях ограниченного количества вычислительных мощностей: YOLO и SSD [1–4; 7–9].

YOLO (You Only Look Once) – это модель обнаружения объектов в реальном времени, разработанная Джозефом Редмоном, Сантошем Дивикантом, Россом Жирардом, Абхиджитом Сингхом и Али Голамом в 2015 году [7]. YOLO – это сверточная нейронная сеть, которая берет изображение в качестве входных данных и выводит координаты и классы обнаруженных объектов (рисунок 1). YOLO отличается от других алгоритмов тем, что использует единую сверточную сеть для обнаружения всех объектов в изображении, а не несколько сетей для обнаружения разных объектов. Это делает YOLO очень быстрой и эффективной моделью.

Архитектура YOLO состоит из двух основных частей:

1. Сеть сверточных нейронных слоев (CNN): извлекает признаки из изображения.

2. Полносвязный слой (FC): классифицирует признаки и предсказывает ограничивающие рамки объектов.

Модель разбивает изображение на сетку ячеек и предсказывает для каждой ячейки:

- класс объекта (например, человек, автомобиль, собака);
- ограничивающую рамку объекта;
- вероятность того, что в ячейке находится объект.

Преимущества YOLO [1–4; 7–9]:

1. Быстрая модель обнаружения объектов.

Версии модели (YOLOv8) могут развивать скорость обработки изображений до 160 кадров в секунду.

2. Является в достаточной степени точной моделью для решения задач автономного управления. YOLOv8 может достигать показателя mAP (mean Average Precision) 56,8% на датасете COCO.

3. Реализована в виде библиотеки с открытым исходным кодом, которую можно легко интегрировать в существующие приложения.

Недостатки:

YOLOv8 может быть менее точной для обнаружения мелких объектов, чем некоторые другие алгоритмы.

SSD (Single Shot MultiBox Detector) – это алгоритм обнаружения объектов, который использует сверточную нейронную сеть для одновременного определения местоположения и класса нескольких объектов на изображении. Он был разработан в 2015 году Вэем Лю, Дяолином Ван и Пьером Серманом [4].

SSD основан на глубокой сверточной нейронной сети VGG-16. Однако, в отличие от VGG-16, которая классифицирует целое изображение, SSD использует сверточные слои для извлечения признаков из различных частей изображения. Эти признаки затем используются для прогнозирования местоположения и класса объектов на изображении.

Преимущества SSD [1–4; 9]:

1. Может обрабатывать изображения со скоростью до 50 кадров в секунду, что делает его пригодным для использования в реальном времени.

2. Достигает точности обнаружения объектов на уровне 79,8% на наборе данных PASCAL VOC

2007, что делает его одним из самых точных алгоритмов обнаружения объектов.

3. Может обнаруживать несколько объектов на изображении одновременно. Это делает его пригодным для использования в задачах, где необходимо обнаружить несколько объектов, таких как пешеходы или автомобили.

Недостатки:

1. SSD не поддерживает столько предварительно обученных моделей, сколько поддерживает YOLOv8.

2. Трудозатраты на настройку параметров SSD для конкретных задач превышают таковые для YOLOv8.

В целом, YOLOv8 является более быстрым и точным алгоритмом, чем SSD, но имеет больший размер модели и меньше подходит для обнаружения мелких объектов. SSD, с другой стороны, имеет меньший размер модели и лучше подходит для обнаружения мелких объектов, но менее точен и надежен, чем YOLOv8.

Несмотря на то, что модель SSD обладает преимуществом в плане точности обнаружения мелких объектов в кадре, в задаче автономного управления движением БПЛА, для привязки к электронной карте планируется использовать крупные, хорошо различимые на местности объекты.

Таким образом, из представленных вариантов моделей было принято решение использовать YOLO. Это обусловлено ее преимуществом в скорости обработки данных и точности. Стоит также отметить и ее высокий уровень обеспечения пользователя документацией по использованию и простоту применения.

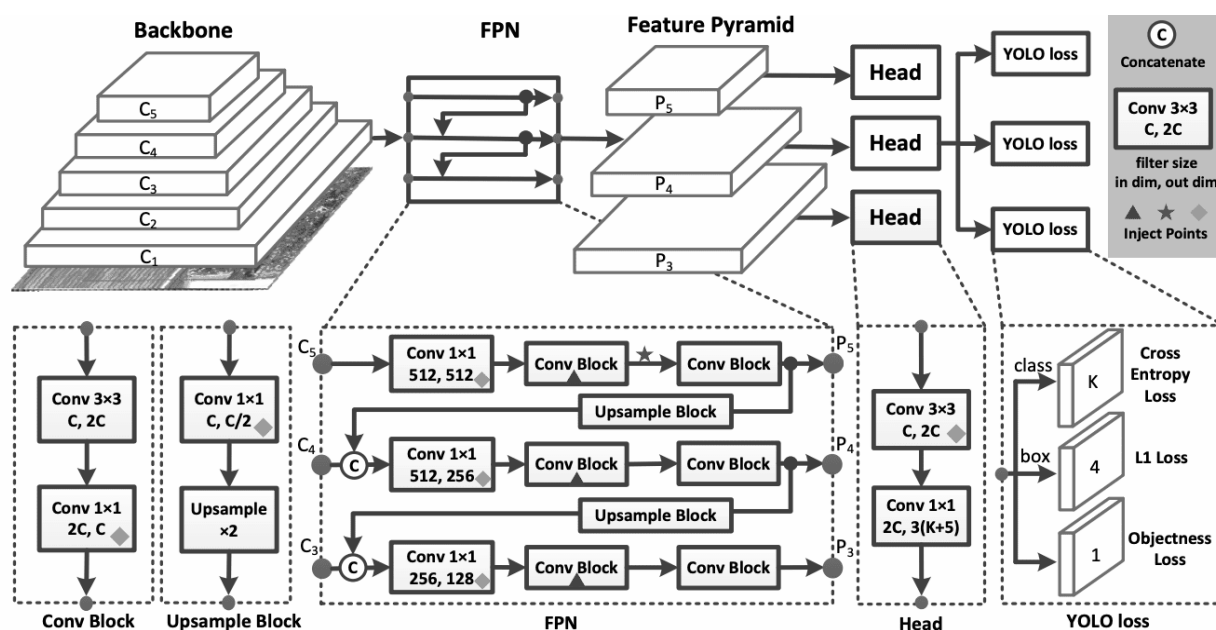


Рисунок 1. Структура модели YOLOv8 [5]

Платформа обработки

В качестве целевой платформы для обработки видеопотока используется Raspberry Pi 4 Model B [16]. Raspberry является одним из самых популярных и доступных решений для обработки данных. Такое решение обусловлено несколькими факторами:

- наличие большого и активного сообщества разработчиков и пользователей, что обеспечивает доступ к обширной документации, примерам кода и поддержке;
- оснащение четырехъядерным процессором ARM Cortex-A72 с тактовой частотой 1,5 ГГц, что обеспечивает достаточную производительность для обработки видеопотоков в реальном времени;
- небольшая и легкая платформа, что делает ее идеальной для использования на борту БПЛА. Низкое энергопотребление Raspberry Pi также позволяет БПЛА работать дольше без необходимости подзарядки;
- поддержка широкого спектра операционных систем и программного обеспечения, включая Raspbian, Ubuntu и т.д.;
- соотношение цены и производительности делает применение платформы доступным для решения широкого спектра задач, в том числе с применением нейронных сетей для обработки данных с достаточно хорошим результатом.

Фреймворки

Для обучения модели был использован компьютер на базе ОС Windows 10 с процессором AMD Ryzen 5900X и видеокартой NVIDIA GeForce RTX 3060Ti на 8 Гигабайт с установленными Python 3.10, PyTorch 2.1.2. На данный момент, YOLOv8 поддерживает, согласно официальной документации, запуск лишь с применением PyTorch не меньше 1.8.0 [15; 19].

На Raspberry Pi 4 Model B были установлены: Python 3.10, PyTorch 2.1.2, OpenCV 4.9.0.80 и операционная система Raspberry Pi OS (64-Bit) для модели 4B [14; 17].

Обучение модели

Зачастую, модели для обнаружения объектов обучаются на крупных датасетах наподобие MS COCO [11], однако, когда дело касается детектирования определенных вещей, найти подходящие данные оказывается не так просто.

Для нашей задачи был собран собственный датасет из 3000 снимков объекта, которые не встречаются в датасетах, на которых предобучалась YOLO [18]. А также желанием протестировать

способность модели достичь высокой точности на сравнительно небольшом наборе данных.

Изображения были получены с двух камер, в том числе камеры квадрокоптера GEOSCAN Пионер Мини, при разных условиях освещенности и с разных ракурсов [12]. Разрешение камеры Пионер Мини – 640x480 пикселей. А также с камеры смартфона Redmi Note 11 Pro. Разрешение камеры смартфона – 3840x2160, разрешение изображений – 640x480. Примеры изображения представлены на рисунке 2. Некоторые изображения в датасете могут содержать несколько объектов на одном снимке.

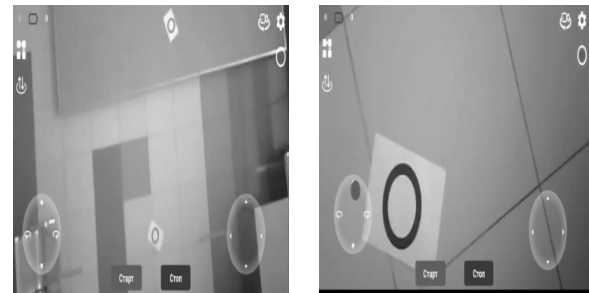


Рисунок 2. Пример изображений из датасета

Результаты экспериментов

Испытания проводились в 2 этапа, первый – проверка модели на видео, кадры из которого участвовали в обучении, а также на видео, до этого в обучении не использовавшемся.

Второй этап – проверка модели на тех же материалах, но на Raspberry Pi.

Первый этап. Во время проведения испытаний модель показала высокую точность при обнаружении объектов. Как и ожидалось, модель смогла распознать объекты на кадрах, участвовавших в обучении с вероятностью более 84% (рисунок 3). Также несмотря на то, что в недостатках YOLO присутствует низкая точность обнаружения мелких объектов, успешное обнаружение происходило при пиксельном размере объекта 32x32 пикселя. Стоит отметить, что обнаружение происходило даже в тех случаях, когда поверх объекта находились элементы, затрудняющие обнаружение (рисунок 4).

Высокая точность обнаружения также была продемонстрирована на кадрах, до этого не участвовавших в обучении, с достижением высокого значения параметра уверенности, что свидетельствует о том, что модель была обучена достаточно хорошо, даже несмотря на ограниченный объем обучающих данных (рисунок 5). Притом несмотря на то, что в обучении не участвовали кадры с объектами под большим углом, модель показала достаточно неплохой результат по их

обнаружению (рисунок 5). Однако при достаточно большом наклоне камеры и отдалении от объекта, ожидаемо, что обнаружение не происходит (рисунок 6). Возможной причиной может являться недостаточное количество подобных данных в обучающей выборке. Однако для решения задачи автономного управления это не является существенным препятствием.

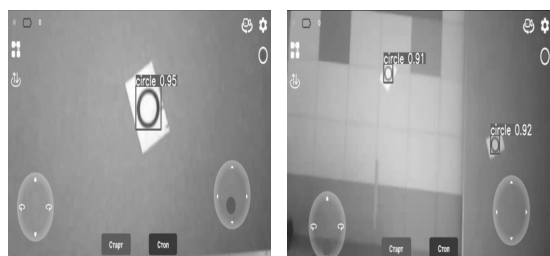


Рисунок 3. Успешно определенные объекты на видео, участвовавшем в обучении



Рисунок 4. Результат распознавания объекта

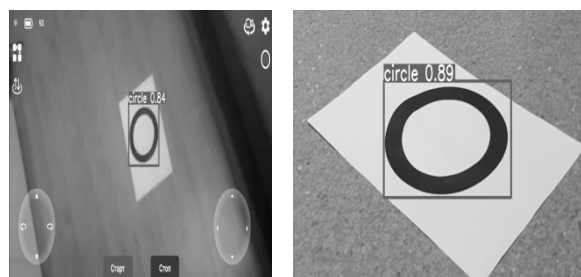


Рисунок 5. Успешно определенные объекты на видео, не участвовавшем в обучении



Рисунок 6. Неопределенные объекты на видео

Второй этап. Запуск модели на Raspberry Pi показал тот же результат, что и у модели, запущенной на персональном компьютере. Она с высокой точностью определила объекты на данных, участвовавших в обучении (рисунок 7), в том числе с помехой в виде наложения элементов поверх

(рисунок 7). Также с высокой точностью успешно были обнаружены и объекты с кадров, не участвовавших в процессе обучения (рисунок 8).

Полученные результаты показывают, что платформа Raspberry Pi 4 Model B способна осуществлять обнаружение объектов с применением модели YOLOv8n.

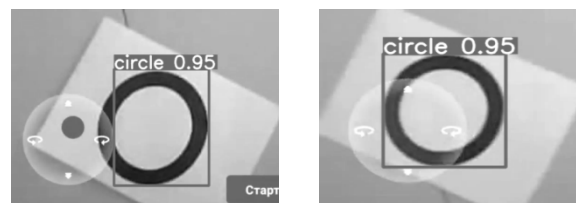


Рисунок 7. Успешное обнаружение объекта на кадре, участвовавшем в обучении на Raspberry



Рисунок 8. Успешное обнаружение объекта на кадре, не участвовавшем в обучении на Raspberry

Энергопотребление

Одним из самых важных аспектов бортового оснащения коптера является энергопотребление, так, зная параметры Raspberry Pi 4 Model B и усредненные значения для одной из самых популярных моделей квадрокоптеров по своим комплектующим (рисунок 9, таблица 1), можно вычислить влияние Raspberry Pi 4 Model B на длительность полета дрона.

Таблица 1. Комплектующие БПЛА

Наименование модуля	Количество на борту
Регулятор оборотов Esc EMAX BLHeli 20A	4
Контроллер полета Pixhawk 2.4.8	1
GPS модуль M8N GPS	1
Радиотелеметрия 3DR 433 МГц	1
Модуль наложения телеметрии MINIOSD	1
Бесщеточный двигатель DJI 2212 920KV	4
Видеопередатчик VTX5848 600мВт 5.8 ГГц	1

Напряжение аккумулятора такого коптера составляет 15 Вольт, сила тока в момент полета, в

среднем, составляет от 10 до 15 Ампер. Таким образом, мощность коптера в полете составляет около 150-225 Ватт.



Рисунок 9. Модель коптера, используемая для эксперимента [13]

Напряжение Raspberry Pi 4 Model B составляет 5 Вольт при силе тока в 3 Ампера. Таким образом, мощность в момент нагрузки будет составлять 15 Ватт. Что примерно составляет менее одной десятой части от энергопотребления дрона.

Из вышеизложенного можно сделать вывод: с учетом небольшого веса Raspberry (25 Грамм) и максимальной нагрузки по электропитанию, влияние на энергопотребление можно считать незначительным [16].

Заключение

В ходе исследования проведен сравнительный анализ наиболее популярных из существующих решений для обнаружения объектов на основе компьютерного зрения. Оценка достоверности распознавания и энергопотребления позволяет сделать заключение о том, что применение данного одноплатного компьютера целесообразно для осуществления анализа видеозаписей на борту БПЛА с применением нейросетевой модели YOLOv8n. Научная новизна полученных результатов заключается в том, что, в отличие от существующих решений, предлагается реализовать отдельные элементы автоматической системы управления БПЛА, использующей технологии компьютерного зрения, без задействования специальных нейропроцессоров, при этом обеспечивается степень точности распознавания не менее 84% и невысокое энергопотребление. Наличие автоматической системы управления позволит, в том числе, реализовать алгоритмы речевого интеллекта и выполнение полетных заданий без применения глобальных навигационных спутниковых систем. Практическая значимость полученных результатов заключается в существенном сокращении затрат на выполнение задач БПЛА без участия человека-оператора, а

также сокращение стоимости системы управления за счет применения неспециализированного одноплатного компьютера в качестве аппаратной платформы для автоматической системы управления.

Литература

1. Practical comparison of the accuracy and speed of YOLO, SSD and Faster RCNN for drone detection / S.M. Alkentar [et al.] // *Journal of Engineering*. 2021. Vol. 27, no. 8. P. 19–31. DOI: 10.31026/j.eng.2021.08.02
2. Comparison between YOLO and SSD MobileNet for object detection in a surveillance drone / V. Choudhary [et al.]. URL: https://www.researchgate.net/publication/355336797_Comparison_between_YOLO_and SSD_MobileNet_for_Object_Detection_in_a_Surveillance_Drone (дата обращения: 01.06.2024).
3. Agricultural greenhouses detection in high-resolution satellite images based on convolutional neural networks: comparison of faster R-CNN, YOLO v3 and SSD / M. Li [et al.] // *Sensors*. 2020. Vol. 20, no. 17. URL: <https://www.sci-hub.ru/10.3390/s20174938> (дата обращения: 01.06.2024).
4. Soylu E., Soylu T. A performance comparison of YOLOv8 models for traffic sign detection in the Robotaxi-full scale autonomous vehicle competition // *Multimedia Tools and Applications*. 2024. Vol. 83. P. 25005–25035. DOI: 10.1007/s11042-023-16451-1
5. PP-YOLO: An effective and efficient implementation of object detector / X. Long [et al.]. URL: https://www.researchgate.net/publication/343178810_PP-YOLO_An_Effective_and_Efficient_Implementation_of_Object_Detector (дата обращения: 05.06.2024).
6. A review on deep learning in UAV remote sensing / L.P. Osco [et al.] // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. URL: <https://www.sci-hub.ru/10.1016/j.jag.2021.102456> (дата обращения: 05.06.2024).
7. You only look once: Unified, real-time object detection / R. Joseph [et al.] // *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. Las Vegas, 2015. P. 779–788.
8. Selcuk B., Serif T. A comparison of YOLOV5 and YOLOV8 in the context of mobile UI detection // *Lecture Notes in Computer Science*. 2023. Vol. 13977. P. 161–174. DOI: 10.1007/978-3-031-39764-6_11
9. Comparative analysis of neural network models performance on low-power devices for a real-time

- object detection task / A. Zagitov [et al.] // Journal Computer Optics. 2024. Vol. 48, no. 2. P. 242–252. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1343
10. A review of unmanned aerial vehicle low-altitude remote sensing (UAV-LARS) use in agricultural monitoring in China / H. Zhang [et al.] // Remote Sensing. 2021. Vol. 13, no. 6. P. 1221. URL: <https://doi.org/10.3390/rs13061221> (дата обращения: 05.06.2024).
 11. COCO – Common Objects in Context. URL: <https://cocodataset.org/#home> (дата обращения: 18.02.2024).
 12. Квадрокоптеры для школ «Пионер Мини» – ГК «Геоскан». URL: <https://www.geoscan.ru/products/pioneer/mini> (дата обращения: 18.02.2024).
 13. Комплект: F450 (E305) ARF KIT+NAZA-M V2+GPS+Landing Skid+PMU v2+LED. URL: https://www.djimsk.ru/catalog/products/components/flame_wheel_arf_kit/komplekt_f450_e305_arf_kit_naza_m_v2_gps_landing_skid_pmu_v2_led.html (дата обращения: 18.02.2024).
 14. GitHub – opencv/opencv: Open Source Computer Vision Library. URL: <https://github.com/opencv/opencv?ysclid=lsqmv32jem25767816> (дата обращения: 18.02.2024).
 15. GitHub – pytorch/ pytorch: Tensors and Dinamic Neural Networks in Python. URL: <https://github.com/pytorch/pytorch?ysclid=lsqmug3hgs789690537> (дата обращения: 20.04.2024).
 16. Buy a Raspberry Pi 4 Model B – Raspberry Pi. URL: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/?parent-baobab-id=lsqmt1h7lk> (дата обращения: 20.04.2024).
 17. Raspberry Pi OS – Raspberry Pi. URL: <https://www.raspberrypi.com/software/> (дата обращения: 25.05.2024).
 18. Обзор наборов данных – Ultralytics YOLO Docs. URL: <https://docs.ultralytics.com/ru/datasets/> (дата обращения: 25.05.2024).
 19. GitHub – Ultralytics. URL: <https://github.com/ultralytics/ultralytics> (дата обращения: 28.05.2024).

Получено 21.06.2024

Карелин Евгений Альбертович, студент кафедры программной инженерии и вычислительной техники (ПИИВТ) Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича (СПбГУТ). 193232, Российская Федерация, Санкт-Петербург, пр. Большевиков, 22-1. Тел. +7 952 523-12-47. E-mail: evgeniikarelin01@mail.ru

Любашенко Тимофей Дмитриевич, студент кафедры защищенных систем связи (ЗСС) СПбГУТ. 193232, Российская Федерация, Санкт-Петербург, пр. Большевиков, 22-1. Тел. +7 921 635-22-30. E-mail: tima50879@gmail.com

Палилов Максим Романович, студент кафедры ЗСС СПбГУТ. 193232, Российская Федерация, Санкт-Петербург, пр. Большевиков, 22-1. Тел. +7 911 337-88-78. E-mail: palilovfox@gmail.com

Жиглова Наталия Сергеевна, студент кафедры ЗСС СПбГУТ. 193232, Российская Федерация, Санкт-Петербург, пр. Большевиков, 22-1. Тел. +7 951 671-32-72. E-mail: zhiglova.natalia@yandex.ru

Пачин Андрей Владимирович, к.т.н., доцент кафедры ПИИВТ СПбГУТ. 193232, Российская Федерация, Санкт-Петербург, пр. Большевиков, 22-1. Тел. +7 911 754-35-11. E-mail: pachin.andrej@bk.ru

AN INVESTIGATION OF COMPUTER VISION CAPABILITIES IN AUTONOMOUS UNMANNED AERIAL VEHICLES CONTROL SYSTEMS

Karelin E.A., Lyubashenko T.D., Palilov M.R., Zhiglova N.S., Pachin A.V.

*Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications, Saint Petersburg,
Russian Federation*

*E-mail: evgeniikarelin01@mail.ru, tima50879@gmail.com, palilovfox@gmail.com,
zhiglova.natalia@yandex.ru, pachin.andrej@bk.ru*

The development of modern hardware and software has led to a rapid increase in the use of unmanned aerial vehicles, primarily aircraft. One of the promising areas for improving the efficiency of such platforms is the development of autonomous control systems, eliminating the need for human operators. The article presents the results of a study on the possibility of constructing elements of an automat-

ic motion control system based on computer vision for unmanned aerial vehicles. The authors used comparative analysis to evaluate the advantages of two popular instruments: YOLO and SSD. They have also collected data for training the chosen model and tested it in various conditions, described the methodology for creating a training set and presented the model testing results on video images captured by a UAV's camera. The test results confirm that the YOLOv8n model is suitable for object detection on the UAV board using a Raspberry Pi 4 Model B as the single-board hardware platform. The object detection accuracy was from 80% to 90%, with the power consumption of 15-25 watts.

Keywords: *unmanned aerial vehicle, computer vision, YOLO, machine learning, convolutional network, neural network, copter, drone*

DOI: 10.18469/ikt.2024.22.1.14

Karelin Evgeny Albertovich, Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications, 22-1, Bolshhevikov Avenu, Saint Petersburg, 193232, Russian Federation; Student of Software Engineering and Computer Engineering Department. Tel. +7 952 523-12-47. E-mail: evgeniikarelin01@mail.ru

Lyubashenko Timofey Dmitrievich, Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications, 22-1, Bolshhevikov Avenu, Saint Petersburg, 193232, Russian Federation; Student of Secure Communication Systems Department. Tel. +7 921 635-22-30. E-mail: tima50879@gmail.com

Palilov Maksim Romanovich, Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications, 22-1, Bolshhevikov Avenu, Saint Petersburg, 193232, Russian Federation; Student of Secure Communication Systems Department. Tel. +7 911 337-88-78. E-mail: palilovfox@gmail.com

Zhiglova Nataliya Sergeevna, Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications, 22-1, Bolshhevikov Avenu, Saint Petersburg, 193232, Russian Federation; Student of Secure Communication Systems Department. Tel. +7 951 671-32-72. E-mail: zhiglova.natalia@yandex.ru

Pachin Andrey Vladimirovich, Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications, 22-1, Bolshhevikov Avenu, Saint Petersburg, 193232, Russian Federation; Associate Professor of Software Engineering and Computer Engineering Department, PhD in Technical Science. Tel. +7 911 754-35-11. E-mail: pachin.andrej@bk.ru

References

1. Alkentar S.M. et al. Practical comparison of the accuracy and speed of YOLO, SSD and Faster RCNN for drone detection. *Journal of Engineering*, 2021, vol. 27, no. 8, pp. 19–31. DOI: 10.31026/j.eng.2021.08.02
2. Choudhari V. et al. Comparison between YOLO and SSD MobileNet for object detection in a surveillance drone. URL: https://www.researchgate.net/publication/355336797_Comparison_between_YOLO_and_SSD_MobileNet_for_Object_Detection_in_a_Surveillance_Drone (accessed: 01.06.2024).
3. Li M. et al. Agricultural greenhouses detection in high-resolution satellite images based on convolutional neural networks: comparison of faster R-CNN, YOLO v3 and SSD. *Sensors*, 2020, vol. 20, no. 17. URL: <https://www.sci-hub.ru/10.3390/s20174938> (accessed: 01.06.2024).
4. Soylyu E., Soylyu T. A performance comparison of YOLOv8 models for traffic sign detection in the Robotaxi-full scale autonomous vehicle competition. *Multimedia Tools and Applications*, 2024, vol. 83, pp. 25005–25035. DOI: 10.1007/s11042-023-16451-1
5. Long X. et al. PP-YOLO: an effective and efficient implementation of object detector. URL: https://www.researchgate.net/publication/343178810_PP-YOLO_An_Effective_and_Efficient_Implementation_of_Object_Detector (accessed: 05.06.2024).
6. Osco L.P. et al. A review on deep learning in UAV remote sensing. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. URL: <https://www.sci-hub.ru/10.1016/j.jag.2021.102456> (accessed: 05.06.2024).
7. Joseph R. et al. You only look once: unified, real-time object detection. *IEEE Conference on Com-*

- puter Vision and Pattern Recognition (CVPR). Las Vegas, 2015, pp. 779–788.
8. Selcuk B., Serif T. A comparison of YOLOV5 and YOLOV8 in the context of mobile UI detection. *Lecture Notes in Computer Science*, 2023, vol. 13977, pp. 161–174. DOI: 10.1007/978-3-031-39764-6_11
 9. Zagitov A. et al. Comparative analysis of neural network models performance on low-power devices for a real-time object detection task. *Journal Computer Optics*, 2024, vol. 48, no. 2, pp. 242–252. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1343
 10. Zhang H. et al. A review of unmanned aerial vehicle low-altitude remote sensing (UAV-LARS) use in agricultural monitoring in China. *Remote Sensing*, 2021, vol. 13, no. 6, pp. 1221. URL: <https://doi.org/10.3390/rs13061221> (accessed: 05.06.2024).
 11. COCO – Common Objects in context. URL: <https://cocodataset.org/#home> (accessed: 18.02.2024).
 12. Quadrocopters for schools «Pioneer Mini» – GC «Geoscan». URL: <https://www.geoscan.ru/ru/products/pioneer/mini>. (accessed: 18.02.2024). (In Russ.)
 13. Set: F450 (E305) ARF KIT+NAZA-M V2+GPS+Landing Skid+PMU v2+LED. URL: https://www.djimsk.ru/catalog/products/components/flame_wheel_arf_kit/komplekt_f450_e305_arf_kit_naza_m_v2_gps_landing_skid_pmu_v2_led.html (accessed: 18.02.2024). (In Russ.)
 14. GitHub – opencv/opencv: Open Source Computer Vision Library. URL: <https://github.com/opencv/opencv?ysclid=lsqmv32jem25767816> (accessed: 18.02.2024).
 15. GitHub – pytorch/ pytorch: Tensors and Dinamic Neural Networks in Python. URL: <https://github.com/pytorch/pytorch?ysclid=lsqmug3hgs789690537> (accessed: 20.04.2024).
 16. Buy a Raspberry Pi 4 Model B – Raspberry Pi. URL: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/?parent-baobab-id=lsqmt1h7lk> (accessed: 20.04.2024).
 17. Raspberry Pi OS – Raspberry Pi. URL: <https://www.raspberrypi.com/software/> (accessed: 25.05.2024).
 18. Overview of datasets – Ultralytics YOLO Docs. URL: <https://docs.ultralytics.com/ru/datasets/> (accessed: 25.05.2024). (In Russ.)
 19. GitHub – Ultralytics. URL: <https://github.com/ultralytics/ultralytics> (accessed: 28.05.2024).

Received 21.06.2024

УПРАВЛЕНИЕ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ ДЛЯ ОТРАСЛИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

УДК 005:378.14.015.62

ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВОГО ПРОФИЛЯ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЕГО КАРЬЕРНОЙ СРЕДЫ

Доброжанская В.А., Салмин А.А.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: v.dobrozhanskaya@psuti.ru, a.salmin@psuti.ru

В данной работе рассматриваются вопросы формирования цифрового профиля обучающегося в целях цифровизации образовательного процесса организации. Описаны особенности построения цифрового профиля, а также виды информации, позволяющие сформировать профиль обучающегося. Представлены задачи, которые необходимо решить для построения цифрового профиля с целью принятия обоснованных решений о выборе образовательной траектории и профессионального развития обучающегося. Представлено обобщенное описание цифровых компетенций, позволяющих наилучшим образом реализовать индивидуальный подход при формировании образовательной программы и индивидуальной траектории обучения. Рассмотрены особенности формирования цифровой карьерной среды, представляющей собой виртуальное пространство для общения, обмена опытом и знаниями между обучающимися, преподавателями и работодателями. Описаны преимущества человекоцентричного подхода для формирования цифровой карьерной среды обучающегося с целью его последующего успешного трудоустройства.

Ключевые слова: цифровой профиль обучающегося, цифровые компетенции, цифровая карьерная среда, образовательная траектория, портфолио обучающегося

Введение

Развитие цифровых технологий, ориентированных на трансформацию различных сфер деятельности человека, приводит к повсеместному внедрению новых информационных систем во все профессиональные отрасли, что, в свою очередь, позволяет сформировать новую парадигму, обеспечивающую рационализацию доступных процессов.

Система образования любого уровня не является исключением и нуждается в активном внедрении новых подходов и методов, способствующих ее цифровизации. На протяжении последних нескольких лет наблюдается активное внедрение различных информационных систем технологий, которые обеспечивают цифровизацию ключевых сфер деятельности образовательного процесса. Применительно к профессиональному образованию одним из ключевых направлений цифровизации является создание и развитие индивидуальной траектории обучающихся, а также их цифровых профилей как элемента персонализации процесса обучения [9]. Все это в свою очередь предоставляет новые возможности для повышения качества обучения и улучшения взаимодействия между участниками образовательного процесса, в том числе в целях решения вопросов их профессионального становления и последующего трудоустройства.

Вопросы построения цифровой карьерной среды обучающегося

Под цифровым профилем обучающегося в рамках цифровизации образовательного процесса понимается совокупность информации из разных источников, которая собирается, обрабатывается и хранится в электронной информационно-образовательной среде организации, как правило, в электронном виде [5; 6].

К основным видам такой информации относятся:

- персональная информация об обучающихся;
- информация о результатах обучения: сведения о предыдущем образовании, текущие оценки, сертификаты, дипломы, результаты промежуточной аттестации и пройденных тестов;
- участие в проектах, исследованиях и разработках: проекты, выполненные под руководством преподавателей или научных руководителей, публикации в научных журналах, участие в научных конференциях и т.д.;
- достижения в профессиональных конкур-

сах и олимпиадах: информация о призовых местах, сертификаты и дипломы;

- опыт работы и стажировки: информация о прохождении всех видов практик, стажировок, работе в компаниях или некоммерческих организациях;

- навыки работы с программным обеспечением: сертификаты о прохождении курсов, отзывы работодателей, опыт работы с различными программами;

- личностные характеристики: интересы, увлечения, хобби, мотивация к обучению и развитию.

Для создания цифрового профиля обучающегося необходимо решить следующие задачи:

1. Сбор и обработка данных. Для решения данной задачи важно обеспечить своевременное и корректное внесение актуальных данных о достижениях и интересах обучающегося в его цифровой профиль. Для этого могут использоваться различные инструменты, такие как страницы в социальных сетях, личные кабинеты и электронные дневники на информационных порталах образовательной организации, сформированных, например, на базе платформ Moodle, 1С: Университет и др. После сбора данных необходимо провести их анализ для определения сильных и слабых сторон обучающегося, его склонностей и предпочтений с последующей интерпретацией полученных результатов. Для этих целей можно использовать различные методы анализа данных, такие как машинное обучение, статистика, интеллектуальный анализ данных и др. Важно учитывать тот факт, что процессы сбора и обработки данных должны быть динамичными и постоянно обновляемыми, что, в свою очередь, позволит своевременно актуализировать информацию об обучающихся [2; 8].

2. Интеграция с внешними системами. Необходимо обеспечить возможность обмена данными между цифровым профилем студента и другими информационными системами, такими как: базы данных научных проектов, система формирования портфолио, электронная информационная образовательная среда и т.д.

3. Защита персональных данных. Важным аспектом является обеспечение безопасности и конфиденциальности информации, хранящейся в цифровом профиле обучающегося. Для этого необходимо использовать надежные системы шифрования и авторизации, а также строго соблюдать правила обработки персональных данных.

4. Визуализация данных, позволяющая интерпретировать результаты анализа в доступном виде при помощи построения различных графиков, диаграмм, панели индикаторов и пр.

Цифровой формат сбора, обработки, хранения и представления информации позволяет автоматизировать процессы анализа данных для принятия обоснованных решений о выборе образовательной траектории и направления профессионального развития обучающегося, в том числе, с учетом его сильных и слабых сторон, интересов и предпочтений, что в последующем позволит снизить вероятность ошибки и субъективного подхода к оценке обучающегося, адаптировать под него образовательный процесс с возможностью предложения наиболее подходящих дисциплин, формирующих профессиональные компетенции, курсы и задания и, как следствие, сформировать индивидуальную образовательную программу, максимально соответствующую потребностям и возможностям каждого обучающегося и ориентированную на адекватный подбор профессии и развитие карьеры [1]. С помощью цифровых профилей также можно отслеживать прогресс обучающегося на протяжении всего периода обучения, что позволяет своевременно корректировать образовательную траекторию и предлагать дополнительные возможности для профессионального развития с формированием набора компетенций, которые могут быть представлены в цифровом виде [3].

В общем случае под цифровой компетенцией [7] понимается набор знаний и умений, выраженный в личностно-субъективном опыте обучающегося и являющийся результатом освоения элементов образовательной программы, саморазвития обучающегося, синтеза его деятельности и личного опыта, который может быть представлен в цифровом виде. На формирование компетенций влияют как объективные факторы, например, освоение модулей образовательной программы, практическая подготовка, участие обучающегося в научно-исследовательских проектах, формирующие конкретные результаты обучения, так и субъективные, например, процесс воспитания со стороны кураторов (наставников), опыт работы в команде, навыки самопрезентации, личная эффективность и многое другое, позволяющие сформировать социально-психологические и поведенческие навыки. Важно отметить, что образовательная организация и социальная среда, существующая в ней, оказывают непосредственное и одно из самых значительных влияний на формирование компетенций обучающегося. Кроме того, использование сформированных компе-

тенций создает необходимую социальную среду вокруг обучающегося, которая способствует его самосовершенствованию, саморазвитию и самореализации с отражением результатов его деятельности в цифровом профиле. Анализ такого набора компетенций в цифровом виде и использование его в целях построения траектории обучения позволит наилучшим образом реализовать индивидуальный подход при формировании образовательной программы.

С целью определения предрасположенности обучающегося к карьерному треку на основе его цифрового профиля и набора цифровых компетенций важным элементом электронной информационно-образовательной среды организации становится цифровая карьерная среда, которая представляет собой виртуальное пространство для общения, обмена опытом и знаниями между студентами, преподавателями и работодателями. В этой среде обучающиеся могут размещать свое портфолио, подбирать стажировки и вакансии, а также получать рекомендации по выбору профессии и развитию карьеры на основе интегрированного в нее цифрового профиля.

Создание профиля обучающегося с последующим наполнением цифровой карьерной среды несомненно требует применения современных технологий и методов обработки данных, обеспечивающих автоматизированную и прозрачную процедуру сбора и обработки информации с целью гарантии достоверности и актуальности данных. Кроме того, необходимо обеспечить безопасность и конфиденциальность персональной информации обучающегося, а также возможность обмена этой информацией между различными образовательными платформами, используемыми в образовательном процессе. Построение профиля обучающегося и создание цифровой карьерной среды, как следствие, не только повышает качество образовательного процесса, но и способствует формированию активного и самостоятельного подхода обучающегося к выбору профессии, развитию навыков самообразования и саморазвития.

Данный факт позволит перейти на новый уровень взаимодействия с обучающимися, ориентированный на человекоцентричный подход [10] в образовании, который позволяет учесть личностные факторы, внесенные в персонифицированную цифровую среду с целью решения вопросов его карьерного развития.

Применительно к системе профессионального образования человекоцентричность выступает, прежде всего, как новая система взаимоотноше-

ний между всеми участниками образовательного процесса, во главе которой ставятся запросы, потребности и нужды конкретного обучающегося в профессиональном становлении на основе его цифрового профиля для достижения образовательного эффекта в виде формирования успешной карьерной траектории. Это становится возможным через постоянный диалог между всеми участниками образовательного процесса: руководства, формирующего систему управления организацией, преподавательского состава, реализующего конкретную образовательную траекторию, работодателей, от которых поступает запрос, и, конечно же, обучающихся с конкретным профилем и набором цифровых компетенций, являющихся результатом процесса обучения.

В качестве основных элементов, которые должны быть реализованы при формировании карьерной среды обучающегося при использовании человекоцентричного подхода, можно выделить следующие:

- обучение должно быть результативным и создавать условия для творчества;
- в обучении важна коммуникация с другими обучающимися, поэтому оно должно выполняться преимущественно в команде, например, через проектную деятельность;
- именно оцифрованные персональные данные и качества и, как следствие, сформированные профиль и компетенции в цифровой карьерной среде обучающегося становятся основой для его профессионального становления и роста.

В этой связи можно выделить следующие преимущества человекоцентричного подхода при построении цифровой карьерной среды:

- индивидуальный подход к каждому обучающемуся, основанный на учете его потребностей, интересов и способностей;
- возможность адаптировать образовательный процесс под каждого обучающегося, предлагая ему наиболее подходящие и интересные курсы и занятия, которые могут быть связаны с требованиями, предъявляемыми потенциальными работодателями;
- улучшение качества образования за счет более эффективного использования ресурсов и времени каждого обучающегося;
- повышение мотивации обучающихся благодаря учету их индивидуальных предпочтений и интересов в целях потенциального трудоустройства.

Такой подход в создании карьерного трека, учитывающий множество персональных факторов, включая, главным образом, индивидуальные особенности обучающихся, их потребно-

сти, мотивы и цели, позволяет создать гибкую и адаптивную образовательную среду, где каждый обучающийся сможет раскрыть свой потенциал и достичь успеха в плане профессионального становления при решении вопросов выбора потенциального работодателя.

В этом случае должен быть организован механизм взаимоотношений всех участников образовательного процесса посредством задействования автоматизированных систем сбора, накопления, учета и анализа сформированности цифрового профиля и набора необходимых компетенций обучающегося, обеспечивающий электронную информационно-образовательную среду организации элементной базой для принятия решений по формированию индивидуальных образовательных траекторий обучающихся и их профессионального становления с использованием ресурсов цифровой карьерной среды. Однако необходимо отметить тот факт, что существующие системы, используемые образовательными организациями при работе с обучающимися и формирующие ее электронную информационно-образовательную среду, как правило, не позволяют в полной мере получить автоматизированную, адекватную и сбалансированную модель цифровой карьерной среды, реализованной на основе цифрового профиля и набора сформированных компетенций, в связи с отсутствием в них интеллектуального компонента по анализу данных и принятию соответствующих управленческих решений по конкретному обучающемуся. В большинстве случаев информационные системы образовательных организаций сводятся к сбору сведений об обучающимся, формируют элементную базу его портфолио, накапливают информацию о процессе его обучения, но не позволяют адаптировать образовательную программу под нужды обучающегося и задачи работодателя для достижения поставленных задач по формированию компетенций в цифровой карьерной среде, что делает невозможным переход на человекоцентричный подход в системе образования в текущий момент времени. Однако уже сейчас ведущие вузы благодаря национальным программам по модернизации системы образования [4] начинают работу по разработке и внедрению модулей к своим информационным системам, что позволяет на данном этапе формировать индивидуальную образовательную траекторию обучающегося, в основе которой лежит его цифровой профиль. Чуть дальше по разработке описываемых информационных систем продвинулись крупные корпорации, обеспечивающие обучение,

в частности, на базе корпоративных университетов, которые внедряют модули, обеспечивающие интеграцию инструментов обучения и аналитики с последующей персонализацией отдельных элементов под обучающегося. Однако подобные разработки и внедрения не решают задачу по персонализации обучения на принципиальном уровне, что, в свою очередь, сказывается на качестве построения цифровой карьерной среды в образовательных организациях и темпах перехода к человекоцентричной системе обучения.

Заключение

Создание цифрового профиля обучающегося с последующим формированием его карьерной среды должно быть основано на активном участии самого обучающегося и его взаимодействии с образовательной средой. Только активное вовлечение участников образовательного процесса и внедрение современных систем и технологий, основанных на интеллектуальном анализе данных, учитывающих индивидуальные особенности каждого обучающегося, позволит создать гибкую, адаптивную и инновационную образовательную систему, способную удовлетворить потребности каждого обучающегося и обеспечить его успешное карьерное будущее.

Карьерная среда обучающегося представляет собой мощный инструмент для повышения качества образования и обеспечения индивидуального подхода к обучению с построением образовательной траектории. Создание и развитие таких цифровых профилей требует решения сложных задач, что в настоящее время, как правило, не реализовано в образовательных организациях. Однако, учитывая преимущества, которые такие профили предоставляют для системы образования, их решение, безусловно, оправдано.

Процесс цифровизации системы образования, который в настоящее время реализуется повсеместно, несомненно, очень важен. Цифровые системы и методы взаимодействия с обучающимися, ориентированные на человекоцентричные способы взаимодействия с обучающимися, позволяют перейти на новый уровень построения образовательного процесса. Персонифицированная информация, полученная при взаимодействии с обучающимся, позволяет получить объективную информацию о его профессиональных навыках, достижениях, интересах и опыте работы, что, в свою очередь, становится эффективным инструментом для оценки его потенциала на рынке труда и при трудоустройстве. Данный подход также позволяет оценить уровень про-

фессиональных компетенций и навыков, определить наиболее подходящие вакансии. Кроме того, цифровой профиль и цифровая карьерная среда позволяют понять предпочтения выпускника, его мотивацию и готовность к развитию, что может быть полезным при выборе карьерного пути и планировании дальнейшего обучения.

Список литературы

1. Арбузов А.И., Мороз Д.К. Создание условий для реализации обучающимися персональных траекторий на базе разработки модели «цифровой университет» // Актуальные вопросы образования. 2020. Т. 3. С. 116–120.
2. Баранова Е.В., Швецов Г.В. Методы и инструменты для анализа цифрового следа студента при освоении образовательного маршрута // Перспективы науки и образования. 2021. № 2 (50). С. 415–430.
3. Волкова И.А., Петрова В.С. Формирование цифровых компетенций в профессиональном образовании // Вестник Нижневартского государственного университета. 2019. № 1. С. 17–24.
4. Жуковская И.Е. Цифровые платформы – важный аспект цифровизации высшего образования // Открытое образование. 2022. Т. 26, № 4. С. 30–40.
5. Коландария Е.М. Профессиональная мобильность – один из аспектов цифрового профиля студента // Наука и школа. 2022. № 2. С. 58–64.
6. Пираков Ф.Д., Шталиня Е.С., Клишин А.П. Разработка цифрового профиля выпускника на основе системы электронного портфолио // Современное образование: интеграция образования, науки, бизнеса и власти. Трансформация образования, науки и производства – основа технологического прорыва: материалы международной научно-методической конференции. Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2023. С. 240–244.
7. Приходько О.В. Особенности формирования цифровой компетентности студентов вуза // Азимут научных исследований: педагогика и психология. 2020. Т. 9, № 1 (30). С. 235–238.
8. Темербекова А.А., Джанабилова С.А. Различные подходы к определению понятия «Цифровое портфолио студента» // Научно-педагогическое обозрение. 2018. № 3 (21). С. 122–128.
9. Шитова Т.Ф. Подготовка студентов вузов в соответствии с требованиями цифровой эко-

номики // Информатика и образование. 2020. № 8. С. 37–44.

ских организациях // Организационная психология. 2016. Т. 6, № 3. С. 91–104.

10. Штроо В.А. Человеконтированный подход и практика управления персоналом в россий-

Получено 22.05.2024

Доброжанская Виктория Анатольевна, ассистент кафедры программной инженерии Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). 443090, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, 77. Тел. +7 931 335-18-17. E-mail: v.dobrozhanskaya@psuti.ru

Салмин Алексей Александрович, к.т.н., доцент кафедры информационных систем и технологий ПГУТИ. 443090, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, 77. Тел. +7 927 700-79-47. E-mail: a.salmin@psuti.ru.

ISSUES OF CREATING A STUDENT'S DIGITAL PROFILE IN ORDER TO FORM HIS CAREER ENVIRONMENT

Dobrozhanskaya V.A., Salmin A.A.

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation

E-mail: v.dobrozhanskaya@psuti.ru, a.salmin@psuti.ru

The article considers issues of forming a student's digital profile in order to digitalize the organizational educational process. The features of creating a digital profile, as well as the data features that allow to create a student's profile are provided. The problems that need to be solved to create a digital profile for taking informed decisions about the choice of the individual educational process and professional development are presented. A generalized description of digital competencies that allow to implement an individual approach to the educational program development and an individual studying algorithm are also provided. The features of the digital career environment formation as the virtual space for communication, exchange of experience and knowledge between students, teachers and employers, are considered. The advantages of a person-centric approach for creating a student's digital career environment to deal with his further successful employment are described.

Keywords: *digital profile of a student, digital competencies, digital career environment, educational trajectory, student's portfolio*

DOI: 10.18469/ikt.2024.22.1.15

Dobrozhanskaya Viktoriya Anatolevna, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moskovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Assistant of Software Engineering Department. Tel. +7 931 335-18-17. E-mail: v.dobrozhanskaya@psuti.ru

Salmin Aleksey Aleksandrovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moskovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Associated Professor of Information Systems and Technologies Department, PhD in Technical Science. Tel. +7 927 700-79-47. E-mail: a.salmin@psuti.ru

References

1. Arbuzov A.I., Moroz D.K. Creation of conditions for implementation of students by personal trajectories based on the development of the «Digital University» model. *Aktual'nye voprosy obrazovaniya*, 2020, vol. 3, pp. 116–120. (In Russ.)
2. Baranova E.V., Shvecov G.V. Methods and tools for analysing students' digital footprint in the course of work under educational programmes. *Perspektivy nauki i obrazovaniya*, 2021, no. 2 (50), pp. 415–430. (In Russ.)
3. Volkova I.A., Petrova V.S. Building digital competence in professional education. *Vestnik Nizhnepovolzhskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2019, no. 1, pp. 17–27. (In Russ.)
4. Zhukovskaya I.E. Digital platforms are an important aspect of digitalization of higher education.

- Otkrytoe obrazovanie*, 2022, vol. 26, no. 4, pp. 30–40. (In Russ.)
5. Kolandariya E.M. Professional mobility as one of the aspects of a student's digital profile. *Nauka i shkola*, 2022, no. 2, pp. 58–64. (In Russ.)
 6. Pirakov F.D., Shtalina E.S., Klishin A.P. Development of a digital profile of a graduate based on an electronic portfolio system. *Sovremennoe obrazovanie: integraciya obrazovaniya, nauki, biznesa i vlasti. Transformaciya obrazovaniya, nauki i proizvodstva – osnova tekhnologicheskogo proryva: materialy mezhdunarodnoj nauchno-metodicheskoy konferencii*. Tomsk: Tomskij gosudarstvennyj universitet sistem upravleniya i radioelektroniki, 2023, pp. 240–244. (In Russ.)
 7. Prikhodko O.V. Features of formation of digital competence of university students. *Azimut nauchnyh issledovanij: pedagogika i psihologiya*, 2020, vol. 9, no. 1 (30), pp. 235–238. (In Russ.)
 8. Temerbekova A.A., Dzhanabilova S.A. Digital portfolio as means of students' research competence formation. *Nauchno-pedagogicheskoe obozrenie*, 2018, no. 3 (21), pp. 122–128. (In Russ.)
 9. Shitova T.F. Preparing university students in accordance with the requirements of digital economy. *Informatika i obrazovanie*, 2020, no. 8, pp. 37–44. (In Russ.)
 10. Stroh W.A. Person-centered approach and human resource management in Russian organizations. *Organizacionnaya psihologiya*, 2016, vol. 6, no. 3, pp. 91–104. (In Russ.)

Received 22.05.2024

**РЕШЕНИЕ РЕДКОЛЛЕГИИ ЖУРНАЛА ИКТ
НА ОСНОВЕ ПОВТОРНОЙ РЕЦЕНЗИИ НА СТАТЬЮ
СУДАРЕВОЙ М.Е., ЯШИНА В.Н.
«АНАЛИЗ ГРАНИЧНЫХ ЗАДЕРЖЕК В СЕТЯХ TSN ETHERNET»
ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, ПРОФЕССОРА РОСЛЯКОВА А.В.**

В журнале «Инфокоммуникационные технологии», 2023, Т. 21, № 2 на стр. 37-43 была опубликована статья Сударевой М.Е., Яшина В.Н. «Анализ граничных задержек в сетях TSN Ethernet», на которую получена внешняя положительная рецензия. Проведенный анализ при повторной рецензии д.т.н., профессором кафедры ССС ПГУТИ Росляковым А.В. показал, что в данной статье имеются неправомерные заимствования без ссылок на первоисточник. Так материал статьи на стр. 38-41 (текст, формулы и рисунки) фактически является переводом на русский язык стр. 5-7 англоязычной статьи «Worst-Case Latency Analysis for IEEE 802.1Qbv Time Sensitive Networks Using Network Calculus» авторов Luxi Zhao, Paul Pop, Silviu S. Craciunas, опубликованной в журнале IEEE Access, 2018, Vol. 6, pp. 41803–41815. В списке использованной литературы данная статья отсутствует. Кроме этого, приведенные в статье ссылки на источники информации 5–12 неверные. Редакция журнала «Инфокоммуникационные технологии» просит извинения у своих читателей, а также авторов оригинальной статьи.



Требования к оформлению рукописи статьи
размещены на сайте ikt.psuti.ru