# ЧНЫЙ

E S U L T Volume 4 № 3 R

НАУЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

RESEARCH RESULT. INFORMATION TECHNOLOGY

> Сайт журнала: rrinformation.ru

сетевой научный рецензируемый журнал online scholarly peer-reviewed journal





## НАУЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ RESEARCH RESULT. INFORMATION TECHNOLOGIES

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)
Свидетельство о регистрации средства массовой информации Эл. № ФС77-69101 от 14 марта 2017 г.

The journal has been registered at the Federal service for supervision of communications information technology and mass media (Roskomnadzor)

Mass media registration certificate El. № FS 77-69101 of March 14, 2017



Tom 4, № 3. 2019

СЕТЕВОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ Издается с 2016 г. ISSN 2518-1092



Volume 4, № 3. 2019

ONLINESCHOLARLYPEER-REVIEWEDJOURNAL First published online: 2016 ISSN 2518-1092

#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР: **Черноморец А.А.,** доктор технических наук, профессор кафедры прикладной информатики и информационных технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета.

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ: **Болгова Е.В.,** старший преподаватель кафедры прикладной информатики и информационных технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета.

РЕДАКТОР АНГЛИЙСКИХ ТЕКСТОВ СЕРИИ: **Ляшенко И.В.,** кандидат филологических наук, доцент

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

**Басов О.О.,** доктор технических наук (Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО), г. Санкт-Петербург)

**Белов С.П.,** доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород)

**Волчков В.П.,** доктор технических наук, профессор (Московский технический университет связи и информатики, г. Москва)

**Дмитриенко В.Д.,** доктор технических наук, профессор (Харьковский национальный технический университет «ХПИ», г. Харьков, Украина)

**Иващук О.А.,** доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород)

**Корсунов Н.И.,** заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород)

**Коськин А.В.,** доктор технических наук, профессор (Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева, г. Орел)

**Ломазов В.А.,** доктор физико-математических наук, профессор (Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина, г. Белгород)

**Маторин С.И.,** доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород)

**Рубанов В.Г.,** заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород)

#### EDITORIAL TEAM:

EDITOR-IN-CHIEF: Andrey A. Chernomorets, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Belgorod State National Research University EXECUTIVE SECRETARY: Evgeniya V. Bolgova, Senior Lecturer, Belgorod State

EXECUTIVE SECRETARY: **Evgeniya V. Bolgova,** Senior Lecturer, Belgorod State National Research University

ENGLISH TEXT EDITOR: Igor V. Lyashenko, Ph.D. in Philology, Associate Professor

#### EDITORIAL BOARD:

Oleg O. Basov, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Sergey P. Belov, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Valery P. Volchkov, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Valery D. Dmitrienko, Doctor of Technical Sciences, Professor (Ukraine)

Olga A. Ivaschuk, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

**Nikolay I. Korsunov,** Honoured Science Worker of Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Alexander V. Koskin, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Vadim A. Lomazov, Doctor of Physico-mathematical Sciences, Professor (Russia)

Sergey I. Matorin, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

**Vasily G. Rubanov**, Honoured Science Worker of Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Белгородский государственный национальный исследовательский университет» Издатель: НИУ «БелГУ». Адрес издателя: 308015 г. Белгород, ул. Победы, 85. Журнал выходит 4 раза в год Founder: Federal state autonomous educational establishment of higher education
«Belgorod State National Research University»
Publisher: Belgorod State National Research University
Address of publisher: 85 Pobeda St., Belgorod, 308015, Russia
Publication frequency: 4/year

## СОДЕРЖАНИЕ

## **CONTENTS**

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАН	COMPUTER SIMULATION			
Вторников А.А., Федотов Е.А.,		Vtornikov A.A, Fedotov E.A.,		
Петров Д.В., Васильев П.В.,		Petrov D.V., Vassiliev P.V.,		
Петрова Е.В.		Petrova E.V.		
Разработка web-приложения для		Development of a web application for		
оптимизации и визуализации форм		optimization and visualization open pit		
карьеров рудных месторождений	3	limits	3	
Черноморец А.А., Болгова Е.В.,		Chernomorets A.A. Bolgova E.V.		
Черноморец Д.А.		Chernomorets D.A.		
0 квазисубполосных матрицах		On quasi-subband matrices of cosine		
косинус-преобразования	11	transform	11	
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ		SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSI OF KNOWLEDGE	NG	
Александров Д.Д., Косов Е.О.,		Aleksandrov D.D., Cosov. E.O.,		
Архипов С.Н.		Arkhipov S.N.		
Модель программного комплекса		Model of the program complex support		
поддержки принятия решений по		of decision making on the design of		
проектированию пассивной		passive optical network		
оптической сети	20		20	
Батищев Д.С.		Batishchev D.S.		
Метрики качества медицинских		Medical image quality metrics		
изображений	25		25	
Сансевич В.К., Александров Д.Д.,		Sancevich V.K., Aleksandrov D.D.,		
Косов Е.О., Архипов С.Н.		Cosov. E.O., Arkhipov S.N.		
Модель программного комплекса		Model of the program complex support		
поддержки принятия решений по		of decision making on the design of passive optical network		
проектированию пассивной оптической сети	31	passive optical network	31	
Черных Е.М., Михелев В.М.	31	Chernykh E.M., Mikhelev V.M.	31	
Компьютерная система классификации		Computer system for leukocytes		
лейкоцитов на изображениях клеток		classification on blood cell images		
крови	38	0.000 <b>0</b> 00.00.00.00.00.00.00.00.00.00.00.00.00	38	
информационно- телекоммуникационные технол		INFORMATION TECHNOLOGIES AND TELECOMMUNICATION		
Кузнецов Д.А., Дамм В.А.,		Kuznetsov D.A., Damm V.A.,		
Кузнецов А.В., Басов О.О.		Kuznetsov A.V., Basov O.O.		
Применение многомодальной		Application of multimodal		
аутентификации на объектах		authentication at critical information		
критической информационной	4.0	infrastructure facilities	40	
инфраструктуры	48		48	



# КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ COMPUTER SIMULATION HISTORY

УДК 681.3.06:539.51

DOI: 10.18413/2518-1092-2019-4-3-0-1

Вторников А.А.<sup>1</sup> Федотов Е.А.<sup>2</sup> Петров Д.В.<sup>1</sup> Васильев П.В.<sup>1</sup> Петрова Е.В.<sup>1</sup>

РАЗРАБОТКА WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ФОРМ КАРЬЕРОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

 $e\text{-}mail:\ 1112269@bsu.edu.ru,\ Cadr@intbel.ru,\ petrov@bsu.edu.ru,\ geoblock@mail.ru,\ sergeeva\_ev@bsu.edu.ru$ 

#### Аннотация

Для решения горных задач требуется построение детальных блочных или воксельных моделей, обеспечивающих оперативное планирование дискретных объёмов выемки горных пород. Перед началом проведения работ на территории предполагаемого карьера, необходимо проанализировать местность. Собрать как можно обширные данные об имеющиеся природных ресурсах. После этого необходимо построить модель, и рассчитать какую максимальную прибыль можно извлечь из этого месторождения. Для построения модели карьера используется очень дорогостоящее и платформа ограничивающее программное обеспечение. Намного продуктивнее использовать web-технологии для визуализации полученной информации. Особенно когда многие web-технологии сравнялись по производительности и функциональности с десктопными решениями. В данной работе рассматривается задача поиска оптимальных границ карьеров рудных месторождений, проводится анализ существующих продуктов для решения этой задачи, рассматриваются этапы проектирования и разработки оригинального программного решения на основе webвыполнения оптимизации и моделирования технологий для месторождений.

**Ключевые слова:** поиск оптимальных границ карьеров; визуализация блочных моделей; разработка веб-приложений; plotly.

#### UDC 681.3.06:539.51

Vtornikov A.A.<sup>1</sup> Fedotov E.A.<sup>2</sup> Petrov D.V.<sup>1</sup> Vassiliev P.V.<sup>1</sup> Petrova E.V.<sup>1</sup>

# DEVELOPMENT OF A WEB APPLICATION FOR OPTIMIZATION AND VISUALIZATION OPEN PIT LIMITS

<sup>1)</sup> Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia <sup>2)</sup> Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 46 Kostyukova St., Belgorod, 308012, Russia

e-mail: 1112269@bsu.edu.ru, Cadr@intbel.ru, petrov@bsu.edu.ru, geoblock@mail.ru, sergeeva\_ev@bsu.edu.ru

#### Abstract

To solve mining problems, it is necessary to build detailed block or voxel models that provide operational planning for discrete rock excavation volumes. Before starting work on the territory of the proposed quarry, it is necessary to analyze the area. Collect as much data as possible about available natural resources. After this, it is necessary to build a model and calculate what maximum

<sup>1)</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы, д. 85, г. Белгород, 308015, Россия

<sup>&</sup>lt;sup>2)</sup> Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ул. Костюкова, д. 46, г. Белгород, 308012, Россия



profit can be made from this field. A very expensive and platform restricting software is used to build a quarry model. It is much more productive to use web-technologies to visualize the information received. Especially when many web-technologies were compared in terms of performance and functionality with desktop solutions. In this paper, we consider the problem of finding the optimal boundaries of quarries of ore deposits, analyze existing products to solve this problem, consider the stages of designing and developing an original software solution based on web technologies to perform optimization and modeling of quarries of ore deposits.

**Keywords:** search open pit limits; visualization of block models; web application development; plotly.

#### ВВЕДЕНИЕ

В современном мире очень развита такая промышленность как горнодобывающая. Одна из самых развитых в стране, это добыча минеральных ресурсов. Очень часто, открываются новые карьеры и рудные месторождения.

Перед началом проведения работ на территории предполагаемого карьера, необходимо проанализировать местность. Собрать как можно обширные данные об имеющиеся природных ресурсах. После этого необходимо построить модель, и рассчитать какую максимальную прибыль можно извлечь из этого месторождения.

Для построения модели карьера используется очень дорогостоящее и платформа ограничивающее программное обеспечение.

Намного продуктивнее использовать web технологии для визуализации полученной информации. Особенно когда многие web технологии сравнялись по производительности и функциональности с десктопными решениями.

Например, при помощи такой технологии как WebGL, добившейся очень высоких результатов в обработке графики в web, можно строить и обрабатывать сложные модели, а также использовать различные эффекты [6, 7].

Таким образом построение модели карьера становится возможным в web. И пользовательпроектировщик, находясь около карьера, имея планшет и подключение к сети интернет, может просматривать модель строящегося карьера и делать какие-либо выводы.

В ходе данной работы рассматриваются детали реализации и тестирования web-приложения для оптимизации и визуализации форм карьеров рудных месторождений.

## АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ФОРМ КАРЬЕРОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

На сегодняшний день на рынке существует несколько систем способных решить такие задачи как проектирование карьеров, а также оптимизацию предельных границ [1, 2, 3, 4].

Одним из таких продуктов является система компании ГЕОМИКС Планирование. В данном решении содержатся инструменты проектирования уступов карьеров по заданным параметрам в зависимости от горно-геологических условий устойчивости бортов на проектируемых участках карьера позволяет построить положение горных пород на конец этапа планируемого периода по простиранию и глубине.

На любой стадии проектирования предусмотрена возможность автоматического получения качественных и количественных показателей для текущего положения горных работ по блочной модели как в целом по карьеру, так и по выбранным направлениям и горизонтам. Для возможности проверки данных расчёта объёмы вычисляются методом вертикальных сечений с визуализацией на каждом сечении соответствующих прирезок и характеристик пород в блочной модели. Данный продукт поставляется только для платформы Windows, а также имеет высокую стоимость.

Так же можно отметить такой продукт как Micromine. В нем содержится модуль оптимизации используется для определения наиболее прибыльных оболочек карьеров, учитывая ресурсы полезных ископаемых и набор экономических и горнопромышленных параметров. Он также используется для анализа рудных складов и затрат по временным периодам.



Модуль Оптимизация карьера полностью интегрирован с Micromine. Нет необходимости импортировать или экспортировать файлы для обмена данными с другими модулями.

Одним из бесплатных решений является такой продукт как Mineframe. Mineframe система автоматизированного планирования, проектирования и сопровождения горных работ. Приложение предназначено для комплексного решения широкого круга геологических, маркшейдерских и технологических задач, встречающихся в практике работы горнодобывающих предприятий, научных и проектных организаций. Система содержит обширный набор инструментов, позволяющих работать с трёхмерными моделями объектов горной технологии. Среди них геологические пробы, рудные тела и пласты, маркшейдерские точки, горные выработки, выемочные единицы, конструктивные элементы и узлы системы разработки, естественные и технологические поверхности (включая карьеры и отвалы), склады (штабели) и развалы горной породы. Mineframe предоставляется только для платформ Windows.

#### ВЫЯВЛЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К СИСТЕМЕ

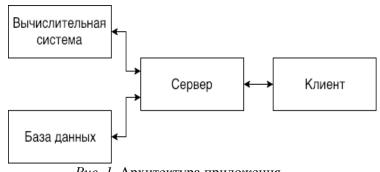
В результате обзора решений для задачи оптимизации предельных границ карьеров, а также их моделирования можно сделать вывод о том, что большая часть решений является платформа ограниченными и многие из них имеют довольно большую стоимость лицензии. Поэтому задача разработки именно web приложения, чтобы избежать зависимости от платформ, является актуальной [5, 8, 9].

Проанализировав информацию о существующих продуктах, решающих задачу оптимизации предельных границ и проектировании карьеров, можно выделить требования к таким системам. Разрабатываемая система должна удовлетворять следующим требованиям:

- Импортировать данные о месторождении для построения модели и расчетов в формате, описанном в статье [10].
  - Визуализировать полученные данные в 3D и данные после проведения вычислений.
  - Просматривать данные как загруженные, так и полученные в ходе вычислений.
  - Экспортировать изображения построенных моделей.
  - Предоставлять выбор метода для расчетов.
  - Создавать отчет основываясь на результатах вычислений.

#### ПРОЕКТИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМЫ

Проанализировав многие существующие решения, было решено реализовывать приложение для оптимизации и визуализации форм карьеров рудных месторождений на такой платформе как web. Таким образом были выделены основные узлы системы (рис. 1).



*Puc. 1.* Архитектура приложения *Fig. 1.* The architecture of the application

Для реализации приложения были выделены четыре узла.

Основным узлом является сервер. На сервере происходит основная работа с базой данных, а именно регистрация новых пользователей, проверка данных уже существующих пользователей, сохранение данных о карьерах получаемые от пользователей, сохранение результатов после



вычислений. Так же сервер работает с файлами и папками, загруженными от пользователей, при регистрации нового пользователя создается папка для хранения всех его файлов загруженных или полученных в результате вычислений.

Еще одной функцией сервера является пересылка данных на вычислительный узел для проведения вычислений, а также прием, уже результатов вычислений.

Далее, идет база данных. База данных служит для хранения профилей всех пользователей, которые содержат подробную информацию о пользователях, путях к файлам с данными о моделях, а также результатами вычислений на сервере. Так же в базе данных будет храниться очередь вычислений.

Следующий узел — это вычислительная система. На базе вычислительной системы будут производиться работы по оптимизации предельных границ карьера. Данные будут пересылаться с сервера, проходить обработку, а затем результаты будут возвращены на сервер и помещены в папку с соответствующим проектом в профиле пользователя.

На таком узле как клиент будет происходить визуализация интерфейса. Пользователь сможет просматривать данные о себе, моделях, которые он загрузил, результаты, которые были получены в ходе вычислений, а также построить 3D графики как блочной модели месторождения, так и основываясь на результатах вычислений график карьера, который необходимо построить.

## РЕАЛИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

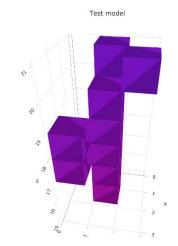
Для реализации клиентского приложения было принято решение использовать стандартную связку технологий для создания web страниц – HTML, JavaScript, CSS. Но реализацию визуальной составляющий приложения было решено упростить при помощи такого фреймворка как Bootstrap. Сервер реализован с использованием фреймворка Django, языка Python. Информация хранится в СУБД под управлением PostgreSQL.

Интерфейс разработан в виде интерактивных таблиц с информацией, которая выгружается из базы данных. Основными страницами для проведения работ являются «Модели», «Вычисления», «Визуализация».

Часть, которая отвечает за визуализацию модели реализована на JavaScript при помощи библиотеки Plotly. Пакет plotly – библиотека с открытым исходным кодом, построенная на plotly.js, которая, в свою очередь, базируется на d3.js. Библиотека бесплатна для использования и позволяет создавать неограниченное количество графиков в автономном режиме, а также до 25 диаграмм онлайн.

Для начала данные о координатах копируются и распределяются по соответствующим массивам (координаты для оси ординат, координаты для абсцисс, координаты для оси аппликат). Далее, для того чтобы построить какую-либо модель необходимо сформировать словарь с параметрами этой модели. Словарь имеет следующие поля: цвет, тип элемента, три массива с координатами (X, Y, Z), три массива для точек определяющих вершины треугольников, из которых состоят блоки и далее переменные отвечающие за сцену модели. И после формирования происходит построение блочной модели. Таким образом задав координаты блоков, можно получить блочную модель (рис. 2).





*Puc. 2.* Тестовый вывод блоков *Fig. 2.* Test block output

Таким образом возможно построение блочных моделей рудных месторождений, используя библиотеку plotly. Так же при помощи данной библиотеке в системе происходит построение схем уже готовых карьеров, и алгоритм построение схемы карьера с построением блочной модели примерно схож, за исключение того, что массив словарей формируется из числовых значений соответствующих осям абсцисс, ординат, аппликат.

#### ИНТЕРФЕЙС РАЗРАБОТАННОЙ СИСТЕМЫ

После авторизации или регистрации пользователь попадает на страницу, где находится полный список загруженных в систему моделей. Он может добавить модель либо удалить. Также, выбрав определенную модель можно просмотреть информацию о ней, о ее наборах данных. При переходе на вкладку вычисления пользователь видит такой же список с моделями и наборами данных, но к этому добавляются другие элементы интерфейса (рис. 3).

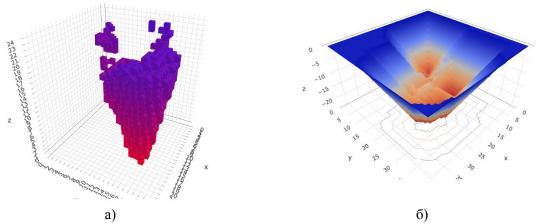
Моде	<b>Э</b> ЛИ		Наборы данных			
#	Назване модели	Дата создания модели	#	Кол-во блоков	Прибыль	Стоимость извлечения
1	Тестовая модель1 (N)	01.06.2019 08:37	1	1021	-	-
2	Тестовая модель 2 (Р)	01.06.2019 08:51	2	1059	28847021.9	25412790.75
3	Тестовая модель 3 (Z)	04.06.2019 12:53				
Врем	я начала: 05.06.2019 19:18					

 $Puc\ 3$ . Просмотр информации о моделях и статус решения задачи оптимизации  $Fig.\ 3$ . View information about models and the status of the solution to the optimization problem

После того как результаты будут готовы они буду помещены в таблицу с информацией о наборах данных. Во вкладке визуализации пользователь может построить блочную модель месторождения, а также модель карьера, который необходимо спроектировать.

После выбора модели, которую хочет построить пользователь произойдет открытие новой вкладки, на которой будет отображаться трёхмерная модель. Пример отображения блочной модели и трехмерной модели карьера показано на рис. 4.





Puc. 4. a) отображение блочной модели, б) отображение трехмерной модели карьера Fig. 4. a) visualization of the block model, b) visualization of the three-dimensional model of open pit

С полученной моделью можно взаимодействовать, а именно разворачивать, увеличивать, вращать. И если навести курсор мыши на какую-либо точку карьера можно увидеть всплывающее окно с координатами этой точки. Так же возможно сохранить снимок модели и экспортировать в виде изображения.

Таким образом можно сделать вывод что система работает исправно и выполняет все заложенные в нее функции для выполнения оптимизации и визуализации.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе была рассмотрена задача поиска оптимальных границ карьеров рудных месторождений, проведен анализ существующих продуктов для решения этой задачи, рассмотрены этапы проектирования и разработки оригинального программного решения на основе web технологий для выполнения оптимизации и моделирования карьеров рудных месторождений.

Исходя из возможностей полученного программного решения можно сделать вывод, что оно может удешевить такой этап как проектирование карьера, а также поможет отказаться от использования определённой операционной системы. Также система позволит выполнять проектирование карьеров прямо на месте проведения работ, отказавшись от обычных печатных листов со схемами. Пользователь сможет, держа в руках планшет, стоять рядом с местом проведения работ и давать указания по изменениям в строительстве карьера.

В качестве дальнейших возможных путей развития проекта можно предложить следующие пути:

- Оптимизация алгоритма поиска предельных границ карьера путем выполнения прогнозирования при помощи нейронных сетей;
- Оптимизации передачи файлов между сервером и вычислительных узлом путем использования протоколов TLS/SSL;
- Разработать еще одно Django приложение, которое будет формировать данные в формате JSON и отправлять их. Таким образом появится поддержка нативных мобильных приложений.

Исходя из всего сказанного можно сделать вывод что web приложение для оптимизации и визуализации карьеров рудных месторождений является готовым программным продукт, который имеет пути для улучшения и развития.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках проектов № 18-47-310001 «Разработка интеллектуальной высокопроизводительной компьютерной системы для реализации облачных вычислений процесса моделирования и оптимизации управления запасами горнорудного сырья» и № 17-07-00636 «Разработка интеллектуальной системы обработки и виртуализации геоданных на базе параллельных вычислений при прогнозировании запасов горнорудного сырья»



#### Список литературы

- 1. Crassin C., Green S. Octree-based sparse voxelization using the GPU hardware rasterizer. In OpenGL Insights / CRC Press, Boston, MA. 2012. p. 17-33.
- 2. Cheng T. Accelerating universal Kriging interpolation algorithm using CUDA-enabled GPU. Computers & Geosciences 54. 2013. p. 178–183.
- 3. Mei G, Xu L, Xu N. Accelerating adaptive inverse distance weighting interpolation algorithm on a graphics processing unit. R. Soc. open sci. 4: 170436. 2017. http://dx.doi.org/10.1098/rsos.170436
- 4. Fang Huang, Shuanshuan Bu, Jian Tao, and Xicheng Tan. OpenCL Implementation of a Parallel Universal Kriging Algorithm for Massive Spatial Data Interpolation on Heterogeneous Systems. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2016, 5, 96; http://dx.doi:10.3390/ijgi5060096
- 5. Васильев П.В., Майдаков М.А. Использование графического ускорения интерполяции Сибсона для моделирования геоструктур // 1-я международная научно-техническая конференция «Компьютерные науки и технологии». Изд-во БелГУ, 2009, Ч. 2. С.137-142.
- 6. Alejandro Graciano, Antonio J. Rueda, Francisco R. Feito, Real-time visualization of 3D terrains and subsurface geological structures. Advances in Engineering Software. 2017 http://dx.doi.org/10.1016/j.advengsoft.2017.10.002
- 7. NVIDIA: Библиотека вокселизации на основе параллельных вычислений по технологии CUDA https://github.com/NVIDIA/gvdb-voxels
  - 8. Roosta S.H. Parallel Processing and Parallel Algorithms: Theory and Computation. Springer, 2000. 566 p.
- 9. Петров Д.В., Михелев В.М. «Моделирование карьеров рудных месторождений на высокопроизводительных гибридных вычислительных системах», Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика. 2014. Т. 3. № 3. С. 124-129.
- 10.Espinoza D, Goycoolea M, Moreno E, Newman A. Minelib 2011: A library of open pit production scheduling problems. // Ann. Oper. Res., 2013. Vol.206(1), P. 93–114.

#### References

- 1. Crassin C., Green S. Octree-based sparse voxelization using the GPU hardware rasterizer. In OpenGL Insights / CRC Press, Boston, MA. 2012. p. 17-33
- 2. Cheng T. Accelerating universal Kriging interpolation algorithm using CUDA-enabled GPU. Computers & Geosciences 54. 2013. p. 178-183
- 3. Mei G, Xu L, Xu N. Accelerating adaptive inverse distance weighting interpolation algorithm on a graphics processing unit. R. Soc. open sci. 4: 170436. 2017. http://dx.doi.org/10.1098/rsos.170436
- 4. Fang Huang, Shuanshuan Bu, Jian Tao, and Xicheng Tan. OpenCL Implementation of a Parallel Universal Kriging Algorithm for Massive Spatial Data Interpolation on Heterogeneous Systems. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2016, 5, 96; http://dx.doi: 10.3390/ijgi5060096
- 5. Vasiliev P.V., Maydakov M.A. Using the graphic acceleration of Sibson interpolation for modeling geostructures // The 1-st International Scientific and Technical Conference "Computer Science and Technology". Publishing house of BelGU, 2009, Part 2. c.137-142.
- 6. Alejandro Graciano, Antonio J. Rueda, Francisco R. Feito, Real-time visualization of 3D terrains and subsurface geological structures. Advances in Engineering Software. 2017 http://dx.doi.org/10.1016/j.advengsoft.2017.10.002
- $7. \ \ NVIDIA: A \ \ voxelization \ \ library \ \ based \ \ on \ \ parallel \ \ computing \ \ using \ \ CUDA \ \ technology \ https://github.com/NVIDIA/gvdb-voxels$ 
  - 8. Roosta S.H. Parallel Processing and Parallel Algorithms: Theory and Computation. Springer, 2000. 566 p.
- 9. Petrov D.V., Mikhelev V.M. "Modeling quarries of ore deposits on high-performance hybrid computing systems", Bulletin of South Ural State University. Series: Computational Mathematics and Informatics. 2014. T. 3. No. 3. P. 124-129.
- 10.Espinoza D, Goycoolea M, Moreno E, Newman A. Minelib 2011: A library of open pit production scheduling problems. // Ann. Oper. Res., 2013. Vol.206 (1), P. 93-114.

**Вторников Александр Александрович,** магистрант кафедры математического и программного обеспечения информационных систем

**Федотов Евгений Александрович**, старший преподаватель кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем

**Петров Денис Васильевич,** старший преподаватель кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем



**Васильев Павел Владимирович,** кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем

**Петрова Елена Вадимовна,** ассистент кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем

**Vtornikov Alexander Alexandrovich,** Undergraduate Student of the Department of Mathematical and Software Information Systems

**Fedotov Evgeny Aleksandrovich**, Senior Lecturer, Department of Computer Software and Automated Systems **Petrov Denis Vasilevich**, Senior Lecturer of the Department of Mathematical and Software Information Systems **Vassiliev Pavel Vladimirovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mathematical and Software Information Systems

Petrova Elena Vadimovna, Assistant of the Department of Mathematical and Software Information Systems



УДК 621.396.01

DOI: 10.18413/2518-1092-2019-4-3-0-2

Черноморец А.А. Болгова Е.В. Черноморец Д.А.

#### О КВАЗИСУБПОЛОСНЫХ МАТРИЦАХ КОСИНУС-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы, д. 85, г. Белгород, 308015, Россия

e-mail: chernomorets@bsu.edu.ru

#### Аннотация

В статье исследованы свойства квазисубполосных матрицах косинус-преобразования, используемых при субполосном анализе-синтезе сигналов и изображений. Показано, что их собственные числа могут иметь положительные и отрицательные значения; предложены оценки их количества; показано, что сумма квазисубполосных матриц, соответствующих разбиению области определения косинус преобразования, равна нулевой матрице; и др. Приведены примеры субполосных компонент изображений, выделяемых с помощью квазисубполосных матриц, приведены примеры построения базисных изображений, полученных на основании произведения собственных векторов исследуемых матриц.

**Ключевые слова:** изображение; косинус преобразование; квазисубполосная матрица; подобласть пространственных частот; собственные числа и векторы

#### UDC 621.396.01

Chernomorets A.A. Bolgova E.V. Chernomorets D.A.

#### ON QUASI-SUBBAND MATRICES OF COSINE TRANSFORM

Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

e-mail: chernomorets@bsu.edu.ru

#### **Abstract**

In the article we explore the properties of quasi-subband cosine transform matrices used in subband analysis and synthesis of signals and images. It is shown that their eigenvalues can have positive and negative values; the estimates of their quantity are proposed. It is shown that the sum of quasi-subband matrices corresponding to the partition of the domain of definition of the cosine transform is equal to the zero matrix. In the article we demonstrate the examples of images subband components extracted by using quasi-subband matrices; the examples of the basic images obtained by using the product of the eigenvectors of the analysed matrices under study are given.

#### **Keywords:**

image, cosine transform, quasi-subband matrix, subdomain of spatial frequency, eigenvalues and eigenvectors.

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Отображение информации в виде цифровых изображений широко используется во всех сферах деятельности человека. Представляется важной разработка новых подходов цифровой обработки изображений, обеспечивающих адекватное решение существующих и новых задач в данной области. Одним из таких направлений является субполосный анализ-синтез изображений в рамках двумерного косинус преобразования, в основе которого лежит математический аппарат субполосных матриц [1, 2, 3] данного преобразования. Субполосный анализ-синтез в рамках косинус преобразования основан на анализе распределения частей энергии при косинус



преобразовании по подобластям пространственных частот, на которые разбивается область определения данного преобразования.

В рамках субполосного анализа рассматриваются изображения, представленные в виде матрицы  $\Phi=(f_{ik})$ ,  $i=1,2,...,N_1$ ,  $k=1,2,...,N_2$ , значений яркости его пикселей. Тогда, элементы субполосных матриц  $G_{r_1}=(g^{r_1}_{ik})$ ,  $i,k=1,2,...,N_1$ , и  $G_{r_2}=(g^{r_2}_{mn})$ ,  $m,n=1,2,...,N_2$ , косинус преобразования, соответствующих подобластям  $V_{r_1r_2}$ ,  $r_1=1,2,...,R_1$ ,  $r_2=1,2,...,R_2$ , пространственных частот, полученных при разбиении области определения преобразования на  $R_1\times R_2$  равных подобластей, следующего вида:

$$V_{r_{1}r_{2}} = \{(u,v) \mid u_{r_{1},1} \leq u < u_{r_{1},2}, \quad v_{r_{2},1} \leq v < v_{r_{2},2}\}, \ i = 1,2,...,N_{1}, \ k = 1,2,...,N_{2},$$
 (1) 
$$u_{r_{1},1} = (r_{1}-1)\sigma_{1}, \ u_{r_{1},2} = r_{1}\sigma_{1}, \ v_{r_{2},1} = (r_{2}-1)\sigma_{2}, \ v_{r_{2},2} = r_{2}\sigma_{2},$$
 
$$\sigma_{1} = \pi/R_{1}, \ \sigma_{2} = \pi/R_{2},$$

определяются на основании следующих соотношений:

$$g_{ik}^{r_1} = a_{ik}^{r_1} + h_{ik}^{r_1}, (2)$$

где  $a_{ik}^{r_i}$  — значения элементов субполосной матрицы  $A_{r_i}$  экспоненциального преобразования Фурье [4]:

$$a_{in}^{r_{1}} = \begin{cases} \frac{\sin(u_{r_{1},2}(i-k)) - \sin(u_{r_{1},1}(i-k))}{\pi(i-k)}, & i \neq k, \\ \frac{u_{r_{1},2} - u_{r_{1},1}}{\pi}, & i = k, \end{cases}$$
(3)

 $h_{ik}^{r_i}$  — значения элементов квазисубполосной матрицы  $H_{r_i}$  косинус преобразования [3] (квази СМКП):

$$h_{ik}^{r_i} = \frac{\sin(u_{r_i,2}(i+k-1)) - \sin(u_{r_i,1}(i+k-1))}{\pi(i+k-1)}$$
(4)

значения элементов  $g_{mn}^{r_2}$ , вычисляются аналогично (2)-(4).

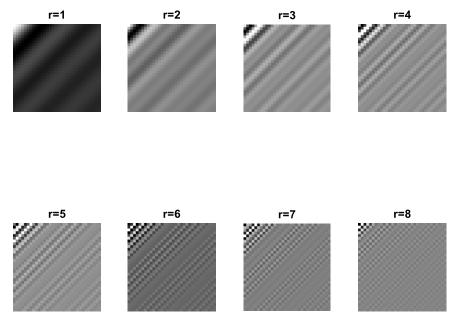
Свойства субполосных матриц экспоненциального преобразования Фурье (3) и субполосных матриц (2) косинус преобразования исследованы во многих работах [3, 5, 6].

Представляет интерес исследование свойств квазисубполосной матрицы  $H_r$  косинус преобразования с элементами вида (4). Далее для удобства изложения материала будем рассматривать изображения размерности  $N \times N$  и разбиение области определения косинус преобразования осуществим на  $R \times R$  подобластей.

Размерность квазисубполосной матрицы  $H_r$  косинус преобразования имеет значение  $N \times N$  , данное свойство следует из определения (4).

Квазисубполосные матрицы косинус преобразования является симметричными, что следует из определения (4). Визуальное представление значений элементов восьми квази СМКП  $H_r$ , r=1,2,...,R, соответствующих различным подобластям пространственных частот вида (1), для случая N=32, R=8 приведено на рисунке 1, на котором яркость пикселей изображений увеличивается с увеличением значений элементов данных матриц.





 $Puc.\ 1.$  Визуальное представление квазисубполосных матриц косинус преобразования при N=32, R=8  $Fig.\ 1.$  Visualization of quasi-subband matrices of cosine transform for N=32, R=8

Квазисубполосная матрица  $H_r$  косинус преобразования также является вещественной, что следует из определения (4). Следовательно, она обладает полным набором собственных векторов  $\vec{q}_k^r$ , k=1,2,...,N, образующих ортонормированный базис, и набором соответствующих собственных чисел  $\lambda_k^r$ , k=1,2,...,N:

$$H_{r}\vec{q}_{k_{1}}^{r} = \lambda_{k_{1}}^{r}\vec{q}_{k_{1}}^{r}, \quad H_{r}\vec{q}_{k_{2}}^{r} = \lambda_{k_{2}}^{r}\vec{q}_{k_{2}}^{r},$$

$$(\vec{q}_{k_{1}}^{r}, \vec{q}_{k_{2}}^{r}) = \begin{cases} 1, & k_{1} = k_{2}, \\ 0, & \textit{в} & \textit{противном} & \textit{случае}, \end{cases}$$

$$k_{1}, k_{2} = 1, 2, ..., N.$$

$$(5)$$

Квази СМКП  $H_r$  можно представить, на основании приведенных ранее свойств, в виде произведения матриц  $Q_r$  и  $L_r$ , где столбцы матрицы  $Q_r$  образованы собственными векторами матрицы  $H_r$ , матрица  $L_r$  — диагональная матрица с собственными числами матрицы  $H_r$ , расположенными на диагонали:

$$H_r = Q_r^T L_r Q_r. (6)$$

Можно показать, что сумма квазисубполосных матриц  $H_r$ , r=1,2,...,R, равна нулевой матрице Z:

$$\sum_{r=1}^{R} H_r = Z. \tag{7}$$

Справедливость соотношения (7) следует из определений (1), (4).

Квази СМКП имеет неотрицательные и отрицательные собственные числа. Пример значений собственных чисел квази СМКП при N=32, R=8 в виде диаграммы приведен на рисунке 2.



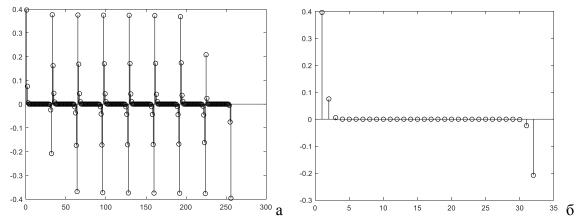


Рис. 2. Иллюстрация значений собственных чисел квази СМКП:

а – значения собственных чисел 8 квази СМКП  $H_r$ , r = 1,2,...,8,

 $\delta$  – значения собственных чисел матрицы  $H_1$ 

Fig. 2. Visualization of the values of the eigenvalues of quasi-subband matrices of cosine transform: a - eigenvalues of 8 quasi-subband matrices of cosine transform  $H_r$ , r = 1,2,...,8, b - eigenvalues of single matrix  $H_1$ 

На основании различных вычислительных экспериментов получено, что квази СМКП не имеют близких к единице собственных чисел.

Результаты оценивания количества положительных и отрицательных собственных чисел квази СМКП  $H_r$ , r=1,2,...,R, соответствующих различным частотным подобластям, в зависимости от размерности N при R=8 приведены в таблицах 1 и 2. При этом собственное число  $\lambda_k^r$  считается положительным, если выполняется условие:

$$\lambda_k^r > \varepsilon_0 \,, \tag{8}$$

собственное число  $\lambda_k^r$  считается отрицательным, если выполняется условие:

$$\lambda_k^r > \varepsilon_0, \tag{9}$$

где

$$\varepsilon_0 = 0.001$$
.

Таблица 1

# Результаты оценивания количества $J_{\textit{Pos}}$ положительных собственных чисел квази СМКП при R=8

Table 1

# Results of estimating of the number $J_{Pos}$ of positive eigenvalues of quasi-subband matrices of cosine transform for R=8

01 000m								
N	<i>r</i> =1	r=2	r=3	r=4	r=5	<i>r</i> =6	r=7	r=8
32	3	5	4	4	4	4	4	3
64	4	6	6	6	6	6	6	3
128	4	7	7	7	7	7	6	4
256	5	7	8	8	8	8	8	4
512	5	9	9	9	9	9	8	5



Таблица 2

# Результаты оценивания количества $J_{\textit{Neg}}$ отрицательных собственных чисел квази СМКП при R=8

Table 2

# Results of estimating of the number $J_{\textit{Neg}}$ of negative eigenvalues of quasi-subband matrices of cosine transform for R=8

01 000m								
N	<i>r</i> =1	r=2	r=3	r=4	r=5	<i>r</i> =6	r=7	r=8
32	3	4	4	4	4	4	5	3
64	3	6	6	6	6	6	6	4
128	4	6	7	7	7	7	7	4
256	4	8	8	8	8	8	7	5
512	5	8	9	9	9	9	9	5

На основании проведенных различных вычислительных экспериментов (отдельные результаты которых приведены в таблицах 1 и 2) можно считать, что оценка количества положительных  $J_{\textit{Pos}}$  и отрицательных  $J_{\textit{Neg}}$  собственных чисел квази СМКП определяется следующими соотношениями:

$$J_{Pos} \approx J_{Neg} \approx \log_2 \frac{N}{R} + 3$$
.

Известно [2, 4, 7], что при субполосном анализе в рамках заданного унитарного преобразования выделение (фильтрации) субполосных компонент  $Y_{\eta_{I'2}}$  изображения  $\Phi$ , соответствующих заданной подобласти пространственных частот  $V_{\eta_{I'2}}$  вида (1), основано на следующем соотношении:

$$Y_{r_1 r_2} = A_{r_1} \Phi B_{r_2} \,, \tag{10}$$

для вычисления значений частей энергии изображения, соответствующих заданной подобласти пространственных частот  $V_{n_r}$ , используется следующее соотношение:

$$E_{r_1 r_2} = tr(A_{r_1} \Phi B_{r_2} \Phi^T), \tag{11}$$

где  $A_{r_1}$  и  $B_{r_2}$  — субполосные матрицы заданного унитарного преобразования, соответствующие подобласти  $V_{nr_2}$  вида (1).

Можно показать, что если в выражении (10) использовать квазисубполосные матрицы (4), то сумма компонент изображений вида (10), соответствующих всем подобластям, на которые разбита область определения косинус преобразования, равна нулевому изображению Z, значения всех пикселей которого равны нулю:

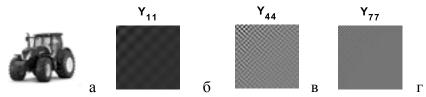
$$\sum_{r_1=1}^R \sum_{r_2=1}^R H_{r_1} \Phi H_{r_2} = Z, \qquad (12)$$

при этом сумма величин вида (11), вычисленных для всех подобластей, при использовании квазисубполосных матриц (4), равна нулю:

$$\sum_{r_1=1}^{R} \sum_{r_2=1}^{R} tr(H_{r_1} \Phi H_{r_2} \Phi^T) = Z.$$
 (13)

На рисунке 3 приведены примеры субполосных компонент (10) тестового изображения (рисунок 3a), соответствующих низкочастотным, среднечастотным и высокочастотным подобластям пространственных частот, при применении квази СМКП в соотношении (10).





*Рис. 3.* Пример выделения субполосных компонент изображения при применении квази СМКП при R=8: а – исходное изображение;

результаты квазифильтрации: 6 - в подобласти  $V_{11}$ , в - в подобласти  $V_{44}$ , r - в подобласти  $V_{77}$  *Fig. 3.* An example of the allocation of image subband components when applying quasi-subband matrices of cosine transform for R = 8: a - the original image;

quasifiltration results: b – in the subdomain  $V_{11}$ , c – in the subdomain  $V_{44}$ , d – in the subdomain  $V_{77}$ 

Пример распределения по частотным подобластям значений величин вида (11) при применении квази СМКП для преобразований изображения, представленного на рисунке 3a, и K=8 приведен на рисунке 4.

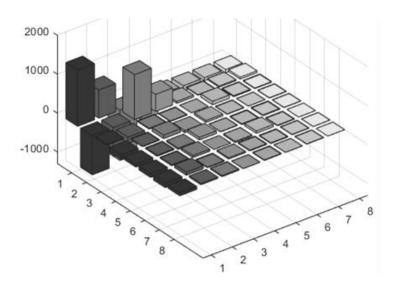


Рис. 4. Пример распределения по частотным подобластям значений величин вида (11) при применении квази СМКП

Fig. 4. An example of the distribution over frequency subdomains of values (11) when applying quasi-subband matrices of cosine transform

Данные, отображенные на рисунке 4, показывают, что величины вида (11) при применении квази СМКП могут принимать отрицательные значения.

Интерес представляет разложение изображения  $\Phi=(f_{ik})$ ,  $i=1,2,...,N_1$ ,  $k=1,2,...,N_2$ , в базисе собственных векторов квази СМКП  $H_{r_1}$  и  $H_{r_2}$ , соответствующих заданной частотной подобласти  $V_{r_1r_2}$ . Можно показать, что справедливы следующие соотношения:

$$\Gamma = Q^T \Phi U \,, \tag{14}$$

$$\Phi = Q\Gamma U^T, \tag{15}$$

$$\Phi = \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{k=1}^{N_2} \gamma_{ik} \vec{q}_i \vec{u}_k^T.$$
 (16)

где Q и U — матрицы, столбцы которых составлены из собственных векторов  $\{\vec{q}_i\}$ , i = 1,2,..., $N_1$ , и  $\{\vec{u}_k\}$ , k = 1,2,..., $N_2$ , матриц  $H_{r_1}$  и  $H_{r_2}$  соответственно,



 $\gamma_{ik}$ ,  $i = 1, 2, ..., N_1$ ,  $k = 1, 2, ..., N_2$ , — элементы матрицы  $\Gamma$ , значения которых определяются следующим соотношением:

$$\gamma_{ik} = \vec{q}_i^T \Phi \vec{u}_k, \ i = 1, 2, ..., N_1, \ k = 1, 2, ..., N_2.$$
(17)

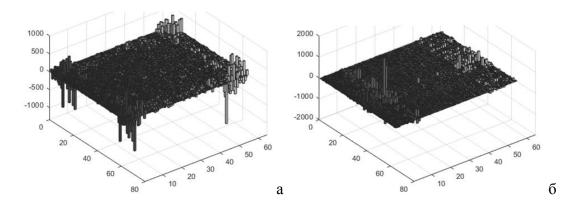
Таким образом, изображение  $\Phi$  может быть синтезировано на основании следующего соотношения:

$$\Phi = \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{k=1}^{N_2} \gamma_{ik} X_{ik}. \tag{18}$$

где  $X_{ik}$  – базисные изображения следующего вида:

$$X_{ik} = \vec{q}_i \vec{u}_k^T, i = 1, 2, ..., N_1, k = 1, 2, ..., N_2.$$
 (19)

В качестве примера для изображения, приведенного на рисунке 3а, значения элементов матрицы  $\Gamma$  (14), (17) для частотных подобластей  $V_{11}$  и  $V_{32}$  при R=8 представлены в виде диаграмме на рисунке 5.



*Рис.* 5. Пример значений элементов матрицы  $\Gamma$ :

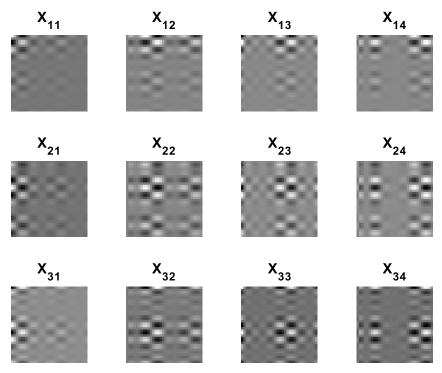
а – для подобласти  $V_{11}$ , б – для подобласти  $V_{32}$ 

Fig. 5. An example of the values of the matrix G elements:

a – for the subdomain  $V_{11}$ , b – for the subdomain  $V_{32}$ 

На рисунке 6 приведены примеры базисных изображений (19), полученных на основании собственных векторов квази СМКП при N=32 , R=8 для подобласти  $V_{32}$  .





*Рис.* 6. Примеры базисных изображений в базисе собственных векторов квази СМКП при N=32 , R=8 для подобласти  $V_{32}$ 

Fig. 6. Examples of basic images in the basis of the eigenvectors of quasi-subband matrices of cosine transform for N=32, R=8 for the subdomain  $V_{32}$ 

Изображения, приведенные на рисунке 6, показывают, что базисные изображения, полученные на основании собственных векторов квази СМКП, имеют различные частотные составляющие для различных собственных векторов.

Таким образом, рассмотренные свойства квазисубполсных матриц косинус преобразования могут быть использованы при разработке методов анализа, синтеза и хранения цифровых изображений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке  $P\Phi\Phi U$  в рамках научного проекта № 19-07-00657.

#### Список литературы

- 1. Черноморец А.А., Болгова Е.В. Об анализе данных на основе косинусного преобразования // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 2015. № 1 (198). С. 68-73.
- 2. Черноморец А.А., Болгова Е.В., Черноморец Д.А. Обобщенный субполосный анализ на основе унитарных преобразований // Научные ведомости БелГУ. Сер. Экономика. Информатика. -2015. № 7 (204). Вып. 34/1. С. 97-104.
- 3. Болгова Е.В. Свойства субинтервальных матриц двумерного косинусного преобразования // Информационные системы и технологии. 2017. № 6 (104). С. 19-28.
- 4. Жиляков Е.Г., Черноморец А.А., Белов А.С., Болгова Е.В. О субполосных свойствах изображений // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 2013. № 7 (150). С. 175-182.
- 5. Черноморец А.А., Прохоренко Е.И., Голощапова В.А. О свойствах собственных векторов субполосных матриц // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 2009. № 7 (62). С. 122-128.
- 6. Болгова Е.В. О собственных числах субинтервальных матриц косинусного преобразования // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 2017. № 2 (251). С. 92-101.



7. Жиляков Е.Г., Черноморец А.А. Об оптимальном выделении субполосных компонент изображений // Информационные системы и технологии. 2013. № 1 (75). С. 5-11.

#### References

- 1. Chernomorets A.A., Bolgova E.V. On the analysis of data based on the cosine transformation. // Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics. Information technologies. 2015. No. 1(198). P. 68-73.
- 2. Chernomorets A.A., Bolgova E.V., Chernomorets D.A. Generalized subband analysis based on unitary transformations // Scientific reports of BelSU. Ser. Economy. Informatics. 2015. No. 7 (204). Vol. 34/1. P. 97-104.
- 3. Bolgova E.V. Properties of sub-interval matrices of two-dimensional cosine transform // Information systems and technologies, 2017. No. 6 (104). P. 19-28.
- 4. Zhilyakov E.G., Chernomorets A.A., Belov A.S., Bolgova E.V. About subband image properties // Scientific reports of Belgorod State University. Series: Economics. Informatics. 2013. No. 7 (150). P. 175-182.
- 5. Chernomorets A. A., Prokhorenko E. I., Goloshchapova V. A. About the properties of eigenvectors of subband matrices // Scientific statements of Belgorod State University. Series: Economics. Informatics. 2009. No. 7(62). P. 122-128
- 6. Bolgova E.V. On the eigenvalues of sub-interval matrices of cosine transform // Scientific reports of Belgorod State University. Series: Economics. Informatics. 2017. No. 2 (251). P. 92-101.
- 7. Zhilyakov EG, Chernomorets A.A. On the optimal allocation of subband image components // Information Systems and Technologies. 2013. No. 1 (75). P. 5-11.

**Черноморец Андрей Алексеевич,** доктор технических наук, доцент, профессор кафедры прикладной информатики и информационных технологий

**Болгова Евгения Витальевна,** старший преподаватель кафедры прикладной информатики и информационных технологий

**Черноморец Дарья Андреевна,** магистрант кафедры математического и программного обеспечения информационных систем

**Chernomorets Andrey Alekseevich,** Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies

**Bolgova Evgeniya Vitalievna,** Senior Lecturer, Department of Applied Informatics and Information Technologies **Chernomorets Daria Andreevna,** master student, Department of Mathematical and Software Information Systems



## СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

УДК 621.391.63

DOI: 10.18413/2518-1092-2019-4-3-0-3

Александров Д.Д. Косов Е.О. Архипов С.Н. МОДЕЛЬ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПАССИВНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СЕТИ

Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации», ул. Приборостроительная, д. 35, г. Орёл, 302034, Россия

e-mail: danillaleksandrov57@mail.ru

#### Аннотация

В статье рассматривается модель программного комплекса по проектированию пассивных оптических сетей, а также требования к ней. Рассмотрен оптимизационно-имитационный подход направленный на разработку программного обеспечения, а так же приведена модель формализованной постановки задачи, при этом, сеть доступа рассматривается как сложная взаимоувязанная система, в которой в единую логистическую цепь объединяются процессы передачи данных от разных источников, а также происходит распределение этих потоков до конкретных получателей.

Ключевые слова: пассивные оптические сети; модель; программный комплекс.

#### UDC 621.391.63

Aleksandrov D.D. Cosov. E.O. Arkhipov S.N.

# MODEL OF THE PROGRAM COMPLEX SUPPORT OF DECISION MAKING ON THE DESIGN OF PASSIVE OPTICAL NETWORK

Federal state military educational institution of higher professional education "Academy of the Federal security service of the Russian Federation", 35 Priborostroitelnaya St, Orel, 302034, Russia

e-mail: danillaleksandrov57@mail.ru

#### **Abstract**

The article discusses the model of the software package for the design of passive optical networks, as well as the requirements for it. An optimization and simulation approach aimed at software development is considered, as well as a model of a formalized formulation of the problem is presented, in this case, the access network is considered as a complex interconnected system in which processes of data transfer from different sources are combined into a single logistics chain, and also these data are distributed flows to specific recipients.

**Keywords:** passive optical networks; model; software package.

Эффективность построения и применения пассивных оптических сетей связи достигается комплексным решением множества задач, позволяющих максимально использовать потенциальные возможности системы специальной связи в мирное и военное время. Для обеспечения успешного выполнения системой специальной связи задач, необходимо максимально эффективно использовать ресурс, предоставляемый в интересах органов государственной власти, который представляет собой совокупность взаимоувязанных элементов и среды распространения информационных сигналов [1].

Для решения задач проектирования сетей связи специального назначения на основе технологии PON необходимо обеспечить оптимальное размещение и выбор элементов,



обеспечивающих процесс приема и передачи информации с заданным качеством. Благодаря разработке программного комплекса поддержки принятия решения, возможно будет оптимально распределять элементы сети, а также выбирать такую топологию сети, при которой будет выполняться «баланс» сети в целом.

Для рационализации принятия решений при проектировании пассивных оптических сетей доступа целесообразно использование оптимизационно-имитационного подхода [2].

Оптимизационно-имитационный подход основан на совместном применении имитационных и оптимизационных моделей в процессе проектирования пассивной оптической сети [2]. При этом имитационные модели используются для оценки основных характеристик пассивных оптических сетей. В частности, важным этапом проектирования пассивной оптической сети является расчет оптического бюджета. Рассчитанные значения оптического бюджета пассивной оптической сети является исходной информацией для формирования критериев оптимальности и ограничений в оптимизационных моделях. Целенаправленным варьированием параметров имитационной модели можно получить оптимальные и близкие к оптимальным решения.

Рассматриваемые оптимизационные задачи обобщенно могут быть сформулированы следующими соотношениями (1):

$$f_{i}(X) \to \min_{X \in D}, i = \overline{1, m}$$

$$D\{X | X$$

$$i^{g_{s}(X) \ge 0, h_{k}(X) = 0, s = \overline{1, r}; k = \overline{1, p}}_{min_{i}^{max}\overline{1, m}},$$

$$(1)$$

где  $X = (x_1 ... x_n)$  – вектор варьируемых параметров модели;

 $f_i(X)$  – частные критерии оптимальности;

D — допустимая область, представленная ограничениями двух видов:

прямыми 
$$(x_j^{max})$$
 и функциональными  $(g_s(X) \ge 0, \Box_k(X) \approx 0)$ .

При этом предполагается, что критерии и ограничения (или их часть) заданы алгоритмически в виде моделирующих процедур, позволяющих по заданным значениям  $X=(x_1\dots x_n)$  получать значения  $f_i(X), g_p(X), \square_k(X)$ .

Современная сеть доступа рассматривается как сложная взаимоувязанная система, в которой в единую логистическую цепь объединяются процессы передачи данных от разных источников, а также происходит распределение этих потоков до конкретных получателей [3]. Особенностью пассивных оптических сетей является высокая трудоемкость расчета энергетических составляющих, в частности оптического бюджета сети. Это связано с многообразием связей между структурными элементами систем, неоднозначностью алгоритмов расчета при различных условиях, а также большим числом учитываемых параметров. Необходимость комплексного учета данных факторов затрудняет разработку оптимизационных моделей в аналитической формулировке и приводит к использованию аппарата имитационного моделирования. При этом связи между входными и выходными параметрами задаются с помощью различных моделирующих алгоритмов в соответствии с закономерностями функционирования пассивных оптических сетей.

Практическая реализация оптимизационно-имитационного подхода при оптимизации пассивных оптических сетей предполагает решение следующих основных задач:

- построение комплексной модели пассивной оптической сети доступа;
- формирование алгоритмов преобразования исходных данных с целью направленного проведения модельных экспериментов;
  - разработка имитационных моделей в процессе поиска оптимальных решений.

Перед началом поиска оптимальной структуры пассивной оптической сети осуществляются построение оптимизационной модели (определение размерности задачи, формирование критериев и ограничений), установка исходных данных для элементов сети, а также ввод параметров, использующихся для решения данной задачи. Оптимизационная модель может быть сформирована пользователем в диалоговом режиме или выбрана из ранее разработанных моделей. Характеристики



построенной модели являются исходной информацией для выбора рациональных процедур оптимизации. Далее после расчета оптического бюджета сети, пользователь может наглядно определить направления сети, где необходима корректировка параметров или изменение варианта размещения и соединения элементов.

Применение программного комплекса поддержки принятия решений при оптимизации пассивных оптических сетей, разработанного с использованием оптимизационно-имитационного подхода, позволит учитывать различные аспекты, возникающие при выборе оптимальной с точки зрения топологической, энергетической и экономической составляющих структуры сети [4, 5].

С целью определения содержания программного комплекса необходимо сформировать требования к массиву выходных данных, интерпретация которых [6-10] позволит четко решать поставленную перед программой задачу, при этом вывод результатов должен обладать наглядностью и однозначностью. Для этого необходимо разработать модель задачи, которая будет наглядно отображать содержательную часть программного комплекса, а также определять взаимосвязь входящих в него блоков.

Для разработки модели программного комплекса, с помощью которого будет возможно рассчитать сбалансированность PON сети, необходимо создать совокупность взаимоувязанных массивов исходных данных для сети, блоков моделирования и расчета сети, а также разработать удобный и наглядный визуальный интерфейс.

Согласно поставленной задаче, модель должна состоять из взаимоувязанных блоков, представленных на рисунке 1.



*Puc. 1.* Модель программного комплекса *Fig. 1.* The software package model

В массиве вводимых параметров должны находиться все необходимые для расчета PON сети данные.

В базе данных элементов сети должно быть реализовано хранение и добавление характеристик элементов PON сети, необходимых для расчета.

Блок расчета предназначен для того, чтобы на основе вводимых параметров и модели реализовать расчет энергетического бюджета PON сети.

Для удобства ввода исходных данных и наглядности получения результатов вычисления, блок расчета должен основываться на структурированной модели сети. В блоке моделирования сети должна быть реализована возможность размещения элементов сети на рабочей области с соблюдением их топологической взаимосвязи. Также для каждого добавляемого элемента сети должны быть определены параметры, необходимые для расчета.



С помощью визуального интерфейса программного комплекса осуществляется ввод исходных данных и моделирование сети для дальнейшего расчета энергетического бюджета и вывода результатов.

Информационно—справочный блок предназначен для того, чтобы специалист мог оперативно ознакомиться с основами технологии PON и порядком осуществления расчетов.

Основной задачей разработки программного комплекса является расчет энергетического бюджета сети доступа и ее анализ по критерию «баланса».

С целью решения поставленной задачи, необходимо чтобы выходной массив данных содержал сведения по энергетическим характеристикам каждого направления и имел возможность проводить обобщение данных с одновременным анализом указанного критерия.

Программные комплексы поддержки принятия решений (ПКППР) служат для помощи должностным лицам (ДЛ) в реализации процессов поддержки решения посредством автоматизации как творческих процессов выработки и принятия решений, так и нетворческих процессов сбора и доведения информации, образовавшиеся в результате слияния информационных систем управления и систем управления базами данных [5]. Они являются интерактивными автоматизированными системами, одной из основных задач которых помогать специалисту путем рекомендации в качестве решения наиболее рациональные альтернативы. Такие комплексы обладают простым интерфейсом, что бы у большинства пользователей не было проблем с использованием системы.

ПКППР должны быть максимально приспособлены для решения сложных, многокритериальных задач в различных сферах и призваны оказывать помощь специалисту в оптимальном выборе какого—либо ответственного решения. Такое решение основывается на анализе специалистом альтернатив, выработанных ПКППР.

В теории принятия решений [5] альтернативами называются варианты выбора возможных решений. Использование понятия «поддержка» (принятия решений) означает, что окончательный выбор решения определяет специалист, а программный комплекс лишь помогает принять наиболее оптимальное решение, давая рекомендации.

Для принятия оптимального решения по построению сети, необходимо чтобы ДЛ с использованием ПКППР мог осуществить следующие действия:

- определить множество альтернатив (возможных вариантов решения поставленной задачи);
  - определить множество критериев, по которым будут оцениваться альтернативы;
  - выработать оценки альтернатив по критериям;
- выбрать альтернативу, которая определяется программным комплексом поддержки принятия решений в качестве оптимального варианта решения поставленной задачи.

Определив требования к разрабатываемому программному комплексу, необходимо осуществить анализ и выбор средств его реализации.

Таким образом, необходимо разработать программный комплекс, с помощью которого будет возможно моделирование сети, а также, на основе модели сети, произвести расчет энергетического бюджета с возможностью наглядным образом оценить сбалансированность сети по критерию «баланса». Также, на основе полученных данных, проектировщик должен иметь возможность оперативного изменения параметров, элементов и топологии сети для достижения необходимого оптимального значения.

#### Список литературы

- 1. Бутусов М.М., Волоконно-оптические системы передачи: Учебник для вузов. Москва: Радио и связь, 1992.-416 с.
- 2. Хоботов Е.Н., Оптимизационно-имитационный подход к моделированию сложных систем Москва: Изв. РАН, 1996. 178 с.
- 3. Никульский И.Е., Оптические интерфейсы цифровых коммутационных станций и сети доступа. Москва: Техносфера, 2006. 256 с.
- 4. Архипов С. Н., Алгоритм оптимизации бюджета PON сети / С. Н. Архипов, И. С. Полянский // Телекоммуникации. Специальный выпуск. Москва, 2012. С. 3-9.



- 5. Есиков О.В., Автоматизированные информационные системы: методы построения и исследования. Модели и методы поддержки принятия решений Москва: Инфра-М, 2010. 488 с.
  - 6. Цвиркун А.Д. Структура многоуровневых и крупномасштабных систем. М.: Наука, 1993. 287 с.
- 7. Хоботов Е.Н. Оптимизационно-имитационный подход к моделированию сложных систем // Изв. РАН. 1996. № 1. С. 12-24 (Теория и системы управления).
  - 8. Маклаков С.В. Моделирование бизнес-процессов с BPwin 4.0. М.: Диалог-МИФИ, 2002. 224 с.
  - 9. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. СПб: Питер, 2004. 848 с.
  - 10. Батищев Д.И., Львович Я.Е., Фролов В.Н. Оптимизация в САПР. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1997.

#### References

- 1. Butusov MM, Fiber-optic transmission systems: Textbook for high schools. Moscow: Radio and Communications, 1992. 416 p.
- 2. Khobotov EN, Optimization-simulation approach to modeling complex systems Moscow: Izv. RAS, 1996.  $178 \, \mathrm{p}$ .
- 3. Nikulsky IE, Optical interfaces of digital switching stations and access networks. Moscow: Technosphere, 2006. 256 p.
- 4. Arkhipov S. N., Budget optimization algorithm for the PON network / S. N. Arkhipov, I. S. Polyansky // Telecommunications. Special issue. Moscow, 2012. p. 3-9.
- 5. Esikov OV, Automated information systems: methods of construction and research. Models and methods of decision support Moscow: Infra-M, 2010. 488 p.
  - 6. Zvirkun A.D. The structure of multi-level and large-scale systems. M.: Nauka, 1993.287 s.
- 7. Khobotov E.N. Optimization-simulation approach to modeling complex systems // Izv. RAS. 1996. No. 1. P. 12-24 (Theory and control systems).
  - 8. Maklakov S.V. Business Process Modeling with BPwin 4.0. M.: Dialog-MEPhI, 2002. 224 p.
  - 9. Kelton V., Low A. Simulation. St. Petersburg: Peter, 2004.848 p.
- 10. Batishchev D.I., Lvovich Y.E., Frolov V.N. Optimization in CAD. Voronezh: VSU Publishing House, 1997.

**Александров Даниил Дмитриевич,** студент Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации **Косов Егор Олегович,** студент Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации **Архипов Сергей Николаевич,** кандидат технических наук, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации

Aleksandrov Daniil Dmitrievich, student Academy of the Federal security service of the Russian Federation

Cosov Egor Olegovich, student Academy of the Federal security service of the Russian Federation

Arkhipov Sergey Nikolaevich, candidate of technical sciences, Academy of the Federal security service of the Russian Federation



УДК 004.932 DOI: 10.18413/2518-1092-2019-4-3-0-4

Батищев Д.С.

#### МЕТРИКИ КАЧЕСТВА МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д. 85, г. Белгород, 308015, Россия

e-mail: batishchev@bsu.edu.ru

#### Аннотация

Данная статья посвящена проблеме определения качества медицинских изображений. Сейчас многие цифровые медицинские аппараты представляют выходные данные в виде цифрового снимка, и в силу различных факторов изображения могут быть расфокусированы, зашумлены, иметь другие недостатки, которые препятствуют нормальному анализу человеку или алгоритмам компьютерного зрения. Авторы описывают несколько метрик, подходящих для определения качества медицинских изображений: меры размытости, сегментации, энтропии изображения, резкости, уровня шумов. Вычислив данные меры для интересующего изображения можно предположительно сказать, насколько изображение подходит для анализа человеческим глазом или алгоритмами компьютерного зрения.

Ключевые слова: обработка изображений; компьютерное зрение; качество изображений.

#### **UDC 004.932**

#### Batishchev D.S.

## MEDICAL IMAGE QUALITY METRICS

Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

e-mail: batishchev@bsu.edu.ru

#### **Abstract**

This article is about the problem of calculating the quality of medical images. Nowadays many digital medical devices present the output in the form of a digital image, and due to various factors, images can be out of focus, noisy, and have other drawbacks that interfere with normal human analysis or computer vision algorithms. Authors describe several metrics that are suitable for determining the quality of medical images: measures of blurriness, segmentation, image entropy, sharpness, noise level. With these metrics for the image of interest, we can say with some probability if the image is suitable for analysis by the human eye or computer vision algorithms.

## **Keywords:** image processing; computer vision; image quality.

#### ПРОБЛЕМА

Ранжирование изображений по их качеству является одной из наиболее распространенных проблем во многих областях прикладной науки и техники. Медицина не является исключением – при обследовании пациентов генерируются существенные объемы визуальных данных, которые сложно анализировать одновременно. Предварительная обработка этих данных путем извлечения лучших изображений для дальнейшей диагностики может сэкономить время для отбора подходящих изображений. Так же можно разработать улучшающие качество фильтры, которые сделают данные изображения более удобными для человека или алгоритмов компьютерного зрения.

В данной работе рассматривается качество как характерная для изображения характеристика, воспринимаемая средним человеком-наблюдателем. В настоящее время часто измеряют качество изображения с помощью одной из метрик, например, контрастность, размытость и т.п.

Практическая цель – найти ограниченный набор функций, которые описывают воспринимаемое качество. Такой набор является первым шагом в решении практической задачи



разработки инструмента вычисления качества медицинских изображений, а также инструмента, улучшающего их качество.

#### **МЕТОДЫ**

#### Мера размытости

частично размытое изображение влияет на восприятие качества. рассматривается размытость как важный фактор восприятия качества изображения. В этой работе используется две разные меры размытия.

Первый, описанный Ф. Критом и Т. Долмиром [6], использует фильтр нижних частот и основан на принципе, согласно которому уровень серого цвета соседних пикселей в менее размытом изображении изменяется с большей вариацией, чем в его размытой копии. Таким образом, они рассчитывают абсолютную разность D по вертикали и горизонтали для соседних пикселей в исходных и размытых изображениях (1):

$$D_{ver(x,y)} = |I(x,y) - I(x-1,y)|, x = 2 \dots w, y = 1 \dots h,$$

$$D_{hor(x,y)} = |I(x,y) - I(x,y-1)|, x = 1 \dots w, y = 2 \dots h,$$
(1a)

$$D_{hor(x,y)} = |I(x,y) - I(x,y-1)|, x = 1 \dots w, y = 2 \dots h,$$
(16)

где I(x, y) – значение интенсивности в пикселе (x, y), h и w – высота и ширина изображения. После этого необходимо вычислить вариативность соседних пикселей до и после размытия: если разница велика, исходное изображение считается достаточно резким. В вычислении вариативности участвуют только уменьшающуюся разницу, отсюда V для вертикального и горизонтального направлений (2):

$$V_{ver}(x,y) = max(0,D_{ver(x,y)} - D_{B_{ver}(x,y)}), x = 1 \dots w - 1, y = 0 \dots h - 1,$$
 (1)

где  $D_{B_{ver}(x,y)}$  – модуль разницы для размытого изображения В.

Наконец, размытость для вертикального направления вычисляется: 
$$F_{blur_{ver}} = \frac{\sum_{x,y=1}^{w-1,h-1} D_{ver(x,y)} - \sum_{x,y=1}^{w-1,h-1} V_{ver(x,y)}}{\sum_{x,y=1}^{w-1,h-1} D_{ver(x,y)}}$$
(3)

Горизонтальная размытость рассчитывается таким же образом. В качестве окончательной меры размытия выбирается максимум :  $F_{blur} = max(F_{blur_{hor}}, F_{blur_{ver}})$ . Далее –  $F_{blur_{\_1}}$ .

Еще одна мера размытости была представлена Мин Гу Чой [12], основанная на выделении краев с использованием градиента интенсивности. Авторы определяют значение модуля разности пикселей по горизонтали и вертикали, вычисляемое как разность между его левым и правым или верхним и нижним соседними пикселями. Затем они получают средние горизонтальные и вертикальные абсолютные разности  $D_{hor_{mean}}$  для всего изображения, как в (4).

$$D_{hor_{mean}} = \frac{1}{wh} \sum_{x=1}^{w} \sum_{y=2}^{w} |(x, y - 1) - I(x, y + 1)|$$
 (4)

Затем каждое значение пикселя сравнивается со средними значениями модуля горизонтальной разности, вычисленными для всего изображения, чтобы выбрать потенциальные граничные пиксели как  $C_{hor}(x, y)$ :

$$C_{hor}(x,y) = \begin{cases} D_h(x,y), & \text{если } D_h(x,y) > D_{hor_{mean}}, \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases}$$
 (5)

Если потенциальный пиксель  $C_{hor}(x,y)$ имеет модуль горизонтального значения больше, чем его горизонтальные соседи, этот пиксель будет классифицирован как краевой пиксель  $E_{hor}(x,y)$ , как показано в (6).

$$E_{hor}(x,y) = \begin{cases} 1, & \text{если } C_{hor(x,y)} > max \left( C_{hor(x,y-1)}, C_{hor(x,y+1)} \right), \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases}$$
(6)

Каждый краевой пиксель проверяется, чтобы определить, соответствует ли он размытому краю или нет. Во-первых, горизонтальная размытость пикселя вычисляется согласно (7).

$$Blur_{hor}(x,y) = \frac{\left| I(x,y) - \frac{1}{2} (I(x,y+1) + I(x,y-1)) \right|}{\frac{1}{2} (I(x,y+1) + I(x,y-1))}$$
(7)



Вертикальное значение получается таким же образом, выбирается максимум из двух значений для окончательного решения. Пиксель считается размытым, если его значение превышает предопределенный порог (например, 0.1, вычисляется эмпирически).

$$B(x,y) = \begin{cases} 1, \text{если } \max(Blur_{hor}(x,y), Blur_{ver}(x,y)) > 0.1 \text{ and} \\ 0, \text{ в остальных случаях} \end{cases}$$
 (8)

Наконец, результирующая мера размытия для всего изображения называется инвертированной размытостью и вычисляется как отношение количества пикселей с размытыми краями к количеству краевых пикселей (9).

$$F_{blur} = 1 - \left( \sum_{x,y=1}^{w,h} B(x,y) / \sum_{x,y=1}^{w,h} E(x,y) \right)$$
 Далее будем называть эту меру  $F_{blur\_2}$ , чтобы отличить ее от размытия, описанного в [6].

Предположим, что увеличение размытости должно негативно повлиять на качество восприятия, потому что очень размытое изображение потеряет важную информацию и будет менее привлекательным.

#### Мера энтропии изображения

Основная идея энтропии заключается в измерении неопределенности изображения. Чем больше информации и меньше шума содержится в изображении, тем более оно будет полезным, и можно будет связать полезность изображения с его объективным качеством. В исследовании энтропия по Шеннону была рассчитана для всего изображения, его переднего плана и фона согласно (10).

$$F_{ent} = -\sum_{k=1}^{n} p(I_k) * log_2 p(I_k), \tag{10}$$

где  $p(I_k)$  – вероятность конкретного значения интенсивности  $I_k$ .

Предполагается, что более высокая энтропия должна означать, что в изображении содержится больше сигнала. Например, если есть меньше деталей и больше плоских поверхностей, энтропия будет меньше. Однако изображение с шумом будет иметь большую энтропию, поэтому необходимо рассматривать энтропию для трех уровней изображения.

#### Мера сегментации

В [11] показано, на сколько разных сегментов изображения могут быть разделены. В работе используется простейшая, но наиболее интуитивная реализация, сравнивая два основных сегмента: фоновое изображение (seg1) и передний план (seg2). В данном случае просто вычисляется среднее значение интенсивности и используется все пиксели с более низкой интенсивностью в качестве фона, в то время как остальные пиксели классифицируются, как объектные. Чтобы вычислить меру сегментации, средняя разность U для соседних пикселей в скользящем окне 3x3 вычисляется для каждого сегмента изображения (11):

$$U_{seg}(x,y) = \sum_{m,n=-1}^{1} (I(x,y) - I(x-n,y-m))^{2}$$
(11)

приводя к следующей мере W:

$$W = \frac{1}{N_{seg1}} \sum_{(x,y) \in seg_1} U_{seg1}(x,y) + \frac{1}{N_{seg2}} \sum_{(x,y) \in seg_2} U_{seg2}(x,y)$$
 (12)

Далее вычисляется средняя интенсивность пикселей в каждом сегменте и получается квадратная разница между средними интенсивностями самой пары сегментов. Сумма квадратов разностей средних интенсивностей называется В:

$$B = \left(\frac{1}{N_{seg1}} \sum_{(x,y) \in seg_1} U_{seg1}(x,y) - \frac{1}{N_{seg2}} \sum_{(x,y) \in seg_2} U_{seg2}(x,y)\right)^{-2}$$
(13)

Результирующая мера вычисляется как:

$$F_{sep} = 1000 * W + B(14)$$

и она будет высокой для изображений с высокой разницей между сегментами и низкой разницей внутри сегмента.

#### Мера резкости

Эта мера [12] основана на предположении, что различия соседних пикселей больше изменяются в областях с острыми краями. Поэтому авторы вычисляют разность второго порядка



для соседних пикселей в качестве дискретного аналога второй производной для изображения, прошедшего через шумоподавляющий медианный фильтр:

$$\Delta D_2(x,y) = [I_m(x+2,y) - I_m(x,y)] - [I_m(x,y) - I_m(x-2,y)], \tag{15}$$

где  $I_m$  – оригинальное изображение, пропущенное через медианный фильр.

Далее авторы определяют вертикальную резкость для каждого пикселя  $S_{ver}$  как:

$$S_{ver}(x,y) = \sum_{x-t=k=x+t} |\Delta D_2(k,y)| / \sum_{x-t=k=x+t} |I(k,y) - I(k-1,y)|, \tag{16}$$

и каждый пиксель считается резким, если его резкость превышает 0.0001. Число резких пикселей  $N_{S_{VER}}$  вычисляется, и краевые пиксели находятся с помощью метода Canny, число  $N_{E_{VER}}$  равно их количеству. Затем тот же процесс повторяется в горизонтальном направлении, и отношение острых краевых пикселей для вертикального и горизонтального направлений вычисляется как:

$$F_{sharp} = \sqrt{\left(\frac{N_{S_{HOR}}}{N_{E_{HOR}}}\right)^2 + \left(\frac{N_{S_{VER}}}{N_{E_{VER}}}\right)^2} \tag{17}$$

Предполагается, что резкое изображение более привлекательно для глаза и содержит больше полезной информации.

#### Мера уровня шумов

Естественно предположить, что наличие шума может отрицательно сказаться на качестве воспринимаемого изображения. Поэтому включили меру шума, разработанную Масаюки Т. [13]. В данной работе уровень шума описывается как стандартное отклонение гауссовского шума. Авторы предлагают кусочный алгоритм. Сначала исходное изображение раскладывается на перекрывающиеся участки, а модель для всего изображения записывается как  $p_i = z_i + n_i$ , где  $z_i$  – это часть исходного изображения с і-м пикселем в центре, преобразованным в одномерный вектор, и  $p_i$  – наблюдаемый участок (также преобразованный в вектор), искаженный гауссовским шумом, который представлен как вектор  $n_i$ . Чтобы оценить уровень шума, нужно получить неизвестное стандартное отклонение, используя только наблюдаемое искаженное изображение с шумом.

Все участки изображения обрабатываются как данные в евклидовом пространстве, его дисперсия может проецироваться на одну ось, направление которой определяется вектором и. Дисперсия данных V, спроецированных на u, может быть записана как:

$$V(u^T p_i) = V(u^T z_i) + \sigma_n^2 , \qquad (18)$$

где  $\sigma_n^2$  — стандартное отклонение гауссовского шума.

Минимальное отклонение направления данных определяется по принципу анализа основных компонентов (PCA). Сначала матрица ковариации данных  $\pi$  определяется как:

$$\pi \frac{1}{b} \sum_{j=1}^{b} (p_i - m)(p_i - m)^T \tag{19}$$

где b — количество исправлений, m — среднее значение в наборе данных  $\{p_i\}$ . Затем дисперсия исходных данных проецируется на направление минимальной дисперсии, равное минимальному собственному значению  $\lambda_{min}$ :

$$\lambda_{\min}(\pi) = \lambda_{\min}(\phi) + \sigma_n^2,\tag{20}$$

где  $\phi$  – ковариационная матрица для бесшумных кусков z.

Уровень шума можно оценить, если мы разложим минимальное собственное значение ковариационной матрицы шумных участков, что является некорректной проблемой, поскольку минимальное собственное значение для ковариационной матрицы бесшумных участков неизвестно. Поэтому авторы предлагают выбирать слабо текстурированные участки из изображений с шумом, потому что такие пятна охватывают низкоразмерное пространство, а минимальное собственное значение их ковариационной матрицы близко к нулю, поэтому их уровень шума  $F_{noise}$  можно оценить как:

$$F_{noise} = \sigma_n^2 \lambda_{min}(\pi'), \tag{21}$$

где  $\pi'$  – ковариационная матрица слабо текстурированных участков изображения.

Несомненно, наиболее важной частью предложенного алгоритма является выбор слабо текстурированных участков. Основная идея состоит в том, чтобы сравнить максимальное



собственное значение градиентной ковариационной матрицы участка с некоторым порогом. Градиентная ковариационная матрица C участка j вычисляется как:

$$C_i G_i^{\ T} G_i, \tag{22}$$

где  $G_j = [D_{hor} j, D_{ver} j]$ , а  $D_{hor}$  и  $D_{ver}$  являются горизонтальными и вертикальными производными операторами.

Чтобы выбрать слабо текстурированный участок, проверяется статистическая гипотеза. Нулевая гипотеза (участок имеет слабую плоскую текстуру) принимается, если максимальное собственное значение ее собственной градиентной ковариационной матрицы  $C_i$  меньше порогового значения. Порог т для максимального собственного значения градиентной ковариантной матрицы можно найти как:

$$\tau = \sigma_n^2 F^{-1} \left( \delta, \frac{b}{2}, \frac{2}{b} tr \left( D_{hor}^T D_{hor} \right) \right), \tag{23}$$

 $\tau = \sigma_n^2 F^{-1} \left( \delta, \frac{b}{2}, \frac{2}{b} tr \left( D_{hor}^{\phantom{hor}} D_{hor} \right) \right), \tag{23}$  где  $\sigma$  — уровень значимости (например 0,99),  $F^{-1}$  — кумулятивная функция распределения с обратной гаммой с формой b/2 и параметром масштаба  $\frac{2}{h}tr(D_{hor}{}^{T}D_{hor})$ . Интегральная обратная гамма-функция распределения определяется как:

$$F(x,\alpha,\beta) = \frac{\Gamma(\alpha,\frac{\beta}{x})}{\Gamma(\alpha)},\tag{24}$$

где  $\Gamma($  ) обозначает гамма-функцию,  $\alpha$  — параметр масштаба,  $\beta$  — параметр формы. Гамма-функция для положительного целого числа и определяется как:

$$F(n) = (n-1)! (25)$$

We assume that noisier images would have worse quality and would be less informative.

Предполагается, что более шумные изображения будут иметь худшее качество и будут менее информативными.

## Заключение и дальнейшее исследование

Используя описанные метрики можно разработать автоматизированную систему [1], которая будет осуществлять предварительную фильтрацию изображений для врача/исследователя, либо же можно размечать изображение с выделением проблемных участков, чтобы далее применить функции, обратные для «проблемной» метрики этого участка изображения, таким образом повысить качество восприятия исходного изображения.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Грант РФФИ номер 19-07-00133 А «Разработка интеллектуальных высокопроизводительных методов распознавания медицинских изображений и создание компьютерной системы поддержки принятия решений в виде облачного сервиса для прогнозирования и диагностики в персональной медицине».

#### Список литературы

- 1. Сойникова Е.С., Батищев Д.С., Михелев В.М. О распознавании форменных объектов крови на основе медицинских изображений. Научный результат. Информационные технологии. Т. 3., № 3. 2018. C. 54-65.
- 2. Chen F., Doermann D., Kumar J. Sharpness estimation for Document and Scene Images. Pattern Recognition (ICPR), 2012.
  - 3. Bishop C. M. Pattern Recognition and Machine Learning. Springer. 2006.
- 4. Bloom Jeffrey A., Chen C. A blind reference-free blockiness measure. Proceedings of the Pacific Rim Conference on Advances in Multimedia Information. part I. 2010.
- 5. Chel H., Sodhani P. Blind quality assessment of JPEG compressed images. Conference: Progress in Electromagnetics Research Symposium. 2017
- 6. Dolmiere T., Ladret P. Crete F. The Blur Effect: Perception and Estimation with a New No-Reference Perceptual Blur Metric. SPIE Electronic Imaging Symposium. Conference: Human Vision and Electronic Imaging. 2007.
  - 7. Ganesh A. A novel approach for image noise estimation and its removal. 2018



- 8. K. De. A new no-reference image quality measure to determine the quality of a given image using object separability. *Machine Vision and Image Processing (MVIP)*. 2012.
- 9. Komander B., Lorenz Dirk A., Vestweber L. Denoising of Image Gradients and Total Generalized Variation Denoising. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*. 2017
- 10. Marziliano P., Dufaux F., Winkler S., Ebrahimi T. A No-Reference Perceptual Blur Metric. *Conference: Image Processing*. 2002
- 11. Monica P. Carley-Spencer, Jeffrey P. Woodard. No-Reference image quality metrics for structural MRI. *Neuroinformatics*. vol. 4, 2006.
- 12. Serir A. Kerouh F. A no-reference blur image quality measure based on wavelet transform. *Digital Information Processing and Communications*. 2012.
- 13. Tanaka M., Okutomi Xinhao Liu. M. Noise Level Estimation Using Weak Textured Patches of a Single Noisy Image. *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*. 2012.
- 14. Wang Z., Bovik A., Sheikh Hamid R., Simoncelli Eero P. Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity. *IEEE Transactions on Image Processing*. 2004.

#### References

- 1. Soynikova E.S., Batishchev D.S., Mikhelev V.M. On the recognition of shaped blood objects based on medical images. The scientific result. Information Technology. T. 3, No. 3. 2018. S. 54-65.
- 2. Chen F., Doermann D., Kumar J. Sharpness assessment for Document and Scene Images. Pattern Recognition (ICPR), 2012.
  - 3. Bishop C. M. Pattern Recognition and Machine Learning. Springer 2006.
- 4. Bloom Jeffrey A., Chen C. A blind reference-free blockiness measure. Proceedings of the Pacific Rim Conference on Advances in Multimedia Information. part I. 2010.
- 5. Chel H., Sodhani P. Blind quality assessment of JPEG compressed images. Conference: Progress in Electromagnetics Research Symposium. 2017
- 6. Dolmiere T., Ladret P. Crete F. The Blur Effect: Perception and Estimation with a New No-Reference Perceptual Blur Metric. SPIE Electronic Imaging Symposium. Conference: Human Vision and Electronic Imaging. 2007.
  - 7. Ganesh A. A novel approach for image noise estimation and its removal. 2018
- 8. K. De. A new no-reference image quality measure to determine the quality of a given image using object separability. Machine Vision and Image Processing (MVIP). 2012.
- 9. Komander B., Lorenz Dirk A., Vestweber L. Denoising of Image Gradients and Total Generalized Variation Denoising. Journal of Mathematical Imaging and Vision. 2017
- 10. Marziliano P., Dufaux F., Winkler S., Ebrahimi T. A No-Reference Perceptual Blur Metric. Conference: Image Processing. 2002
- 11. Monica P. Carley-Spencer, Jeffrey P. Woodard. No-Reference image quality metrics for structural MRI. Neuroinformatics. vol. 4, 2006.
- 12. Serir A. Kerouh F. A no-reference blur image quality measure based on wavelet transform. Digital Information Processing and Communications. 2012.
- 13. Tanaka M., Okutomi Xinhao Liu. M. Noise Level Estimation Using Weak Textured Patches of a Single Noisy Image. IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). 2012.
- 14. Wang Z., Bovik A., Sheikh Hamid R., Simoncelli Eero P. Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity. IEEE Transactions on Image Processing. 2004.

**Батищев** Денис Сергеевич, ассистент кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем

Batishchev Denis Sergeevich, Assistant of the Department of Mathematical and Software Information Systems



УЛК 621.391.63

DOI: 10.18413/2518-1092-2019-4-3-0-5

Сансевич В.К.<sup>1</sup> Александров Д.Д.<sup>2</sup> Косов Е.О.<sup>2</sup> Архипов С.Н.<sup>2</sup>

#### МЕСТО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

<sup>1)</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», Кронверкский пр., д. 49, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия

e-mail: danillaleksandrov57@mail.ru

#### Аннотация

В работе рассматривается один из вариантов решения задачи контроля состояния и современных волоконно-оптических систем передачи на основе совершенствования существующих систем дистанционного контроля оптических линий связи. Предлагается в систему управления сетью добавить аналитический программный модуль. Основой данного модуля является набор функций детального описания событий, задания критериев их обнаружения и установления на них масок с целью выявления изменений рефлектограммы, прогнозирования состояния объектов мониторинга. Помимо сведений о характере событий, выдается аналитическая функция, описывающая конкретное событие и ошибку измерения каждого из его параметров, что дает возможность рассматривать полученную рефлектограмму не как совокупность точек, а как множество объектов, на которые она разбивается.

**Ключевые слова**: мониторинг волоконно-оптический линий связи; живучесть; связность; прогностический контроль; принцип минимакса; метод гарантированного прогнозирования.

#### UDC 621.391.63

Sancevich V.K.<sup>1</sup>
Aleksandrov D.D.<sup>2</sup>
Cosov. E.O.<sup>2</sup>
Arkhipov S.N.<sup>2</sup>

# PREDICTION PLACE IN THE SYSTEM OF CONDITION MONITORING FIBER OPTIC COMMUNICATION LINES

<sup>1)</sup> Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, 49 Kronverkskiy prospekt, St. Petersburg, 197101, Russia

e-mail: danillaleksandrov57@mail.ru

#### **Abstract**

The paper considers one of the options for solving the problem of monitoring the state and building modern fiber-optic transmission systems based on improving existing remote control systems for fiber-optic communication lines. It is proposed to add an analytical software module to the network management system. The basis of this module is a set of functions for a detailed description of events, setting criteria for their detection and setting masks on them in order to detect changes in the trace, predicting the status of monitoring objects. In addition to information about the nature of events, an analytical function is issued that describes a specific event and the measurement error of each of its parameters, which makes it possible to consider the received trace not as a collection of points, but as a set of objects into which it is divided.

**Keywords**: fiber optic monitoring systems; vitality; connectivity; predictive control, minimax principle, guaranteed prediction method.

<sup>&</sup>lt;sup>2)</sup> Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации», ул. Приборостроительная, д. 35, г. Орёл, 302034, Россия

<sup>&</sup>lt;sup>2)</sup> Federal state military educational institution of higher professional education "Academy of the Federal security service of the Russian Federation", 35 Priborostroitelnaya St, Orel, 302034, Russia



Необходимость прогноза остро ощущается практически на всех этапах управления надежностью ВОЛС, и в первую очередь при решении задач диагностического обеспечения и планирования ее эксплуатации. Комплексное решение этой сложной задачи предполагает разработку и решение ряда научно-технических задач по созданию и внедрению аппаратных и программных средств оценки работоспособности ВОЛС [1].

Основные трудности при решении задач прогнозирования и управления надежностью обусловлены тем, что для большинства исследуемых устройств исходная информация о закономерностях изменения их параметров чрезвычайно мала. В этой связи весьма важной становится задача разработки средств мониторинга, позволяющих получать надежные результаты при той исходной информации, которая может быть реально получена при эксплуатации ВОЛС и в процессе пуско-наладочных мероприятий.

Включение подсистемы прогнозирования в автоматизированную систему мониторинга расширяет возможности последней и позволяет решить перечисленные выше задачи и получить следующие преимущества [1]:

- существенно понизить трудоемкость контроля;
- обеспечить высокую степень достоверности информации о техническом состоянии контролируемого оборудования;
- использовать жесткие алгоритмы технического контроля, исключающие возможность вмешательства субъективных факторов;
- документировать и накапливать информацию о техническом состоянии контролируемого объекта;
  - формировать информационное поле для прогнозирования;
- внедрять прогрессивные стратегии технического обслуживания и ремонта на основе прогнозирования;
  - расширить функциональных возможностей устройств контроля;
  - прогнозировать изменения параметров объекта контроля;
  - повысить достоверность о техническом состоянии объекта контроля;
  - разрабатывать и выдавать рекомендаций по управлению объектом;

Основной проблемой мониторинга в оптической среде является фактор, связанный с невозможностью анализа оптического сигнала после его преобразования в активном оборудовании. Своевременное обнаружение, контроль и прогнозирование развития ситуации позволит устранить данный фактор. Наиболее распространенным способом сбора данных является мониторинг.

Таким образом, мониторинг ВОЛС сводится к анализу параметров среды распространения и пассивного коммутационного оборудования.

С созданием оптических усилителей и всевозрастающим их использованием в коммерческих системах расстояние между регенерационными участками в последнее время значительно возросло, а это обусловило необходимость автоматизированного дистанционного мониторинга и обнаружения неисправностей ВОЛС. В основе решения всех этих задач лежит использование такого измерительного прибора, как оптический рефлектометр (OP) [2].

Разработка методов централизованного тестирования ВОЛС, в свою очередь налагает требования внеполосного контроля ВОЛС, и как следствие использования средств измерений с длиной волны отличной от длин волн, которые применяются для передачи трафика. Для решения таких задач предлагается применять рефлектометрию, которая позволяет создать систему мониторинга, способную отображать состояние ВОЛС.

Поэтому возникает задача организации мониторинга ВОЛС без перерыва связи с использованием тестовых сигналов в задействованных «светлых» волокнах. Данный вариант, является наиболее актуальным для использования на сетях доступа с простыми структурами.

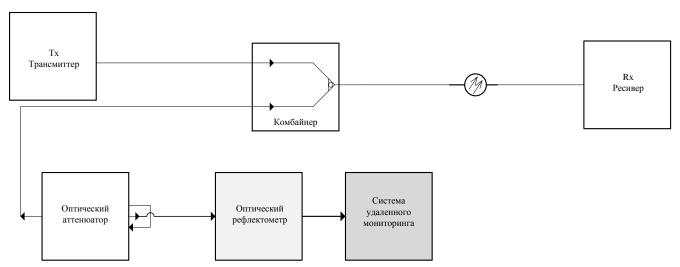
Включение ОР в подсистему мониторинга ВОЛС позволит постоянно автоматически вести сбор и статистический анализ результатов тестирования оптических волокон сети. Статистический



анализ дает возможность обнаруживать и прогнозировать неполадки волокна задолго до того, как они приведут к серьезным проблемам в сети.

Исходные (паспортные) данные накапливаются и вносятся в базу данных, с учетом возможных изменений относительно сезонов, температур и т.д. Накопленная статистика позволяет определить степень возможной деградации контролируемых оптических волокон. Для распознавания событий используются методы идентификации посредством специально подобранных аналитических функций, например, метод наименьших квадратов, критерий Вильямса и Клута, и прогнозирования параметров рефлектограммы [2].

Возможность применения прогностического контроля требует схемотехнических изменений в системе мониторинга. Данные изменения направлены, в первую очередь, на использование время-импульсного рефлектометра или анализатора спектра. При этом в качестве оптического сигнала, на основе которого будет выполнен анализ, используется отведенная мощность информационного сигнала при реализации схемы прогностического контроля на основе импульсно-временного рефлектометра – рисунок 1.



*Puc. 1.* Схема реализации дистанционного мониторинга на основе импульсно-временного рефлектометра *Fig. 1.* Scheme for implementing remote monitoring based on a pulse-time reflectometer

В настоящее время существует большое разнообразие систем мониторинга, которые в той или иной степени решают задачу непрерывного контроля ВОЛС, например, RFTS (Remote Fiber Test System) [3].

Все системы RFTS, как правило, строятся по одной и той же схеме. При этом выделяют следующие функциональные элементы и устройства:

- аппаратная часть;
- система управления сетью.

Также определены и интегрированные элементы:

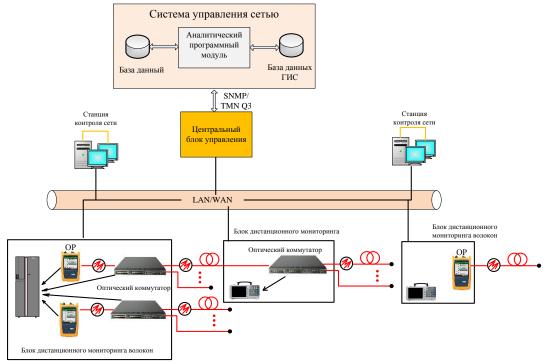
- геоинформационная система (ГИС) привязки топологии сети к карте местности;
- база данных, содержащая информацию об оборудования сети, критериев и результатов мониторинга ВОЛС и сети в целом и другие внешние базы данных.

Предлагается в систему управления сетью добавить аналитический программный модуль. Основой данного модуля является набор функций детального описания событий, задания критериев их обнаружения и установления на них масок с целью выявления изменений рефлектограммы, прогнозирования состояния объектов мониторинга. Помимо сведений о характере событий, выдается аналитическая функция, описывающая конкретное событие и ошибку измерения каждого из его параметров, что дает возможность рассматривать полученную рефлектограмму не как совокупность точек, а как множество объектов, на которые она разбивается. Решая таким образом прямую задачу – анализ рефлектограммы, объектное представление позволяет решать и обратную



задачу – строить естественным путем модели рефлектограмм, а также прогнозировать их изменения в будущем.

Предлагается следующая архитектура дистанционного мониторинга ВОЛС (см. рисунок 2).



*Puc.* 2. Архитектура системы дистанционного мониторинга ВОЛС *Fig.* 2. The architecture of the FOCL remote monitoring system

Оптический рефлектометр периодически снимает данные по затуханию с подключаемых к нему оптических волокон сети [4]. Каждая полученная рефлектограмма сравнивается с эталонной, отражающей обычно исходное состояние волокна. Если отклонение от нормы превышает определенные, заранее установленные пороги (предупреждающий или аварийный), то соответствующий блок дистанционного мониторинга волокон автоматически посылает на центральный сервер системы предупреждение или сообщение о неисправности. Все рефлектограммы также поступают на центральный сервер, который сохраняет их в базе данных для дальнейшей обработки.

Для повышения достоверности прогнозов в управленческой деятельности специалистов в отношении технического состояния ВОЛС следует использовать определенную формализацию процесса предвидения и специально разработанные прогнозные модели. Эти модели имитируют динамический процесс развития объекта исследования при обязательном подключении интеллекта человеческой личности. Во взаимодействии специалиста и модели, размещённой в памяти компьютера, вырабатываются прогнозные решения. Они представляют собой подмножество допустимых решений из области возможных, из которых выбирается, по какому-либо критерию, предпочтительный вариант.

Функции прогнозирования технического состояния объектов в управленческой деятельности специалистов обладают важным свойством. Они позволяют не только получить информацию о состоянии в настоящем или в будущем, но и приобрести новые знания об объекте, сопоставить причины и следствия развития процессов и, в конечном итоге, принять решения, направленные на предотвращение отказов.

Выбор критерия вариантов отбора является одной из важных процедур в общей задаче прогнозирования. Обычно выбор или разработка критерия отбора альтернатив возможны только при четко определенной цели исследования и корректно сформулированной проблеме. Известно,



что выбор варианта решения поставленной задачи, способа достижения поставленных целей является одной из ключевых задач управления.

Прогнозирование следует рассматривать как часть системы управления эксплуатацией технических объектов. Предвидение, оценка результатов всегда были свойственны управленческой деятельности. Известно, что любое решение в той или иной мере содержит прогноз. Этот прогноз часто основывался на интуиции и здравом смысле специалистов. Но с усложнением техники, с увеличением объема информации при одновременном росте ее неопределенности, и часто в условиях значительных временных и ресурсных ограничений возрастает вероятность принятия ошибочных решений.

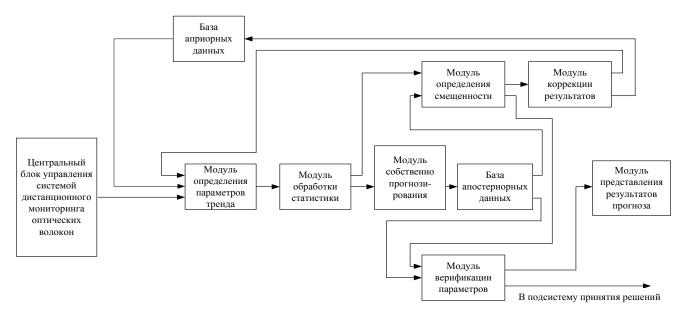
Для решения задачи прогнозирования в условиях ограниченности и неопределенности исходных данных о процессах старения и износа элементов ВОЛС предлагается использовать метод прогнозирования на основе минимаксного оценивания. Суть минимаксного оценивания состоит в определении гарантированных, относительно исходных данных, пределов изменения оцениваемой величины. Для решения данной задачи предлагается использовать свойства экстремальных полиномов С. Карлина.

Следует отметить, что интервальный прогноз может быть выполнен и на основе известных статистических процедур типа максимального правдоподобия, наименьших квадратов и т.п., однако его достоверность невозможно оценить (гарантировать) без привлечения дополнительных данных (гипотез) о стохастических свойствах процесса. В этом, собственно, и состоит принципиальная особенность и отличие минимаксного подхода к решению задач прогнозирования технического состояния ВОЛС [5].

Принцип минимакса, т.е. расчет на наихудший случай по сравнению с принятым в классической статистике принципом минимизации среднего риска, позволяет:

- решить задачу без учета гипотез и допущений о стохастических свойствах прогнозируемого процесса;
  - полностью использовать заданную исходную информацию;
  - обеспечить гарантированную достоверность и точность результатов прогноза.

На основании вышеизложенного предложена структурно-функциональная схема подсистемы мониторинга и прогнозирования состояния ВОЛС, представленная на рисунке 3.



*Puc. 3.* Структурно-функциональная схема подсистемы мониторинга и прогнозирования состояния ВОЛС *Fig. 3.* The structural and functional diagram of the subsystem for monitoring and predicting the state of the fiber optic link



Кроме типовых функций обработки данных мониторинга ВОЛС в аналитический программный модуль предлагается добавить процедуры прогностического контроля, основанные на предлагаемом методе прогнозирования значений параметров ВОЛС.

В соответствии с предложенным методом гарантированного прогнозирования предлагается следующий состав аналитического программного модуля:

- база априорных данных;
- база апостериорных данных;
- модуль определения параметров принятого вида зависимости параметра от времени (параметров тренда);
  - модуль обработки статистики;
  - модуль определения смещения прогноза;
  - модуль собственно прогнозирования;
  - модуль верификации параметров;
  - модуль коррекции результатов прогноза;
  - модуль представления результатов прогноза.

В качестве входной информации используется база априорных данных:

- о моделях воздействия параметров окружающей среды на объекты ВОЛС;
- о моделях изменения статики объектов ВОЛС под воздействием управляющих воздействий;
  - основные виды зависимостей параметров ВОЛС от времени;
  - режимы функционирования, контролируемого в данный момент объекта ВОЛС;
  - измерительная информация, поступающая из центрального блока управления.

При синтезе процедур обработки информации особое значение приобретает сглаживание и фильтрация процессов изменения параметров. Поэтому на модуль определения параметров принятого вида зависимости параметра от времени возложены функции определения вида зависимости параметров от времени, что связано с образованием и хранением совокупности априорных сведений о характере изменения параметров. Определение вида зависимости параметров от времени служит для минимизации систематической составляющей погрешности прогнозирования, возникающей при вычислении собственно состояния объекта контроля [6-8]. Выделение этих модулей оправдано также с точки зрения работы модулей коррекции результатов прогнозирования, поскольку в результате коррекции должны изменяться в первую очередь либо параметры указанных зависимостей параметров от времени, либо сами зависимости. Естественно, что модулю коррекции результатов прогноза должен предшествовать модуль определения смещенности оценок прогнозирования. На основе этих оценок подсистемой принятия решений должны вырабатываться управляющие воздействия. Управляющие воздействия обеспечивают [9]:

- коррекцию измеряемых (контролируемых) параметров;
- изменение регламента технического обслуживания ВОЛС;
- выработку сигнала на замену элементов ВОЛС;

изменение режима эксплуатации элементов ВОЛС путем принятия менее жестких режимов функционирования в случае серьезных последствий отказа элементов ВОЛС.

Таким образом, проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

- анализ возможности одновременного распространения в световоде информационного и тестового сигнала показал о возможности распространения двух и более длин волн в одном световоде. Данные решения предлагается применить при построении системы дистанционного мониторинга ВОЛС;
- непрерывный контроль волокон позволяет системе сигнализировать об ухудшении качества кабеля, если это вызывает превышение пороговых значений пользователя по техническим характеристикам, а также расширить функции системы прогностическим контролем, взяв за основу алгоритм гарантированного прогнозирования значений параметров ВОЛС на основе свойств экстремальных полиномов С. Карлина;



- на основании проведенного синтеза предложена структурно-функциональная схема подсистемы мониторинга и прогнозирования состояния ВОЛС;
- вышеизложенные положения предложено учитывать при создании любой системы дистанционного мониторинга ВОЛС. Недоучет какого-либо из этих положений как правило ведет к синтезу системы с низким уровнем достоверности результатов прогнозирования. Однако в каждом конкретном случае специфика объекта контроля и цель прогнозирования приводят к некоторым изменениям. В большинстве случаев эти изменения определяются математическим обеспечением прогностического контроля.

### Список литературы

- 1. Дмитриева С.А., Волоконно-оптическая техника: современное состояние и новые перспективы. 3-е изд. М.: Техносфера, 2010. 608c.
- 2. Родина О.В. Волоконно-оптические линии связи. Практическое руководство. М.: Горячая линия Телеком, 2009. 400 с.
  - 3. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами. М.: Мир, 1973. 957 с.
- 4. Листвин А.В., Листвин В.Н., Рефлектометрия оптических волокон. М.: ЛЕСАРарт, 2005. 208 с., с ил.
- 5. Карлин С., Стадден В. Чебышевские системы и их применение в анализе и статистике / пер. с англ. под ред. С.М.Ермакова. М.: Наука, 1976. 586 с.
- 6. Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. СПб.: Питер, 2001. 382 с.
- 7. Гросдидиер П. Залог успеха проектов прогрессивных средств управления процессами // Нефтегазовые технологии. 2005. № 2, С. 56–58.
- 8. Сахаров А.А. Концепции построения и реализации информационных систем, ориентированных на анализ данных // СУБД. 1996. № 4. С. 55–70.
  - 9. Camacho E.F., Bordons C. Model predictive control. London: Springer-Verlag, 2004. 405 p.

### References

- 1. Dmitrieva S.A., Fiber optic technology: current status and new perspectives. -3rd ed. -M.: Technosphere, 2010.-608 p.
- 2. Homeland O.V. Fiber optic communication lines. A practical guide. M.: Hot line Telecom, 2009. 400 p.
  - 3. Himmelblau D. Analysis of processes by statistical methods. M.: Mir, 1973. 957 p.
  - 4. Listvin A.V., Listvin V.N., Reflectometry of optical fibers. M.: LESARart, 2005. 208 p.
- 5. Karlin S., Stadden V. Chebyshev systems and their application in analysis and statistics / Per. from English under the editorship of S.M. Ermakova. M.: Nauka, 1976. 586 p.
- 6. Gavrilova T.A., Khoroshevsky V.F. Knowledge bases of intelligent systems. St. Petersburg: Peter, 2001. 382 p.
- 7. Grosdidier P. The key to success of projects of progressive process control tools // Oil and Gas Technologies. 2005. No. 2, pp. 56–58.
- 8. Sakharov A.A. The concept of building and implementing information systems oriented to data analysis // DBMS. 1996. No. 4. P. 55–70.
  - 9. Camacho E.F., Bordons C. Model predictive control. London: Springer-Verlag, 2004. 405 p.

**Сансевич Валерий Константинович,** кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры многоканальной электросвязи

**Александров Даниил Дмитриевич,** студент Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации **Косов Егор Олегович,** студент Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации **Архипов Сергей Николаевич,** кандидат технических наук, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации

**Sansevich Valery Konstantinovich,** candidate of technical sciences, Senior Research Fellow, Associate Professor of the Department of Multichannel Telecommunications

**Aleksandrov Daniil Dmitrievich,** student Academy of the Federal security service of the Russian Federation **Cosov Egor Olegovich,** student Academy of the Federal security service of the Russian Federation

Arkhipov Sergey Nikolaevich, candidate of technical sciences, Academy of the Federal security service of the Russian Federation



УДК 004.9 DOI: 10.18413/2518-1092-2019-4-3-0-6

Черных Е.М.<sup>1</sup> Михелев В.М.<sup>2</sup>

# КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА КЛАССИФИКАЦИИ ЛЕЙКОЦИТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ КЛЕТОК КРОВИ

<sup>1)</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д.85, г. Белгород, 308015, Россия

e-mail: jaddyroot@gmail.com, vm.mikhelev@gmail.com

#### Аннотация

Данная статья посвящена созданию компьютерной системы для классификации лейкоцитов на изображениях клеток крови. Решение задачи классификации белых кровяных клеток позволяет диагностировать не только заболевания крови, но и широкий ряд других заболеваний, а также выполнить оценку общего функционального состояния здоровья человека. Современные способы и методы классификации лейкоцитов имеют достаточно большое количество недостатков, что обусловливает проблему поиска оптимального и эффективного метода в качестве инструмента для решения этой задачи. Метод, выполняющий классификацию лейкоцитов на используемых медицинских снимках в разработанной компьютерной системе, базируется на применении обученной сверточной нейронной сети в качестве бинарного классификатора. В работе показано преимущество использования данной архитектуры и техники глубокого обучения для решения задач классификации объектов на цифровых изображениях.

Разработанная система позволяет в большинстве случае верно и с высокой скоростью определить принадлежность лейкоцита ни снимке к одному из двух классов, что указывает на возможность использования данной системы в качестве вспомогательного инструмента для гематологического анализа крови.

**Ключевые слова:** классификация лейкоцитов, вычислительный интеллект, глубокое обучение, сверточные нейронные сети.

### **UDC 004.9**

Chernykh E.M.¹
Mikhelev V.M.²

COMPUTER SYSTEM FOR LEUKOCYTES CLASSIFICATION
ON BLOOD CELL IMAGES

<sup>1)</sup> Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia <sup>2)</sup> Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 46 Kostyukova St., Belgorod, 308012, Russia

e-mail: jaddyroot@gmail.com, vm.mikhelev@gmail.com

### **Abstract**

This article is devoted to the development of a computer system for leukocytes classification on blood cell images. Solving of the white blood cells classification task makes it possible to diagnose not only blood diseases, but also a wide range of other diseases, as well as to evaluate the overall functional state of human health. Current leukocytes classification methods and ways have a fairly large number of drawbacks, which make the problem of finding the optimal and effective method as a tool to solve this classification task. In this developed computer system, we use the method based on the using of a trained convolutional neural network as a binary classifier for leukocytes classification. The article shows the advantage of using this architecture and deep learning technology to solve objects classification task on digital images.

The developed system allows in most cases correctly and with a high speed to determine whether the white blood cell belongs to one of the two classes, which indicates the possibility of using this system as auxiliary tool for blood hematological analysis.

**Keywords:** leukocytes classification; computational intelligence; deep learning; convolutional neural network.

<sup>2)</sup> Белгородский государственный технологический университет, ул. Костюкова д. 46, г. Белгород, 308012, Россия



### ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее опасных распространенных заболеваний в настоящее время является лейкоз, который также называют "раком крови" [13]. Данное заболевание приводит к нарушению процесса выработки здоровых кровяных клеток, что ведет за собой накапливание аномальных незрелых клеток крови в различных отделах организма, тем самым вызывая болезни и инфекции. Без своевременного диагностирования и лечения лейкоз приводит к летальному исходу больного менее, чем за полгода [8]. По данной причине наряду с общим клиническим анализом крови врачом назначается подсчет и исследование лейкоцитарной формулы, которая отражает общую концентрацию лейкоцитов в крови человека и процентное соотношение их различных видов.

Лейкоциты, также называемые белыми кровяными тельцами, являются агентами иммунной системы и выполняют защитную функцию от инфекций, бактерий и других инородных тел, которые способны нанести вред организму. Даже небольшое по величине отклонение процентного содержания этих клеток от нормы может нести в себе важную информацию о состоянии здоровья человека. В клинической практике исследуется содержание лейкоцитов пяти основных видов: лимфоциты, моноциты, нейтрофилы, базофилы и эозинофилы [2]. На данный момент среди основных методов классификации лейкоцитов можно выделить использование проточной цитометрии и визуальный метод [2, 3].

Метод проточный цитометрии позволяет для поштучно проходящих в потоке клеток регистрировать общую совокупность результатов анализа фигуры рассеяния и электродинамических признаков, с помощью которых происходит определение класса исследуемого одиночного лейкоцита. Данный метод позволяет в короткие сроки получить количественную оценку большого числа лейкоцитов и концентрацию каждого класса белых клеток крови. Основным минусом данного способа является очень высокая стоимость оборудования — проточный цитометр может позволить себе не каждая лаборатория. Другим недостатком являются то, что данный способ классификации не позволяет оценить морфологические особенности клетки, из-за чего могут возникать проблемы с идентификацией клеток, имеющих патологию [2].

Второй используемый сейчас метод – визуальный, заключающийся в ручном анализе мазка крови под микроскопом, который выполняет врач-гематолог. Результат классификации в данном случае всегда зависит от имеющихся у врача знаний, так как выводы о классе каждого лейкоцита он делает после визуального осмотра и выделения тех признаков клеток, которые ему известны. Визуальный метод плох тем, что является трудоемким и длительным процессом, также зависящий от квалификации лаборанта [4].

Наряду с двумя вышеописанными методами для классификации лейкоцитов на цифровых изображениях клеток крови в настоящее время широко применяются и автоматизированные системы [3]. Большинство данных систем являются дорогостоящим программным обеспечением и предъявляют высокие требования к исходным данным. Так, например, относительно низкое качество медицинских снимков может значительно повлиять на правильность работы программы и конечный результат. Таким образом, для создания компьютерной системы классификации лейкоцитов необходимо использовать метод, который бы решал данную задачу вне зависимости от качества образцов снимков и от аппаратной части оборудования для их получения.

Целью описанного в данной статье исследования является создание компьютерной системы, решающей задачу классификации лейкоцитов на снимках клеток крови, которая основывается на использовании такого автоматизированного метода, который бы учитывал недостатки существующих на данный момент других методов. Для достижения поставленной цели необходимо выполнить задачи: изучить существующие автоматизированные методы и выбрать наиболее эффективный; определить функциональные возможности разрабатываемого ПО и выбрать средства для его реализации; выполнить программную реализацию компьютерной системы и провести вычислительный эксперимент.



# АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ КЛАССИФИКАЦИИ ЛЕЙКОЦИТОВ

Методы автоматизированной классификации лейкоцитов уже давно активно применяются в качестве инструмента медицинской диагностики [20], однако, в виду того, что они предполагают полное или частичное отсутствие участия врача-лаборанта в процессе получения результатов, полностью положиться на полученные результаты нельзя. Основной общей чертой данных методов является использование технологии компьютерного зрения, которая позволяет автоматизировать процесс анализа мазков крови.

Так, предложенный в статье [12] Ж.В. Штадельманном и И.Н. Спиридоновым метод использует алгоритм AdaBoost наряду с глубоким обучением для выделения лейкоцитов, подразумевающий усиление слабых классификаторов путем комбинирования их в один сильный. Представленный авторами алгоритм состоит из последовательного сканирования всего изображения окном, размер которого был получен на основе размера самого крупного типа лейкоцита. Во избежание повторного обнаружения одной и той же клетки в результате наложения позиции окна выполнялась постобработка путем анализа расстояний между положениями окна, где был выделен лейкоцит. Данный метод отличается высокой скоростью работы и относительно низкой вероятностью ложного обнаружения клетки на изображении — около 15%.

Другой вариант применения искусственной нейронной сети для решения задачи классификации лейкоцитов был описан В.К. Беляковым и другими [7]. Авторы использовали усовершенствованный комбинированный метод сегментации изображений, а также вектор признаков объекта. Для оценивания признаков клеток были подобраны следующие морфологические параметры: относительная величина сегментов и ядер, а также минимальный и максимальный размеры сегмента; отношение площади ядра к площади описанного прямоугольника; момент границы максимального ядра и коэффициент его формы; цветовые характеристики клетки и др. Благодаря использованию многослойной искусственной нейронной сети в качестве классификатора и грамотно подобранным признакам авторам метода удалось свести количество получаемых ошибок на тестовом наборе данных к 0.1%.

Высокой точности работы удалось также достичь И.А. Беляеву и С.В. Кучерявскому с помощью построенной классификационной модели на основе вектора признаков, который был получен методом среднеугловых спектров [1]. Данный вектор выступал в качестве обобщенного подхода при анализе одномерных и двумерных сигналов. Предложенный в статье метод позволил определять класс лейкоцитов с точностью до 97% даже на изображениях, не обладающих высокой четкостью.

Несложно заметить, что те существующие методы классификации лейкоцитов на изображениях клеток крови, которые показали наибольшую эффективность на практике, зачастую строятся на принципах использования искусственных нейронных сетей и методах машинного обучения, в частности, глубокого обучения [3, 11]. Это позволяет избавиться от необходимости определения подходящих признаков исследуемого объекта для его анализа и классификации путем замены сложных вычислений простыми автоматически обучаемыми моделями. В рамках решения задачи классификации лейкоцитов главным преимуществом использования глубокого обучения является то, что в случае возникновения вариабельности исходных изображений метод позволяет выполнить дополнительное обучение модели на новых исходных данных нового, что позволит только увеличить точность работы всей компьютерной системы. Еще одним важным преимуществом является свойство масштабируемости, позволяющее использовать технологию глубокого обучения для обработки, как и небольшого объема данных, так и значительного количества информации [15].

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМЫ И ВЫБОР СРЕДСТВ РЕАЛИЗАЦИИ

Разрабатываемая в рамках данного исследования компьютерная система должна решать задачу классификации лейкоцитов на снимках клеток крови и учитывать основные недостатки существующих методов, что возможно благодаря использованию искусственной нейронной сети и



глубокого обучения в алгоритме работы программы. Для обучения модели нейронной сети потребуется набор исходных данных [17] — большое количество готовых и классифицированных изображений клеток крови, которые могут быть использованы в качестве обучающей выборки на этапе обучения модели сети. По той причине, что данные для обучения искусственной нейросети напрямую влияют на точность и правильность ее последующей работы, объем обучающей выборки должен быть достаточно велик, чтобы во время обучения сети было автоматически выявлено как можно больше всевозможных вариации морфологических особенностей классифицируемых клеток, а также особенности набора полученных снимков: цветопередача, освещенность объектов, разрешение изображение и др. Конечная программа должна иметь простой и понятный пользователю графический интерфейс, с помощью которого он бы мог выполнять загрузку конкретного изображения — снимка клеток крови в программу и получить конечный результат классификации изображенного на снимке лейкоцита с относительно высокой точностью.

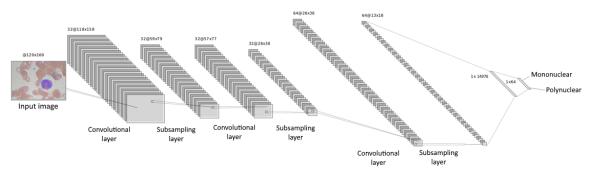
В качестве инструментария и средств для программной реализации компьютерной системы был выбран язык программирования Руthon, который в настоящее время является одним из самых распространенных языков программирования, а также широко используется при решении большого ряда задач, связанных с алгоритмами машинного обучения [10]. Совместно с выбранным языком Руthon также было решено использовать дополнительные библиотеки, среди которых можно выделить самые крупные: Tensorflow, Keras, OpenCV и Tkinter. Данные библиотеки являются наиболее часто применяемыми при решении задач машинного обучения и обработки изображений. Связка Tensorflow и Keras позволяет создавать, обучать и применять на практике модели искусственных нейросетей разной сложности [5, 6], а библиотеки OpenCV и Tkinter позволяют использовать широкий ряд дополнительных пакетов и инструментов для работы с изображениями и создания графических интерфейсов соответственно [9].

### ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Для работы с цифровыми изображениями и видео в сфере машинного обучения применяется архитектура сверточных нейронных сетей [15, 16], которая была предложена в начале 80-х годов для решения задачи оптического распознавании символов на банковских чеках, однако ее применение считалось невозможным ввиду высоких требований к вычислительному оборудованию [19]. Свое название данная архитектура получила от операции свертки, на которой и основан принцип ее работы: входное изображение сканируется на предмет выделения признаков с помощью небольших окон (3х3, 5х5 пикселей); выделенные в каждом окне признаки представляются в виде отдельной матрицы — карты признаков. Таким образом, свертка — это операция вычисления нового значения заданного пикселя с учетом значения окружающих его соседних пикселей. В 2012 году данная архитектура увидела новый свет, а использование технологии ускорения обучения моделей с помощью графических процессоров позволило использовать сверточные нейронные сети в качестве универсального инструмента решения задач, связанных с обработкой цифровых изображений [14, 20].

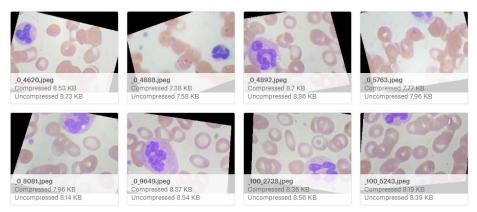
В зависимости от сложности, решаемой с помощью сверточной нейронной сети задачи количество ее слоев и их характеристики, могут отличаться [18]. Используемая в данной работе модель представлена на рисунке 1, откуда можно заметить, что она состоит из трех повторяющихся каскадов: сверточный слой и слой подвыборки, отвечающий за уплотнение полученных на предыдущем слое карт признаков с целью "обобщения" выделяемых на них признаков; за тремя каскадами слоев располагается полно связная нейронная сеть, состоящая из двух слоев. Всего в модели можно выделить 9 слоев. В рамках данной работы производилась классификация лейкоцитов относительно двух классов, поэтому замыкающим модель компонентом (рис. 1) является бинарный классификатор, указывающий на принадлежность изображения клетки к одному из двух возможных классов.





*Puc. 1.* Визуальное представление используемой модели нейросети *Fig. 1.* Visual representation of the used neural network model

Перед тем, как непосредственно использовать данную модель для классификации снимков лейкоцитов, необходимо предварительно ее обучить на большом наборе данных. Для обучения нами использовался датасет (набор данных) «Blood Cell Images» с сервиса Kaggle, который является популярным сообществом для обмена знаниями, связанных с машинным обучением, а также проведению различного рода соревнований по данной тематике. Внутри этого датасета содержится несколько тысяч образцов снимков лейкоцитов. 80% всех изображений будет использовано в качестве обучающей выборки, а остальные 20% – как контрольный набор, на основе которого будет выполнено тестирование и оценка точности работы обученной модели. На рисунке 2 можно увидеть примеры изображений клеток крови из данного датасета.



 $Puc.\ 2.\$ Образцы изображений клеток крови из набора данных  $Fig.\ 2.\$ Blood image samples from the dataset

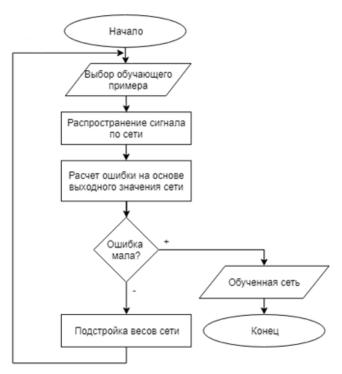
Процесс обучения заключается в подаче на вход составленной модели большого числа примеров изображений, а также информации о правильной классификации каждого из них — названий одного из двух классов лейкоцитов. В результате автоматического анализа изображений и выделения на них признаков сеть выполнит настройку своих параметров таким образом, чтобы закрепить накопленные «знания» и использовать их в дальнейшей работе. Алгоритм обучения представлен на рисунке 3.

Для каждого входного изображения выполняется его предварительная обработка, состоящая из трех основных этапов:

- векторизация входного изображения необходима для представления входных в данных в пригодном для подачи на вход виде в виде вектора [10];
- добавление метки с правильным ответом для обучения каждый входной образец изображения из обучающей выборки должен быть подкреплен текстовой меткой, характеризующей принадлежность этого изображения к одному из двух классов;



- нормализация входных значений - перевод значения каждого пикселя из диапазона от 0 до 255 в диапазон от 0 до 1.



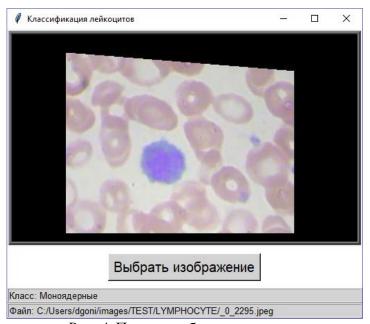
*Puc. 3.* Алгоритм обучения нейронной сети *Fig. 3.* Neural network learning algorithm

Обучение модели в рамках данного исследования производилось на протяжении 20 эпох. Эпохой считается один проход обучения на всем массиве данных. После обучения модели было выполнено ее сохранение в файл, чтобы обеспечить возможность ее использования в дальнейшем без повторного обучения.

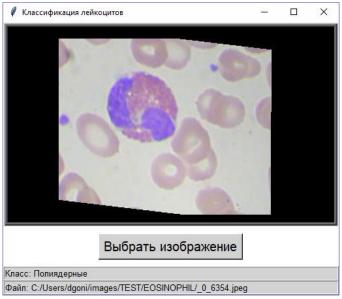
Как описывалось ранее, понятный пользовательский интерфейс позволит сократить количество проблем с использованием программы обычными рядовыми пользователями. Полностью настраиваемые оконные приложения любой сложности и назначения позволяет создать библиотека Tkinter для языка Python. С помощью данного инструмента можно быстро создать графическое окно программы, при запуске которого будет выполняться загрузка сохраненной обученной модели из файла. Предварительная компиляция для такой модели не нужна, поэтому будет достаточно создавать при инициализации окна создавать объект и загружать в него готовую обученную сверточную нейронную сеть. В коде программы описываются те компоненты окна и их параметры, которые будут использоваться. Так, отрисовка загружаемого изображения происходит внутри области канвы (Canvas), а для вывода текста внутри окна применяется компонент Label; элемент Вutton — кнопка, по нажатию на которую открывается окно для выбора изображения из файловой системы компьютера.

Разработанный графический интерфейс компьютерной системы представлен на рисунках 4 и 5, где можно увидеть результат классификации загруженного изображения в программу.





*Puc. 4.* Пример работы программы *Fig. 4.* Developed program form example



*Puc. 5.* Верно выполненная классификация *Fig. 5.* Correct leukocyte classification

### ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

На этапе формирования обучающей выборки был создан массив с данными для тестирования точности модели после ее обучения. Данные из этой выборки не входили в состав обучающего набора, поэтому позволяют оценить способность сети к обобщению признаков исследуемого объекта путем классификации нового для нее изображения, но подобного тем, на которых производилось обучение. Результат оценки точность работы обученной сети на тестовой выборке составил 97%, это можно заметить из рисунка 6.



```
from sklearn.metrics import accuracy_score

print('Точность работы сети на тестовых данных:')
y_pred = model.predict(X_test).round()

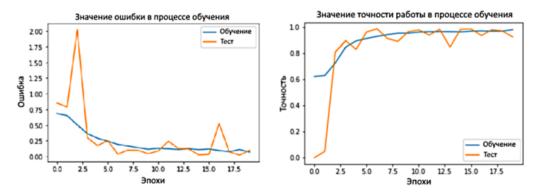
print(accuracy_score(y_test, y_pred))

□
Toчность работы сети на тестовых данных:
```

*Puc.* 6. Точность работы обученной модели на тестовом наборе данных *Fig.* 6. Accuracy of the trained model on the test dataset

0.971830985915493

Для визуально наглядной оценки качества работы модели реализуем построение графиков зависимости значения ошибки от количества эпох обучения, а также значение точности определения, определяемой на основе доли правильно классифицированных изображений из выборки, от количества эпох. Оба графика представлены ниже на рисунке 7.



*Puc.* 7. Графики зависимости ошибки и точности классификации от количества эпох соответственно

Fig. 7. Dependencies of error and classification accuracy on the number of eras, respectively

Исходя из рисунка выше, можно заметить, что оба графика имеют легенду, описывающую обозначения цветов кривых, соединяющих отмеченные на графике значения. Синяя кривая характеризует изменения значения ошибки или точности работы сети для обучающей выборки, а кривая оранжевого цвета обозначает те же метрики, но по отношению к тестовому набору данных. Можно заметить, что для обучающей выборки график в обоих случаях имеет более сглаженную кривую, нежели для тестовой выборки. Это связано с тем, что на этапе обучения постоянно выполняется оценка расстояния между полученными ответами и правильными, что позволяет выполнять частую подстройку весов для минимизации ошибки. Это определяет плавность синей кривой.

Из полученных графиков можно сделать вывод, что со временем проведения двадцати эпох обучения значение точности работы значительно возрастает, а величина ошибки – уменьшается.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы были выполнены все поставленные цели: были изучены существующие автоматизированные методы классификации лейкоцитов и выбран наиболее эффективный; определены функциональные возможности разрабатываемого ПО и выбраны средства для его реализации; также была выполнена программная реализация компьютерной системы и проведен вычислительный эксперимент. Выполнение всех поставленных задач позволило достигнуть главной цели данного исследования — была разработана компьютерная система, решающая задачу классификации лейкоцитов на снимках клеток крови, которая основывается на использовании сверточной нейронной сети и принципе глубокого обучения.



Относительно высокая точность работы разработанного ПО указывает на возможность применения искусственных нейронных сетей в качестве вспомогательного инструмента для классификации лейкоцитов в рамках гематологического анализа крови.

## Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-07-00133 А.

### Список литературы

- 1. Беляев, И.А. Применение принципов формального моделирования для классификации медицинских изображений [Текст] / И.А. Беляев, С.В. Кучерявский. Ижевск: Научно-издательский центр "Регулярная и хаотическая динамика". "Математика. Компьютер. Образование". Сб. трудов XIV международной конференции. Под общей редакцией Г.Ю. Ризниченко. Т. 2, 2007.
- 2. Волкова, С.А. Основы клинической гематологии: учебное пособие [Текст] / С.А. Волкова, Н.Н. Боровков. Н. Новгород: Издательство Нижегородской гос. медицинской академии, 2013. 400 с.
- 3. Жулькова, Е.С. Технология выделения лейкоцитов на изображениях препаратов крови [Текст] / Е.С. Жулькова. Самара: журнал Компьютерная оптика, 2007. 79 с.
- 4. Иммунометаболические механизмы развития острых лейкозов [Текст] / О.В. Смирнова, А.А. Савченко, В.Т. Манчук. Красноярск: Издательство КрасГМУ, 2011. 124с.
  - 5. Николенко, С. Глубокое обучение [Текст] / С. Николенко. СПб.: Питер, 2017. 336 с.
- 6. Нишант, Ш. Машинное обучение и TensorFlow [Текст] / Ш. Нишант. СПб.: Питер, 2019. 336 с.
- 7. Об одной методике классификации клеток крови и ее программной реализации [Текст] / В.К. Беляков, Е.П. Сухенко, А.В. Захаров, П.П. Кольцов, Н.В. Котович, А.А. Кравченко, А.С. Куцаев, А.С. Осипов, А.Б. Кузнецов / Программные продукты и системы-№ 4 (108), 2014. С. 46-56.
- 8. Острый лимфобластный лейкоз [электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.podarizhizn.ru/main/node/7658 (дата обращения 7.05.2019).
- 9. Солем, Я.Э. Программирование компьютерного зрения на языке Python [Текст] / Ян Эрик Солем. М.: ДМК Пресс, 2016. 312 с.
  - 10. Шолле, Ф. Глубокое обучение на Python [Текст] / Франсуа Шолле. СПб.: Питер, 2018. 400 с.
- 11. Штадельманн, Ж.В. Метод автоматизированного обнаружения лейкоцитов на изображениях мазков крови на основе бустинга [Текст] / Ж.В. Штадельманн, И.Н. Спиридонов. журнал Медицинская техника № 4, 2012. с. 35-37.
- 12. Штадельманн, Ж.В. Метод определения формалы белой крови [Текст] / Ж.В. Штадельманн, И.Н. Спиридонов. Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электронный журнал №10, 2012. Режим доступа: http://technomag.edu.ru/doc/465287.html (дата обращения 5.05.2019).
- 13. Bain, B.J. Blood Cells: A Practical Guide, 4th Edition [Текст] / B.J. Bain. Malden: Blackwell Publishing: Springer, 2006. 738 с.
- 14. Francois Chollet, Xception: Deep Learning with Depthwise Separable Convolutions.2017, arXiv:1610.02357v3 [cs.CV].
- 15. Glorot, X. Deep Sparse Rectiifier Neural Networks [Текст] / Xavier Glorot. Canada: Universite de Montreal Montreal, QC, 2010.
- 16. Krizhevsky, I. Sutskever, and G. E. Hinton. Imagenet classification with deep convolutional neural networks. In NIPS, 2012.
  - 17. Min Lin, Qiang Chen, and Shuicheng Yan. Network in network. CoRR, abs/1312.4400, 2013.
- 18. Mueller, A.C. Introduction to Machine Learning with Python [Teκcτ] / A.C. Mueller S. Guido. O'Reilly Media, Inc, 2016 340 c.
- 19. У. LeCun. Handwritten Digit Recognition with a Back-Propagation Network [Текст] / Advances in Neural Information Processing Systems 2. Morgan Kaufmann, 1990. pp. 396-404.
- 20. Zhou, S.K. Deep Learning for Medical Image Analysis [Текст] / S. Kevin Zhou, H. Greenspan. Academic Press, 2017. 433 с.

### References

1. Belyaev, I.A. Application of the principles of formal modeling for the classification of medical images [Text] / I.A. Belyaev, S.V. Kucheryavsky. – Izhevsk: Scientific and Publishing Center "Regular and Chaotic Dynamics". "Mathematics. Computer. Education." Sat Proceedings of the XIV International Conference. Under the general editorship of G.Yu. Riznichenko. T. 2, 2007.



- 2. Volkova, S.A. The basics of clinical hematology: a training manual [Text] / S.A. Volkova, N.N. Borovkov. N. Novgorod: Publishing House of the Nizhny Novgorod State. Medical Academy, 2013. 400 p.
- 3. Zhulkova, E.S. The technology of the selection of leukocytes in the images of blood products [Text] / E.S. Zhulkova. Samara: the journal Computer Optics, 2007. 79 p.
- 4. Immunometabolic mechanisms of the development of acute leukemia [Text] / O.V. Smirnova, A.A. Savchenko, V.T. Manchuk. Krasnoyarsk: Publishing house of Krasnoyarsk State Medical University, 2011. 124 p.
  - 5. Nikolenko, S. Deep learning [Text] / S. Nikolenko. St. Petersburg: Peter, 2017. 336 p.
  - 6. Nisant, S. Machine Learning and TensorFlow [Text] / S. Nisant. SPb.: Peter, 2019. 336 p.
- 7. About one technique for the classification of blood cells and its software implementation [Text] / V.K. Belyakov, E.P. Sukhenko, A.V. Zakharov, P.P. Koltsov, N.V. Kotovich, A.A. Kravchenko, A.S. Kutsaev, A.S. Osipov, A.B. Kuznetsov / Software products and systems-No 4 (108), 2014. P. 46-56.
- 8. Acute lymphoblastic leukemia [electronic resource]. Access mode: https://www.podarizhizn.ru/main/node/7658 (access 05.05.2019).
- 9. Solem, J.E. Programming computer vision in Python [Text] / Jan Eric Solem. M.: DMK Press, 2016. 312 p.
- 10. Chollet Francois. Deep Learning in Python [Text] / Francois Chollet. St. Petersburg: Peter, 2018. 400 p.
- 11. Stadelmann, J.V. Method for automated detection of white blood cells in blood smear images based on boosting [Text] / Zh.V. Stadelmann, I.N. Spiridonov. the journal Medical equipment No. 4, 2012. p. 35-37.
- 12. Stadelmann, J.V. A method for determining the formulas of white blood [Text] / Zh.V. Stadelmann, I.N. Spiridonov. Science and education. MSTU named after N.E. Bauman. Electronic journal No. 10, 2012. Access mode: http://technomag.edu.ru/doc/465287.html (access 05.05.2019).
- 13. Bain, B.J. Blood Cells: A Practical Guide, 4th Edition [Текст] / B.J. Bain. Malden: Blackwell Publishing: Springer, 2006. 738 р.
- 14. Francois Chollet, Xception: Deep Learning with Depthwise Separable Convolutions. 2017, arXiv:1610.02357v3 [cs.CV].
- 15. Glorot, X. Deep Sparse Rectiifier Neural Networks [Текст] / Xavier Glorot. Canada: Universite de Montreal Montreal, QC, 2010.
- 16. Krizhevsky, I. Sutskever, and G. E. Hinton. Imagenet classification with deep convolutional neural networks. In NIPS, 2012.
  - 17. Min Lin, Qiang Chen, and Shuicheng Yan. Network in network. CoRR, abs/1312.4400, 2013.
- 18. Mueller, A.C. Introduction to Machine Learning with Python [Teκcτ] / A.C. Mueller S. Guido. O'Reilly Media, Inc, 2016 340 p.
- 19. У. LeCun. Handwritten Digit Recognition with a Back-Propagation Network [Текст] / Advances in Neural Information Processing Systems 2. Morgan Kaufmann, 1990. pp. 396-404.
- 20. Zhou, S.K. Deep Learning for Medical Image Analysis [Текст] / S. Kevin Zhou, H. Greenspan. Academic Press, 2017. 433 p.

**Черных Евгений Михайлович,** магистрант кафедры математического и программного обеспечения информационных систем

**Михелев Владимир Михайлович,** кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем

Chernykh Eugeniy Mikhailovich, master student, Department of Mathematical and Software Information Systems

Mikhelev Vladimir Mikhaylovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the

Department of Computer Software and Automated Systems



# ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ INFORMATION TECHNOLOGIES AND TELECOMMUNICATION

УДК 004.75

DOI: 10.18413/2518-1092-2019-4-3-0-7

Кузнецов Д.А.<sup>1</sup> Дамм В.А.<sup>1</sup> Кузнецов А.В.<sup>1</sup> Басов О.О.<sup>2</sup>

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОМОДАЛЬНОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ НА ОБЪЕКТАХ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

e-mail: wvxp@mail.ru, kvaa77@mail.ru, oobasov@mail.ru

### Аннотация

Безопасность функционирования объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации определяет высокий уровень обороноспособности государства, безопасности и правопорядка. В настоящее время применяемые на таких объектах традиционные системы аутентификации, подразумевающие использование факторов знания и владения в процессе предоставления прав доступа пользователям, в полной мере не отвечают предъявляемым требованиям. Такие системы обладают серьезными недостатками, обуславливающими их высокую уязвимость для злоумышленника. Использование биометрических методов одномодальной аутентификации также не лишено недостатков и не гарантирует высокий уровень безопасности автоматизированных систем. Проведенный анализ показал, что переход к системам многомодальной аутентификации позволяет выполнить требования, предъявляемым к системам аутентификации, а также существенно повысить уровень достоверности принятия решений и снизить вероятность возникновения ошибок.

**Ключевые слова:** интеллектуальное пространство; многомодальность; обнаружение лица; аутентификация; автоматизация; распознавание; контроль доступа.

### **UDC 004.75**

Kuznetsov D.A.<sup>1</sup> Damm V.A.<sup>1</sup> Kuznetsov A.V.<sup>1</sup> Basov O.O.<sup>2</sup>

# APPLICATION OF MULTIMODAL AUTHENTICATION AT CRITICAL INFORMATION INFRASTRUCTURE FACILITIES

e-mail: wvxp@mail.ru, kvaa77@mail.ru, oobasov@mail.ru

### Annotation

The security of the operation of the objects of the critical information infrastructure of the Russian Federation determines the high level of defense capacity of the State, security and law and order. At present, the traditional authentication systems used at such sites, which involve the use of knowledge and ownership factors in the process of granting access rights to users, do not fully meet the requirements. Such systems have serious disadvantages that make them highly vulnerable to the attacker. The use of biometric single-mode authentication methods is also not devoid of

<sup>&</sup>lt;sup>1)</sup> Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации», ул. Приборостроительная, д. 35, г. Орёл, 302034, Россия <sup>2)</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», Кронверкский пр., д. 49, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия

<sup>&</sup>lt;sup>1)</sup> Federal state military educational institution of higher professional education "Academy of the Federal security service of the Russian Federation", 35 Priborostroitelnaya St, Orel, 302034, Russia
<sup>2)</sup> Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, 49 Kronverkskiy prospekt, St. Petersburg, 197101, Russia



disadvantages and does not guarantee a high level of security of automated systems. The analysis showed that the transition to multimodal authentication systems allows to meet the requirements of authentication systems, as well as to significantly increase the level of reliability of decision-making and reduce the probability of errors.

**Keywords:** intellectual space; multimodality; detection of the person; authentication; automation; recognition; access control.

### ВВЕДЕНИЕ

Надежность и безопасность функционирования объектов критической информационной инфраструктуры (КИИ) Российской Федерации определяет высокий уровень обороноспособности государства, безопасности и правопорядка [1]. Важнейшим этапом обеспечения безопасности на таких объектах является аутентификация пользователей [2] информационных систем и автоматизированных систем управления [3] субъектов КИИ. Аутентификация пользователей на объектах КИИ, как правило, заключается в применении методов, направленных на разграничение доступа пользователей [4, 5]. Такие методы позволяют осуществить, в лучшем случае, двухфакторную аутентификацию с использованием электронного ключа и пароля, что в полной мере не снимает угрозу несанкционированного доступа к объектам и автоматизированным системам.

Анализ способов аутентификации пользователя в современных автоматизированных системах показал возможность отчуждения персонального идентификатора от пользователя, обуславливающую высокую уязвимость аутентификации. При любой сложности исполнения электронных устройств, предназначенных для аутентификации пользователя по фактору владения, существует возможность их подделки или утраты, что создает прецедент для получения доступа нелегитимным пользователем. Методы парольной аутентификации также обладают вышеназванными недостатками. Биометрическая аутентификации обладает рядом недостатков, вызванных возможностью предъявить такой системе фото, видео и голос легитимного пользователя, а также снижением достоверности при изменении физиологического состояния человека.

Наличие указанных недостатков диктует необходимость поиска решения, направленного на их устранение и выполнение требований безопасности, предъявляемых к объектам КИИ [2, 7].

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

# Критерии оценки систем аутентификации

Система аутентификации должна обладать следующими свойствами:

достоверность – способность устанавливать истинность пользователя с требуемой точностью;

непрерывность – способность обеспечивать процедуру аутентификации на протяжении всего времени работы пользователя;

защищенность – невозможность использования аутентификаторов другими лицами;

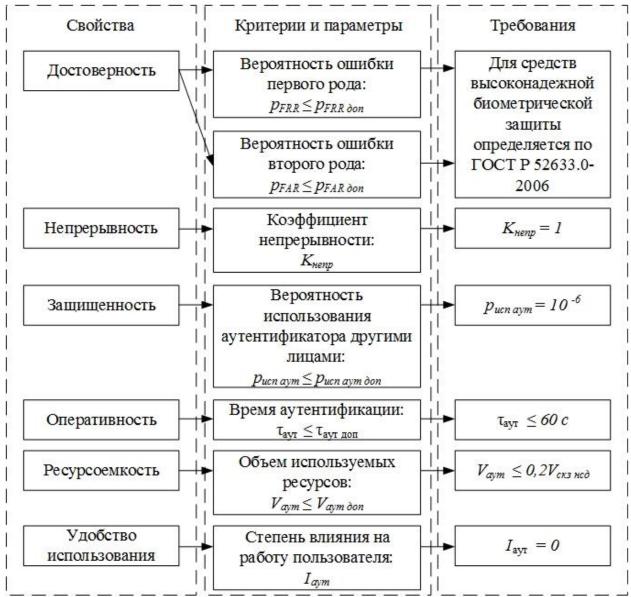
оперативность – способность проведения однократной аутентификации за установленное время;

ресурсоемкость – степень соответствия объема ресурсов системы аутентификации требуемому значению;

удобство использования – способность обеспечить комфортное пользование системой аутентификации.

К каждому свойству предъявляется ряд требований [3,10] (рис.1).





 $Puc.\ 1.$  Критерии и требования, предъявляемые к системе аутентификации  $Fig.\ 1.$  The criteria and requirements for the authentication system

Очевидно, что основным является требование по достоверности аутентификации. Оно характеризуется вероятностью ошибок первого рода, т.е. вероятностью ошибочного отказа доступа легитимному пользователю, и вероятностью ошибок второго рода — вероятностью ошибочного предоставления доступа нелегитимному пользователю. При этом требования по вероятности ошибок первого рода предъявляются, в основном, к биометрическим системам аутентификации, так как в других случаях из-за особенностей функционирования систем такие ошибки практически отсутствуют. Поэтому анализ существующих систем аутентификации проведем исходя из их способности обеспечить требуемый уровень достоверности.

# Анализ существующих систем аутентификации пользователя

В большинстве технических и программных средствах аутентификации, применяемых на объектах КИИ, используется сочетание классических методов аутентификации по фактору знания (пароль) и по фактору владения (персональный идентификатор) [4, 5, 8].

Надежность паролей основывается на способности человека помнить и хранить их в тайне, что обуславливает его простоту, однако такой пароль легко подобрать, получить с использованием



специального программного обеспечения, или подсмотреть (перехватить) с помощью технических средств.

Использование персональных идентификаторов подвержено угрозам их утраты и подделки, не смотря на применение различных методов их усложнения.

Преимущества биометрической аутентификации заключаются в невозможности использования уникальных индивидуальных признаков пользователя другими лицами, а изготовление поддельных биоматериалов связано с большими затратами, однако технически возможно, а в условиях девиации биометрических параметров пользователя произойдет снижение достоверности аутентификации.

Указанные недостатки обуславливают наличие ряда угроз (рис. 2), которым подвержены используемые в настоящее время факторы аутентификации, что не позволяет в полной мере обеспечить требуемый уровень достоверности процедуры аутентификации и, соответственно, предотвратить НСД к объектам КИИ.



\* - возможность предоставить системе биометрической аутентификации речь, фото и др. данные легетимного пользователя

 $Puc.\ 2.$  Угрозы, которым подвержены существующие системы аутентификации  $Fig.\ 2.$  Threats to Existing Authentication Systems

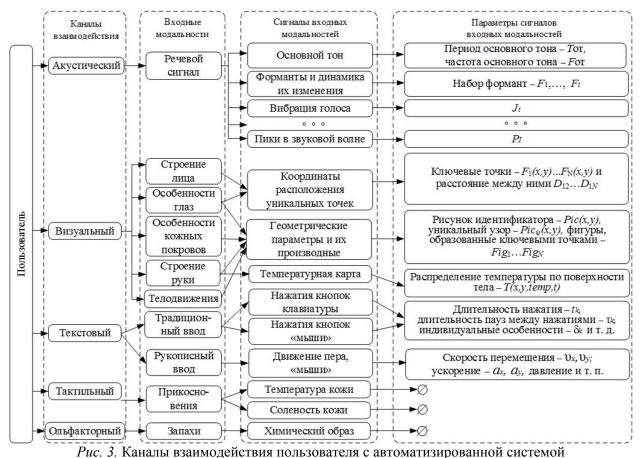
Кроме того, существующие системы выполняют процедуру аутентификации только при входе пользователя в систему, поэтому не выполняется требование к непрерывности аутентификации, которое характеризует способность контролировать истинность пользователя на протяжении всего сеанса работы. Данное свойство обусловлено наличием способов обхода классических средств разграничения доступа. Так, проведенные исследования показали, что около 85% негативного влияния осуществляется аутентифицированными пользователями, при этом по вине внутренних нарушителей до 64,5%, при этом в 53,5% случаев виновными в утечке информации оказались штатные сотрудники [9].



## Обоснование необходимости применения многомодальной аутентификации пользователей

Для разграничения доступа к ресурсам критической информационной инфраструктуры целесообразно применять многомодальную аутентификацию. Методы многомодальной аутентификации позволяют учитывать информацию о функциональном состоянии пользователя, способствуя повышению достоверности процедуры [11, 12].

Многомодальное взаимодействие реализуется путем использования средств передачи информации по различным каналам [13] (рис. 3). При обработке потоков входной информации учитывается передаваемая пользователем семантическая информация, при этом способы ее ввода (модальности) можно разделить на активные (непосредственно речь, жесты) и пассивные (появление морщин, движение глаз и др.).



при проведении процедуры аутентификации

Fig. 3. User interaction channels with the automated system during the authentication procedure

В акустическом канале взаимодействия основной передаваемой информацией является речь пользователя. При аутентификации по голосу применяются методы определения частоты основного тона, коэффициентам линейного предсказания, перцепционным коэффициентам линейного предсказания, мел-кепстральным коэффициентам [15].

В текстовом канале взаимодействия осуществляется выделение биометрических признаков с помощью традиционного (клавиатура, мышь) и рукописного ввода. Сбор информации о работе пользователя реализуется путём непосредственного замера временных значений нажатий и отпускания клавиш, вычислении их различных комбинаций (интервалов между нажатием клавиш, интервалов времени удержания клавиш [16]), определения функций изменения координат, давление и угла наклона к плоскости при работе с пером [23], движения и нажатия кнопок мыши [17, 18].

В визуальном канале взаимодействия осуществляется выделение биометрических признаков лица [19] (координаты и расстояние между характерными точками, термограмма), глаз (рисунок кровеносных сосудов глазного дна), рук (форма, изгиб пальцев и т.д.).

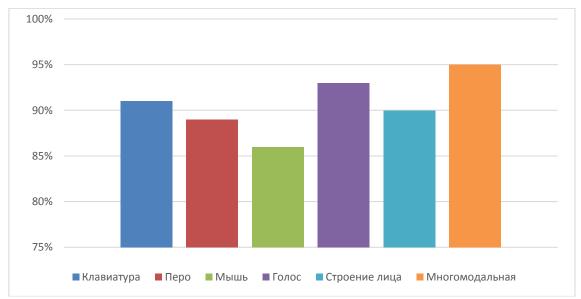


В тактильном канале взаимодействия выделяются такие признаки, как температура и уровень солености кожи.

В ольфакторном канале взаимодействия выделяют признаки с помощью кожного покрова (запах тела), однако из-за сложности получения и обработки информации по данному каналу такие системы в настоящее время не получили распространения.

Таким образом, при обработке потоков информации в многомодальных системах учитывается семантическая информация, передаваемая пользователем. Учет девиации его биометрических параметров, вызванных изменением состояния, является одним из направлений повышения достоверности многомодальной аутентификации [14].

Анализ проведенных исследований показывает, что разные биометрические параметры вносят различный вклад в достоверность аутентификации (рис. 4).



*Puc. 4.* Сравнение результатов моделирования системы многомодальной аутентификации с существующими решениями

Fig. 4. Comparison of the system simulation results multimodal authentication with existing solutions

Данные для различных каналов взаимодействия, полученные при моделировании [4] системы многомодальной аутентификации, согласуются с известными показателями [20-22]. При этом достоверность многомодальной аутентификации составила 95%, что превышает одномодальную на 2-6% в нормальных условиях (нормальном состоянии пользователя). При этом вероятность ошибок первого рода составила 0,81%, а вероятность ошибок второго рода 0,25%.

Таким образом, применение методов многомодальной аутентификации вносит существенный вклад в увеличение достоверности системы аутентификации.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На сегодняшний день при использовании традиционных методов аутентификации объекты критической информационной инфраструктуры остаются подвержены угрозе несанкционированного доступа, обусловленной наличием ряда существенных недостатков в таких методах. Многомодальная аутентификация лишена недостатков классических методов, что в существенной степени повышает достоверность процедуры аутентификации и способствует снижению вероятности НСД к объектам КИИ.

## Список литературы

1. Федеральный закон от 26.07.2017 № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации».



- 2. Приказ ФСТЭК России № 239 «Об утверждении Требований по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» (Зарегистрировано в Минюсте России 26.03.2018 № 50524).
- 3. ГОСТ 34.003-90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения.
- 4. Никитин В.В. Модель и методика многомодальной аутентификации пользователя автоматизированной системы: Автореф... дис. канд. техн. наук. Воронеж 2018. 18 с.
- 5. Бойченко О.В. Обеспечение безопасности критически важных объектов инфраструктуры Российской Федерации. / О.В. Бойченко, А.А. Аношкина А.А. // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Экономика и управление. Том 2. 2016 г. С. 15 19.
- 6. Мартынова Л.Е. Исследование и сравнительный анализ методов аутентификации / Л.Е. Мартынова, М.Ю. Умницын, К.Е. Назарова, И.П. Пересыпкин // Молодой ученый. 2016. № 19. С. 90-93.
- 7. ГОСТ Р 52633.0-2006 Защита информации. Техника защиты информации. Требования к средствам высоконадежной биометрической аутентификации
- 8. Никитин В.В. Существующие системы аутентификации и идентификации пользователей: основные проблемы и направления их модернизации // Вестник Московского Университета МВД России. 2014. № 2. С. 165-172.
- 9. Отчёт об исследовании утечек конфиденциальной информации аналитического центра компании InfoWatch за 2018 г. https://www.infowatch.ru/sites/default/files/report/analytics/russ/infowatch\_global\_report\_2018\_half\_year.pdf?rel=1, дата обращения 21.08.2019 г.
  - 10. ГОСТ Р ИСО/МЭК 9594 8 98 Ч. 8. Основы аутентификации.
- 11. Басов О.О. Карпов А.А., Саитов И А. Методологические основы синтеза полимодальных инфокоммуникационных систем государственного управления: монография. Орёл: Академия ФСО России, 2015. 270 с.
  - 12. Болл Руд М. и др. Руководство по биометрии. Москва: Техносфера, 2007. 368 с.
- 13. Носов М.В., Басов О.О. Оценивание психофизиологического состояния человека по сигналам различных каналов взаимодействия с техническими средствами автоматизированных рабочих мест / Мат. 4-й Межд. научн.-практ. конф. «Современные инновации в науке и технике» (18.04.2014 г.) / Редкол.: Горохов А.А. (отв. ред); Юго-Зап. гос. ун-т. В 3-х томах, Том 2., Курск, 2014. С.72—75.
- 14. Басов О.О., Никитин В.В. Подход к совершенствованию системы аутентификации пользователей автоматизированной системы / Информационные системы и технологии, 2018. № 5 (109). С. 99-107.
- 15. Кухарев Г.А. Биометрические системы: методы и средства идентификации личности человека. Санкт-Петербург: Политехника, 2001 240 с.
- 16. Борисов Р.В. Многофакторная система аутентификации пользователей по динамическим биометрическим признакам / Р.В. Борисов, В.В. Борисов, Н.Н. Буслаев, А.Е. Сулавко // Наука и инновации в технических университетах: сб. мат. конф. Санкт-Петербург: СПбГТУ, 2008. С. 61-62.

  17. Тушканов Е.В., Гатчин Ю.А., Сухостат В.В. Метод аутентификации при использовании
- 17. Тушканов Е.В., Гатчин Ю.А., Сухостат В.В. Метод аутентификации при использовании клавиатурного почерка на основе психофизиологического состояния пользователя // «Вестник компьютерных и информационных технологий» Москва, 2015. № 8. С. 29-34.
- 18. Никитин В.В., Басов О.О. Учет психофизиологического состояния пользователя при его аутентификации по рукописному почерку / Сб. научных трудов 4-ой Межд. н.-практ. конф. «Инновации, качество и сервис в технике и технологиях» / ред. колл. Горохов А.А. (отв. ред.), в 3-х томах. Том. 2. Юго-Зап. гос. ун-т, Курск, 2014. С. 41-44.
- 19. Кузнецов Д.А. Классификация методов обнаружения и распознавания лица на изображении / Кузнецов Д.А., Никольский П.Г., Рачков Д.С., Кузнецов А.В., Хахамов А.П. // Научный результат. Информационные технологии. Т.4, №1, 2019.
- 20. Тушканов Е.В. Сухостат В.В. Методы и алгоритмы аутентификации при использовании клавиатурного почерка на основе психофизиологического состояния пользователя // III Междунар. научнопракт. конф.: сб. научных статей / Под. ред. С.М. Доценко, Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2014 г. С. 111-114.
- 21. Сулавко А.Е. Разработка технологии биометрической идентификации пользователей по динамике набора парольной фразы // Научная сессия: сб. мат. конф. / ТУСУР. Томск, 2011. Т. 3. С. 278-280.



- 22. Комплексированная система идентификации личности по динамике подсознательных движений / Б.Н. Епифанцев, П.С. Ложников, А.Е. Сулавко, Р. В. Борисов // Безопасность информационных технологий. -2011. − № 4. − C. 97-102.
- 23. Мураматсу, Д., Мацумото, Т., Эффективность перьевого давления, Азимут и функции высоты для проверки подписи в режиме онлайн. Материалы Международной конференции по достижениям в области биометрии (МКБ), лекции по информатике 4642, Спрингер, с. 503-512.

### References

- 1. Federal law of 26.07.2017 No. 187-FL "About safety of critical information infrastructure of the Russian Federation".
- 2. Order of FSTEC of the Russian Federation No. 239 "On Approval of Requirements for Ensuring Security of Important Objects of Critical Information Infrastructure of the Russian Federation" (Registered in the Ministry of Justice of the Russian Federation 26.03.2018 № 50524)
- 3. GOST 34.003-90. Information technology. Set of standards for automated systems. Automated systems. Terms and definitions.
- 4. Nikitin V.V. Model and methodology of multimodal authentication of the user of the automated system: Autoref... dis. candidate of engineering sciences. Voronezh 2018. 18 p.
- 5. Boychenko O.V. Ensuring the security of critical infrastructure facilities of the Russian Federation / O.V. Boychenko, A.A. Anoshkin A.A.//Scientists notes of the Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky. Economics and management. Volume 2. 2016. C. 15 19.
- 6. Martynova L.E. Research and comparative analysis of authentication methods / L.E. Martynova, M.J. Umnitsin, K.E. Nazarov, I.P. Perepkin // Young scientist. -2016. No 19. P 90 93.
- 7. GOST R 52633.0-2006 Data protection. Information protection technique. Requirements for highly reliable biometric authentication
- 8. Nikitin V.V. Existing systems of authentication and identification of users: main problems and directions of their modernization // Journal of the Moscow University of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation. -2014. No 2. P.165-172.
- 9. Report on the investigation of leaks of confidential information of InfoWatch analytical center for 2018 https://www.infowatch.ru/sites/default/files/report/analytics/russ/infowatch\_global\_report\_2018\_half\_year.pdf? rel=1, date of appeal 21.08.2019.
  - 10. GOST R ISO/IEC 9594 8 98 Part 8. Authentication basics.
- 11. Basov O.O. Karpov A.A., Saitov and A. Methodological bases of synthesis of polymodal infocommunication systems of public administration: monograph. Eagle: Academy of FSO of Russia, 2015. 270 p.
  - 12. Ball Rud M. et al. Biometrics Manual. Moscow: Technosphere, 2007. 368 p.
- 13. Nosov M.V., Basov O.O. Assessment of psychophysiological state of a person by signals of various channels of interaction with technical means of automated workplaces/Mat. 4th International Study Report Cont. "Modern Innovations in Science and Technology" (18.04.2014) / Redkol.: Gorokhov A.A. (red); South-Zap. State. un-t. In 3 volumes, Vol. 2., Kursk, 2014. C.72-75.
- 14. Basov O.O., Nikitin V.V. Approach to Improvement of User Authentication System of Automated System / Information Systems and Technologies,  $2018. N_0 5 (109). P 99-107.$
- 15. Kukharev G.A. Biometric Systems: Methods and Means of Identification of a Person. St. Petersburg: Polytechnic, 2001 240 p.
- 16. Borisov R.V. Multi-factor system of authentication of users by dynamic biometric signs / R.V. Borisov, V.V. Borisov, N. N. Buslayev, A.E. Sulavko // Science and innovation in technical universities: mat. cont. St. Petersburg: SPbGTU, 2008 61-62.
- 17. Tushkanov E.V., Gatchin Yu. A., Sukhostat V.V. Method of authentication when using keyboard handwriting based on the psychophysiological state of the user//"Journal of Computer and Information Technologies" Moscow, 2015. N = 8. P = 29-34.
- 18. Nikitin V.V., Basov O.O. Taking into account the psychophysiological state of the user during his authentication by handwriting/SB of scientific works of the 4th International State Committee. "Innovation, Quality and Service in Technology and Technology"/ed. Call. Gorogov A.A. (ed.), in 3 volumes. Tom. 2. South-Zap. state. un-t, Kursk, 2014. P.41-44.
- 19. Kuznetsov D.A. Classification of methods of detection and facial recognition on the image / Kuznetsov D.A., Nikolsky P.G., Rachkov D.S., Kuznetsov A.V., Khakhamov A.P. // Scientific result. Information technology. T.4, No. 1, 2019.



- 20. Tushkanov E.V. Sukhostat V.V. Methods and algorithms of authentication when using keyboard handwriting based on the psychophysiological state of the user//III International Scientific-Prog. Cont.: Assembly of Scientific Articles/Ed. S.M. Dotodko, St. Petersburg: St. Petersburg State University of Telecommunications M.A. Bonch-Brujević, 2014 S. 111-114.
- 21. Sulavko A.E. Development of the technology of biometric identification of users by the dynamics of the password phrase set//Scientific session: m.p. cont. / TUSSUR. Tomsk, 2011. Vol. 3. P 278-280.
- 22. Integrated system of identification of personality by dynamics of subconscious movements / B.N. Epifantsev, P.S. Lodnikov, A.E. Sulavko, R. V. Borisov // Security of information technologies.  $-2011. N_{\odot} 4. P.97-102.$
- 23. Muramatsu, D., Matsumoto, T., Effectiveness of Pen Pressure, Azimuth, and Altitude Features for Online Signature Verification. Proceedings of the International Conference on Advances in Biometrics (ICB) Lecture Notes in Computer Science 4642, Springer, pp. 503-512.

**Кузнецов Денис Андреевич,** студент Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации **Дамм Виктор Александрович, кандидат технических наук**, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации

**Кузнецов Андрей Викторович,** кандидат технических наук, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации

Басов Олег Олегович, доктор технических наук, профессор кафедры речевых информационных систем

**Kuznetsov Denis Andreevich,** student Academy of the Federal security service of the Russian Federation **Damm Victor Aleksandrovich,** candidate of technical sciences, Academy of the Federal security service of the Russian Federation

**Kuznetsov Andrey Viktorovich,** candidate of technical sciences, Academy of the Federal security service of the Russian Federation

Basov Oleg Olegovich, doctor of technical sciences, Professor of Department of Speech Information Systems