Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения

XXIV Международная научная конференция

ВОЛНОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Сборник статей

Часть 3

31 мая – 4 июня 2021 г.

Санкт-Петербург

Санкт-Петербург, Россия

2021

УДК 621.38
ББК 32.85
В67

В67 Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: XXIV Междунар. науч. конф. (СПб., 31 мая – 4 июня 2021 г.): сб. статей: в 3 ч. Ч. 3. СПб.: ГУАП, 2021. 340 с.
ISBN 978-5-8088-1581-0
ISBN 978-5-8088-1584-1 (Ч. 3)
DOI: 10.31799/978-5-8088-1584-1-2021-3

Материалы XXIV Международной научной конференции отражают современное состояние волновой электроники и ее применение в информационных и телекоммуникационных системах.

Представляют интерес для широкого круга исследователей, преподавателей, аспирантов и специалистов в области акустооптики, акустоэлектроники.

ISBN 978-5-8088-1581-0
ISBN 978-5-8088-1584-1 (Ч. 3)
DOI: 10.31799/978-5-8088-1584-1-2021-3

© Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2021

ОБРАБОТКА И ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ В ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

УДК 004.056.5

А. В. Афанасьева*
старший преподаватель
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДХОДОВ К ФОРМИРОВАНИЮ МЯГКОГО КАНАЛА В СТЕГАНОГРАФИИ

Рассмотрены подходы к получению дополнительной информации о надежности извлекаемых из скрытого канала символов цифрового водяного знака. Эта информация позволяет улучшить качество декодера вероятностных антикоалиционных кодов и снизить вероятности ошибок первого и второго рода при сознательных искажениях контейнера. Проведена серия экспериментов для оценки адекватности полученных оценок, в качестве критерия адекватности использована средняя надежность ошибочно извлеченного бита и правильно извлеченного. По результатам экспериментов выделен наиболее адекватный подход.
Ключевые слова: стеганография, скрытый канал передачи данных, цифровые водяные знаки, антикоалиционные коды.

A. V. Afanasyeva*
Senior Lecturer
*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

INVESTIGATION OF APPROACHES TO THE FORMATION OF A SOFT-DECISION CHANNEL IN STEGANOGRAPHY

The article describes the approaches to extracting additional information about the likelihood of digital watermark symbols extracted from the covert channel. This information makes it possible to improve the quality of the decoder of probabilistic anti-coalition codes and to reduce the probabilities of errors of the first and second kind in case of distortions attacks to the container. A series of experiments was carried out to assess the adequacy of the estimates obtained; as a criterion of adequacy, the average likelihood of an erroneously extracted bit and a correctly extracted one was used. Based on the results of the experiments, the most adequate approach was identified.
Keywords: steganography, covert data channel, digital watermarks, anti-coalition codes.

Введение

Современные методы защиты авторских прав на медиа-контент включают 2 задачи: формирование уникальных индивидуальных меток (ИМ) пользователей, позволяющих отследить владельца копии цифрового продукта [1, 2] и их надежное внедрение в цифровую копию продукта [3, 4]. При этом только в последние годы их начали рассматривать совместно, так как выяснилось, что искажения метки зависят от процедуры внедрения и извлечения информации, и при этом сильно влияют на процедуру декодирования уникальных меток [5]. В ряде работ было как теоретически, так и экспериментально показано, что использование дополнительной информации о надежности извлеченного бита при «мягком» выходе канала можно существенно снизить количество ошибок первого и второго рода в алгоритме декодирования антикоалиционных кодов, используемых для формирования уникальных меток пользователей [6, 7]. В дан-

ной работе аналогично предыдущим исследованиям рассмотрена комплексная модель атаки, включающая в себя коалиционную атаку на индивидуальные метки и шумовую атаку на контейнер. В качестве шумовой атаки была выбрана, наиболее популярная и простая в реализации атака пережатия файла с повышенным коэффициентом квантования. После проведения комплексной атаки, видео разжимается и извлекается внедренная метка.

Для реализации «мягкого» метода извлечения необходимо модифицировать как метод извлечения битов, так и метод их внедрения. В работе в качестве базового будет использован аддитивный алгоритм внедрения данных в коэффициенты ДКП, применительно к видеопоследовательностям, аналогично работе [4]. В ходе работы было исследовано два подхода к формированию «мягкого» выхода: первый, основан на известном ранее способе расширения спектра, использующимся при «слепых» методах извлечения бит, а второй на статистическом анализе свойств подканалов передачи данных.

Подход, основанный на расширении спектра

Для вставки отдельных символов будут использованы ортогональные последовательности, количество которых равно алфавиту внедряемой метки. Так как в данной работе исследуется бинарный код, то для внедрения битов понадобится 2 ортогональные последовательности, одна соответствует 0, а вторая – 1.

В исследовании были рассмотрены следующие виды ортогональных последовательностей:

- Последовательности Уолша-Адамара, биты последовательности принадлежат множеству {0,1};
- Последовательности Уолша-Адамара, биты последовательности принадлежат множеству {-1,1};
- М-последовательности, биты которых принадлежат множеству {0,1};
- М-последовательности, биты которых принадлежат множеству {-1,1}.

После проведения серии экспериментов с использованием данных ортогональных последовательностей было выявлено, что наиболее устойчивыми к накладываемым искажениям являются последовательности Уолша-Адамара, биты которых принадлежат множеству {0,1}.

Изменение среднечастотных коэффициентов ДКП блока 8×8 осуществлялось по формуле 1:

$$DCT_i = DCT_i \pm \alpha H_i^j, j = \{0,1\} \quad (1)$$

где DCT_i – изменяемый коэффициент ДКП, α – коэффициент внедрения, знак которого определяет значение внедряемого бита метки, H – ортогональная последовательность, j – номер выбранной ортогональной последовательности, равный значению внедряемого бита метки. Таким образом, один бит метки кодируется одной ортогональной последовательностью и внедряется в один блок кадра видео.

После внедрения метки видеофайл подвергается выбранной шумовой

атаке, и из искаженного файла извлекается метка. Для извлечения на вход подаются два блока видеокадра: один с внедренным битом, второй из исходного видео. Над двумя блоками производится ДКП и далее считается разность между соответствующими коэффициентами ДКП двух видеоблоков. Таким образом, получена последовательность, состоящая из разностей коэффициентов ДКП. На следующем этапе считаются корреляции между полученной последовательностью и двумя используемыми ортогональными последовательностями, соответствующими битам метки. Значение внедренного бита определяется по максимуму корреляции.

В качестве надежности извлеченного бита используется значение корреляции, нормированное к единице:

$$p_i = \frac{cor(block)}{\alpha \sum_i H_i^j},$$

где $cor(block)$ – значение коэффициента корреляции для анализируемого блока и принятого бита j, $\alpha \sum_i H_i^j$ – максимально возможное значение коэффициента корреляции без шумов.

Подход, основанный на использовании результатов анализа канала передачи

Второй способ реализации «мягкого» метода извлечения битов, который исследован в данной работе, основан на анализе канала передачи. Анализ канала проведен для поиска подканалов передачи с устойчивыми вероятностями ошибок извлечения. В данной работе каналом передачи является видео, а за подканалы передачи принимаются коэффициенты ДКП, в которые могут быть внедрены биты метки. Анализ канала проводится в два этапа:

1) Выявление тех подканалов, из которых метка извлекается полностью при условии сохранения качества видео в процессе внедрения;

2) Среди найденных на первом этапе подканалов выявление тех, у которых статистически устойчивы вероятности ошибок извлечения.

При выполнении первого этапа анализа канала для выявления подканалов, из которых метка извлекается полностью, была проведена серия экспериментов. Каждый эксперимент нацелен на проверку одного коэффициента ДКП. В начале каждого эксперимента выбирается коэффициент, в который будет внедряться метка и уровень внедрения α, при котором среднее качество изображения(PSNR) снижается не ниже 40. Таким образом, в ходе эксперимента каждый бит метки внедряется в один блок видеокадра в один определенный коэффициент ДКП. При такой реализации внедрения вставка метки производится в один подканал передачи.

В результате проведения экспериментов со всеми ненулевыми коэффициентами ДКП были выявлены те подканалы, из которых метка извлекалась пол-

ностью. Такие подканалы представлены на рис. 1. Далее эти подканалы были проанализированы на предмет устойчивости вероятностей ошибок извлечения.

На втором этапе анализируются только те коэффициенты, которые были отобраны на первой стадии анализа канала. На данном этапе, аналогичным образом, проводится серия экспериментов, то есть при каждом эксперименте для внедрения метки используется только один подканал передачи.

Видео с внедренной меткой подвергается шумовой атаке. При извлечении осуществляется подсчет бит, которые были неправильно идентифицированы, то есть ведется подсчет количества «единичных» бит, которые при извлечении были идентифицированы как «нулевые», и подсчет «нулевых» бит, идентифицированных при извлечении как «единичные». Для проведения анализа подканалов общий объем внедренных битов составил 14496 символов в один видео ролик. Для проверки устойчивости полученных данных, серии проведенных экспериментов проводится на наборе из 20 видеороликов [8; 9]. Те коэффициенты, у которых будет сохраняться соотношение переходов «единичных» бит в «нулевые» и наоборот, будут считаться коэффициентами с устойчивыми вероятностями ошибок извлечения. На рис. 2 зеленым цветом отмечены отобранные на втором этапе коэффициенты. Именно эти коэффициенты будут использоваться для внедрения битов идентификационного номера.

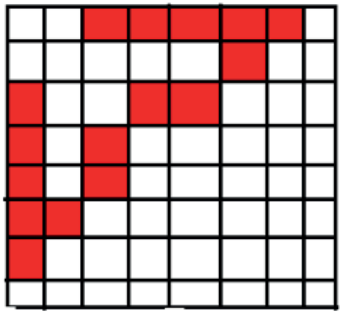


Рис. 1. Подканалы передачи, из которых извлекается 100% метки

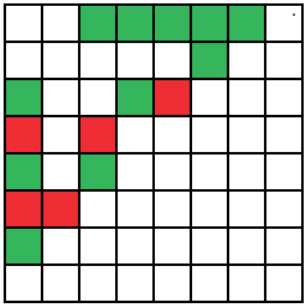


Рис. 2. Коэффициенты с устойчивыми вероятностями ошибок извлечения

На основе полученных результатов переходов бит вычисляются вероятности ошибок извлечения для всех значений бит для отобранных на втором этапе коэффициентов ДКП. Результаты вычислений представлены в табл. 1.

Внедрение битов метки происходит в те коэффициенты, которые были отобраны при анализе канала передачи, то есть в каждый блок видеокадра будет внедрено 11 бит.

Для внедрения бита используется стандартный способ уменьшения и увеличение коэффициента ДКП на глубину продавливания α (формула 2).

$$DCT_i = DCT_i \pm \alpha \qquad (2)$$

Таблица 1

Рассчитанные вероятности ошибок извлечения отобранных для внедрения подканалов

	Pr{0->1}	Pr{1->0}
DCT[0][2]	0,052	0,061
DCT[0][3]	0,058	0,075
DCT[0][4]	0,101	0,082
DCT[0][5]	0,082	0,103
DCT[0][6]	0,115	0,126
DCT[1][5]	0, 110	0,124
DCT[2][0]	0, 054	0,057
DCT[2][3]	0, 112	0,120
DCT[4][0]	0, 093	0,087
DCT[4][2]	0,117	0,125
DCT[6][0]	0,118	0,098

Выходом этапа внедрения, аналогично первому способу внедрения битов, являются блок с внедренными битами метки и метаданные необходимы для извлечения метки.

Так же как и в предыдущем подходе, для извлечения метки будет использован стандартный метод извлечения битов, основанный на вычислении разницы между коэффициентами ДКП пиратского и исходного блоков видеокадра. Знак полученной разницы определяет значение извлеченного бита.

В данной реализации «мягкого» метода извлечения в качестве надежности извлеченного бита можно использовать произведение двух значений (формула 3):

- Полученные на этапе анализа вероятности ошибок извлечения бита текущего подканала ($\Pr\{chan\}$);
- Разницу коэффициентов ДКП, отнормированную к единице при помощи значения глубины продавливания α

$$p_i = \Pr\{chan\} \cdot \frac{\Delta DCT_i}{\alpha}. \qquad (3)$$

Результаты моделирования

Для оценки адекватности двух описанных подходов был проведен сравнительный анализ: для этого в один и тот же набор из 20 видеофайлов была внедрена случайная битовая последовательность длиной 10000 бит в коэффициенты ДКП по двум описанным выше алгоритмам. После это все файлы были подвержены идентичной атаке пережатием со снижением битрейта в 1,5 раза.

Из искаженного файла извлекалась метка и уровень ее достоверности на каждый бит, после этого извлеченная метка сравнивалась с внедренной последовательностью и оценивалось среднее значение надежности на один искаженный бит и среднее значение надежности на один принятый бит.

Результаты, полученные в ходе эксперимента, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Первый подход	Правильные биты	Искаженные биты
Среднее количество на файл	7563	2437
Дисперсия	562,13	69,54
Средняя надежность	0,73	0,45
Дисперсия	0,017	0,011
Второй подход	Правильные биты	Искаженные биты
Среднее количество на файл	8951	1 049
Дисперсия	7835,65	4192,31
Средняя надежность	0,69	0,13
Дисперсия	0,07	0,043

Из представленной таблицы можно заключить, что первый метод работает более устойчиво и получившиеся значения более однородны, в то время как второй имеет больше отклонений, но лучше определяет ошибки.

Библиографический список

1. Boneh D., Shaw J. Collusion-Secure fingerprinting for Digital Data // IEEE Transact, of information theory. 1998. Vol. 44 N 5. P.1897–1905.

2. Tardos G. Optimal probabilistic fingerprinting codes // Proc. ACM Symp. on Theory of Computing. 2003. P. 116-125.

3. Афанасьева А.В., Иванов Д.О., Рыжов Д.А. Алгоритм вставки цифровых водяных знаков при использовании стандарта H.264//Известия высших учебных заведений «Приборостроение». 2013. № 8. С. 68-70.

4. Shahid, Z. Spread spectrum-based watermarking for Tardos code-based fingerprinting for H.264/AVC video / Z. Shahi, M. Chaumont, W.Puech // IEEE International Conference on Image Processing. 2010.

5. Afanasyeva A., Linsky E., Ryzhov D., Ivanov D. Practical evaluation of combined approach for collusion-secure video fingerprinting // 2014 XIV International Symposium on Problems of Redundancy in Information and Control Systems. 2014. P. 6-9.

6. Skoric, B. Tardos Fingerprinting Codes in the Combined Digit Model / B. Skoric, S. Katzenbeisser, H. G. Schaathu, M. U. Celik // IEEE Transactions on Information Forensics and Security. 2009. V. 6. Is. 3.

7. A. V. Afanasyeva. Modification of the Fingerprinting Code Decoding Procedure in the Case of Soft Decision//2018 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF). 2018. pp. 1-4,

8. Набор видеороликов формата YUV [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://media.xiph.org/video/derf/

9. Набор видеороликов формата YUV [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://trace.eas.asu.edu/yuv/

УДК 004.891.3

Д. А. Белокуров*
студент
Е. С. Шамакова*
студент
В. С. Коломойцев*
кандидат технических наук, доцент
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ БОТ-АККАУНТОВ В СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ

Работа посвящена исследованию проблемы идентификации бот-аккаунтов в социальных сетях. Идентификация ботов – классификация учетных записей пользователей, основанная на анализе параметров аккаунта и публикаций. В работе приведен обзор методов обнаружения ботов, основанных на машинном обучении, таких как дерево решений, логистическая регрессия и наивный классификатор Байеса. Спроектирована и реализована нейросетевая модель классификации, основанная на морфологическом анализе пользовательских публикаций. Проведена оценка эффективности и сравнительный анализ моделей по нескольким критериям эффективности. Показана эффективность применения нейросетевой модели, проводящей морфологический анализ публикаций, не только с использование комплексного показателя оценки времени работы и точности классификации, но и с точки зрения корректности классификации, в условиях человекоподобного поведения ботов.

Ключевые слова: бот, социальные сети, машинное обучение, дерево решений, логистическая регрессия, наивный классификатор Байеса, морфологический анализ, нейронные сети.

D. A. Belokurov*
Student
E. S. Shamakova*
Student
V. S. Kolomoitcev*
PhD, Tech., Associate Professor
*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

USING MACHINE LEARNING TECHNIQUES TO IDENTIFY BOT ACCOUNTS ON A SOCIAL NETWORK

The purpose of the work was to study the problem of identifying bot accounts in social networks. Bot identification is a classification of user accounts based on the analysis of account parameters and publications. The paper provides an overview of machine learning-based bot detection methods such as decision tree, logistic regression, and naive Bayes classifier. A neural network classification model based on the morphological analysis of user publications has been designed and implemented. Evaluation of the effectiveness and comparative analysis of the models was carried out according to several criteria of effectiveness. The efficiency of the application of the neural network model, which conducts the morphological analysis of publica-

tions, is shown, not only from the point of view of the complex coefficient of estimation of the operating time and the classification accuracy, but also from the point of view of the correctness of the classification, under the conditions of human-like behavior of bots.
Keywords: bot, social networks, machine learning, decision tree, logistic regression, naive Bayes classifier, morphological analysis, neural networks.

Введение

В эпоху современности, социальные сети создали инфраструктуру быстрого распространения информации, стали эффективным инструментом ведения бизнеса, самым популярным средством массовой информации, приобрели вес в политической среде [1]. Однако необходимость автоматизации процесса работы с социальными сетями, для эффективной работы с людьми разных интересов, предпочтений, возрастов и стран, публикации информации в разных социальных сетях, в разное время, привела к появлению специальных программ, называемых ботами.

Бот – это программа, позволяющая выполнять какие-либо действия в социальных сетях, используя интерфейс, предназначенный для пользователя-человека [2]. Например, делиться публикацией, сохранять её в «Избранное», писать сообщения автору. Бот не является аккаунтом, а представляя собой лишь программное средство, имитирующее поведение реального человека. Вне зависимости от целей применения ботов, сам факт возможного распространения информации программными средствами от лица людей, дискредитирует социальные сети как средство «коммуникации» [3].

В работе проводится сравнительный анализ эффективности применения различных методов идентификации социальных ботов, основанных на машинном обучении.

Задача идентификации ботов

Зачастую учетная запись бота проявляет аномальную активность, несвойственное другим пользователям поведение, а параметры такой учетной записи разительно отличаются от аналогичных, присущих пользователям страницам. С целью пресечения негативных последствий использования социальных ботов, необходимо вовремя находить и корректно идентифицировать такие аккаунты, дабы применять к ним специальные меры [3, 4].

В общем случае, признаки, на основе которых возможна идентификация ботов, принято разделять на две группы: статические, то есть характеризующую страницу учетную запись пользователя лишь по номинальным характеристикам, и поведенческие, описывающие роль и активность пользователя в социальных взаимодействиях с другими людьми [5].

В качестве социальной сети в рамках данной работы был выбран «Твиттер», однако используемые в дальнейшем признаки ботов актуальны и для других соцсетей. Для проведения экспериментов была использована собственная выборка аккаунтов социальной сети, состоящая из 200 учетных записей, 50 процентов которых имеют характерные признаки бот-аккаунтов.

Наивный классификатор Байеса

Метод решения задачи классификации, основанный на применении теоремы Байеса с учетом наивного предположения о независимости исследуемых событий, которое позволяет отойти от оценки многомерных вероятностей.

Представляя собой вероятностную модель наивный байесовский классификатор вычисляет апостериорную вероятность для каждого класса при заданных условиях и предсказывает класс с наибольшей вероятностью правдоподобия.

Дерево решений

Деревья решений – один из методов, применяемый для анализа данных, основанный на построении древовидной структуры, где каждому объекту, поданному на вход, будет соответствовать единственное решение [6]. Древовидная структура носит иерархический характер и состоит из ветвей – атрибутов принятия решения – и листьев – значений целевой функции.

Благодаря эффективной конструкции «если …, то …» деревья решений нашли широкое применение для решения задач классификации.

Логистическая регрессия

Метод решения задачи классификации, основанное на оценке вероятности принадлежности исследуемого объекта классу.

Основная идея логистической регрессии заключается в том, что пространство исходных значений может быть разделено линейной границей на две соответствующих классам области. В случае двух измерений, линейная граница – это просто прямая линия без изгибов. В случае трех – плоскость, и так далее. Указанная разделяющая плоскость называется линейным дискриминантом, так как она является линейной с точки зрения своей функции, и позволяет модели производить разделение, дискриминацию точек на различные классы.

В отличие от линейной регрессии, результатом работы алгоритма являются номинальные значения, предсказывающие значения вероятности: $\Pr \in [0;1]$.

Идентификация ботов методом морфологического анализа постов

Вышеописанные методы основаны на статистических характеристиках аккаунтов, однако немаловажную вклад в задачу идентификации может внести анализ постов, размещаемых на страницах пользователей.

Так как компьютерный и естественный языки следуют разной логике и синтаксису, возникает задача обработки естественного языка.

В работе для анализа семантики постов необходимо реализовать анализ постов нейронной сетью, для этого будет использована техника встраивания слов Word2Vec, используемая для создания векторов слов с помощью библиотеки Python Gensim.

Word2Vec – общее название совокупности моделей, которые основаны на методах глубокого машинного обучения и нейронных сетей. Данные модели

используются для анализа семантики естественных языков и основаны на дистрибутивной семантике, машинном обучении и векторном представлении слов.

В результате работы данной модели вычисляются векторные представления слов, основанные на контекстной близости. Под контекстной близостью подразумевается, что слова, имеющие схожий смысл, будут иметь близкие (по косинусному расстоянию) векторы.

Подход к представлению текстов в векторном формате основан на методе обучения на векторе слов, несмотря на тот факт, что они инициализируются случайным образом, необходимо в конечном итоге сохранить семантику всего предложения.

Решая данную задачу был разработан следующий подход: для перевода текста в векторный формат необходимо предварительно разбить его на токены (слова), перевести их в отдельности в векторное пространство, далее используя обученную модель скомпоновать орфографически правильные слова в последовательность, сохраняя при этом семантику предложения. Последним шагом является выравнивание полученного массива токенов по длине. Так как максимальная длина поста в социальной сети «Twitter» ограничивается количеством символов (280), а единицей измерения для анализа текста являются слова, то максимальная длина массива равна 28 (отношение максимального количества символов в посте к средней длине слова в английском языке).

В рамках данной статьи будет рассматриваться сверточная нейронная сеть [7], так как она, как правило, показывает хорошие результаты для задач численных предсказаний, классификации, кластеризации и прогнозирования.

Входными данными CNN является матрица с фиксированной высотой n, где каждая строка представляет собой векторное отображение токена (слова) в векторном пространстве размерности k. В качестве входного вектора в используемой модели используется заранее обработанный текст в векторном представлении, который имеет размер 28×100, где первое число – количество слов в посте, а 100 – слово в векторном представлении.

Результатом работы метода выступает вектор, содержащий вероятности для каждого класса любого классифицируемого текста, в нашем примере исследуются 2 класса: «бот», «не бот».

Сравнение рассмотренных методов

Анализ точности идентификации ботов рассмотренных методов осуществляется на основе результатов тестирования выбранных моделей, заключающейся в подаче тестового набора данных на вход обученных моделей.

В качестве критериев эффективности были выбраны следующие:

1. Ошибки первого рода – отношение ложноположительных классификаций к общему числу ботов в выборке.

2. Ошибки второго рода – отношение ложноотрицательных классификаций к общему пользователей не ботов в выборке.

3. Мультипликативный критерий оценки эффективности.

Коэффициент ошибок первого рода, оценивающий количество ошибочных классификаций бот-аккаунтов как пользовательских, вычисляется следующим образом [8]:

$$E_1 = \frac{e_{bot}}{N_{bot}}, \tag{1}$$

где e_{bot} – количество ботов, идентифицированных как «человек», N_{bot} – общее количество учётных записей ботов в выборке.

Коэффициент ошибок второго рода, показывающий количество пользовательских аккаунтов, ошибочно классифицированных как боты, вычисляется следующим образом:

$$E_2 = \frac{e_{human}}{N_{human}}, \tag{2}$$

где e_{human} – количество пользователей, распознанных как «бот», N_{human} – общее количество учётных записей живых пользователей в выборке.

Мультипликативный критерий оценки эффективности, выражающий нормированную среднюю экономию времени обучения и тестирования системы относительно предельно допустимого времени обучения и тестирования, с учетом точности классификации, вычисляется по следующей формуле:

$$P_{ef} = (1 - E_1) \cdot (1 - E_2) \cdot \frac{T_{ed}^{\max} - T_{ed}}{T_{ed}^{\max}} \frac{T_{test}^{\max} - T_{test}}{T_{test}^{\max}}, \tag{3}$$

где $T_{ed}^{\max}$ – максимально допустимое время обучения, $T_{test}^{\max}$ – максимально допустимое время работы, T_{ed} – действительное время обучения, T_{test} – действительное время работы.

Результаты сравнения различных методов классификации ботов представлены в табл. 1. При вычислении мультипликативного критерия эффективности максимально допустимое время обучения было выбрано в 1 секунду, а максимально допустимое время работы системы в 0.1 секунды.

Таблица 1

Сравнение эффективности методов идентификации ботов

Модель	E_1	E_2	T_{ed}	T_{test}	P_{ef}
Наивный Байес	0.2	0.06	0.0041	0.0018	0.74
Дерево решений	0.03	0.17	0.0038	0.0009	0.79
Логистическая регрессия	0.04	0.18	0.0298	0.0021	0.76
Морфологический анализ публикаций	0.01	0.07	0.03	0.01	0.81

Результаты эксперимента показывают, что нейросетевая модель, использующая морфологический анализ, имеет наименьшую вероятность ошибочной классификации, однако уступает модели с использованием дерева решений во времени обучения и работы. Основываясь на значении мультипликативного

критерия, можно сделать вывод о том, что, несмотря на время работы, реализованная нейросетевая модель оказывается наиболее эффективной.

Исследуем возможности методов при работе с предельным (вырожденным) случаем выборки пользователей системы. Для этого проведем тестирование систем идентификации на выборке, состоящей только из аккаунтов пользователей, и на выборке, состоящей исключительно из ботов.

Таблица 2

Сравнение точности классификации при работе с предельными выборками данных

Модель	Только боты			Только люди		
	E_1	E_2	Еобщ	E_1	E_2	Еобщ
Наивный Байес	0	0.013	0.013	0.72	0	0.72
Дерево решений	0	0.08	0.08	0.26	0	0.26
Логистическая регрессия	0	0.28	0.28	0.28	0	0.28
Морфологический анализ публикаций	0	0.07	0.07	0.01	0	0.01

В случаях, когда боты проявляют человекоподобное поведение или пользователи проявляют активность, схожую с поведением бот-аккаунтов, классические методы классификации, оказываются малоэффективными, о чём свидетельствуют значения вероятности ошибок, представленные в табл. 2. В то же время, разработанная система идентификации ботов, основанная на морфологическом анализе публикаций, показывает высокую точность классификации.

Таким образом, из всех рассмотренных методов классификации пользовательских аккаунтов, разработанная нейросетевая модель обладает не только наибольшей эффективностью, с точки зрения комплексного показателя, учитывающего не только время обучения и работы, но и вероятность ошибочной классификации, но и наибольшей точностью классификации в случаях несвойственного пользовательского поведения.

Заключение

В данной работе были рассмотрены наиболее популярные методы машинного обучения, используемые для идентификации бот-аккаунтов в социальной сети «Твиттер». Подразумевая, что классические методы идентификации бот-аккаунтов основываются на статистических характеристиках аккаунта, а не анализируют семантику публикаций, присущую человеку, была спроектирована и разработана нейросетевая модель, принимающая решения на основе морфологического анализа публикаций, сделанных от лица исследуемого аккаунта.

Было проведено сравнение методов, по результатам которого разработанная нейросетевая модель показывает наибольшую точность классификации, однако проигрывает во времени обучения методу на основе построения дерева решений. Учитывая специфику работы социальных сетей, требующую посто-

янного обучения системы для поддержания актуального уровня, это является недостатком и открывает простор для грядущих научных изысканий.

Библиографический список

1. Котенко И.В., Коновалов А.М., Шоров А.В. Агентноориентированное моделирование бот-сетей и механизмов защиты от них // Вопросы защиты информации. 2011. № 3. С. 24–29.

2. Сачков И.К., Назаров А.Н. Автоматизация противодействия бот-атакам // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2014. Т. 8. № 6. С. 5–9.

3. Глова В.И., Аникин И.В., Катасёв А.С., Кривилёв М.А., Насыров Р.И. Мягкие вычисления: учебное пособие. Казань: Изд-во Каз. гос. технич. университета им. А.Н. Туполева, 2010. 206 с.

4. Катасёв А.С. Математическое обеспечение и программный комплекс формирования нечеткопродукционных баз знаний для экспертных диагностических систем // Фундаментальные исследования. 2013. № 10 (часть 9). С. 1922–1927.

5. Зегжда Д. П., Степанова Т. В. Оценка эффективности использования средств защиты для нейтролизации и устранения бот-сетей // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2012. №2. С. 21–27.

6. Емалетдинова Л.Ю., Катасёв А.С., Кирпичников А.П. Нейронечеткая модель аппроксимации сложных объектов с дискретным выходом // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17, № 1. С. 295–299.

7. The Deep Learning Workshop: Learn the skills you need to develop your own next-generation deep learning models with TensorFlow and Keras / Baig, Joseph, Sadvilkar, Silaparasetty, So, Packt, 2020.

8. Катасёв А. С. Математическое и программное обеспечение формирования баз знаний мягких экспертных систем диагностики состояния сложных объектов: монография. Казань: ГБУ «Республиканский центр мониторинга качества образования», 2013. 200 с.

УДК 004.94

В. А. Богатырев*
доктор технических наук, профессор
А. В. Богатырев**
кандидат технических наук, технический директор
С. В. Богатырев**
директор по информационным технологиям
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения
**Санкт-Петербургский центр компетенций NEO

РЕЗЕРВИРОВАННОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ С РЕГУЛИРОВАНИЕМ ЧИСЛА МЕСТ ОЖИДАНИЯ В УЗЛАХ

Рассмотрены резервированные инфокоммуникационные системы реального времени, узлы которых представимы в виде одноканальных систем обслуживания с ограниченными очередями. Исследованы возможности повышения вероятности своевременного обслуживания критичных к ожиданию запросов в резервированной группе узлов в результате управления числом создаваемых реплик запросов и мест ожидания в очередях узлов.
Ключевые слова: репликация, резервированное обслуживание, своевременность, ограниченная очередь, реальное время.

V. A. Bogatyrev*
Dr. Sc., Tech., Professor
A. V. Bogatyrev**
PhD, Tech., Technical Director
S. V. Bogatyrev**
Information Technology Director
*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
**NEO Saint Petersburg Competence Center

REDUNDANT SERVICE WITH REGULATION OF THE NUMBER OF WAITING PLACES IN NODES

Reserved real-time infocommunication systems are considered, the nodes of which can be represented as single-channel service systems with limited queues. Possibilities of increasing the proba-bility of timely servicing of waiting-critical requests in a redundant group of nodes as a result of managing the number of created replicas and the number of waiting places in the queues of nodes are investigated.
Keywords: replication, redundant service, timeliness, limited queue, real time.

Введение

Высокая производительность надежность и отказоустойчивость инфокоммуникационных систем и сетей [1–4] достигается на основе резервирования и консолидации ресурсов [5–8] при динамической реконфигурации, управляемой деградации, адаптивном перераспределении потоков запросов и информационных ресурсов].

Для инфокоммуникационных систем реального времени важным является поддержка надежности и своевременности вычислительного процесса, которая может рассматриваться как ключевое условие работоспособного функционирования [9, 10].

На снижение задержек при взаимодействии компьютерных узлов через сеть направлено транспортное кодирование [11, 12], при котором при потере или ошибках передач части сообщения оно может быть восстановлено без повторных передач.

Надежность и своевременность выполнения запросов в компьютерных система и сетях может быть повышена в результате их резервированного обслуживания [13–15]. Резервированное обслуживание в реальном времени является успешным при условии, что хотя бы одна реплика (копия) запроса выполнена за время меньшее установленных ограничений [16–17].

Концепция резервированного обслуживания запросов является развитием идей многопутевой маршрутизации [18–19], многоадресных передач [20], широковещательного обслуживания [21].

Она может сочетаться с приоритезацией трафика, балансировкой загрузки узлов и другими решениями, направленными на управление качества обслуживания.

Эффективность и область целесообразности резервированного выполнения запросов в системах, представляемых группой систем массового обслуживания с бесконечными очередями показана в работах [16–17]. Вместе с тем не исследованы возможности совмещения резервированного обслуживания критичных к ожиданию запросов с управлением числа мест в очередях узлов системы.

Цель работы – исследование возможностей повышения вероятности своевременного обслуживания критичных к ожиданию запросов в резервированной группе узлов в результате репликации запросов и управления числом мест ожидания в очередях узлов.

Эффективность резервированного обслуживания запроса реального времени определим по вероятности выполнения за предельно допустимое время хотя бы одной из формируемых копий запроса без его потери из-за ошибок и ограничений мест ожидания. Эффективность исследуемых систем также характеризуется по пропускной способности своевременно выполненных запросов.

Требуемый анализ сопряжен с учетом противоречивого влияния числа мест в очереди на потерю запросов и в тоже время на увеличение вероятности своевременного их выполнения. При этом следует отметить техническое противоречие резервированного обслуживания запросов. Действительно, репликация запросов увеличивает интенсивность потока и соответственно, долю потерянных запросов из-за переполнения очередей. В тоже время репликация приводит к повышению вероятностей приема к обслуживанию и своевременного выполнения хотя бы одной реплики каждого запроса.

Анализ влияния мест ожидания в очереди на своевременность обслуживания

Для систем обслуживания, в которых имеется ограничение на допустимое время ожидания эффективность функционирования G определим по вероятности того, что запрос будет обслужен, при этом время его ожидания в очереди будет меньше допустимого *t*.

$$G = \left(1 - r_m\right) F(t),$$

где r_m – вероятность что поступающий запрос застанет очередь полностью занятой и будет потерян.

Для одноканальной СМО с *m* мест ожидания в очереди по известной формуле [22–24] вероятность

$$r_m = \frac{1-\rho}{1-\rho^{m+1}} \rho^m,$$

где $\rho = \lambda / \mu = \lambda v$, при этом λ – интенсивность входного потока запросов, а v среднее время их выполнения; $F(t)$ – вероятность того, что время нахождения запроса в очереди, включающей *m* мест ожидания меньше времени *t* [24],

$$F(t) = 1 - \sum_{i=0}^{m-1} \rho^i r_1 \sum_{j=0}^{i} \frac{(\mu t)^j}{j!} e^{-\mu T},$$

при этом r_1 – вероятность загрузки запроса в очередь для одноканальной системы обслуживания

$$r_1 = \frac{1-\rho}{1-\rho^{m+1}} \rho.$$

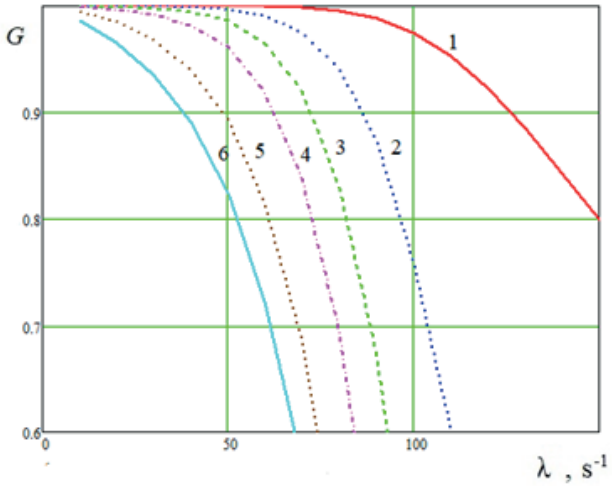
Пропускную способность по своевременно выполненным запросом определим как

$$I = \lambda \left(1 - r_m\right) F(t).$$

Результаты расчет вероятности того, что запрос будет обслужен, при этом время его ожидания в очереди будет меньше допустимого времени *t* представлены на рис. 1.

Искомая вероятность *G* определена в зависимости от интенсивности запросов. Расчет проведен при среднем времени выполнение запроса v=0,01 с. На рис. 1 при числе мест ожидания *m*=10 кривые 1-6 соответствую предельно допустимому времени ожидания *t* =0,2, 0,1, 0,07, 0,05, 0,03, 0,02 с. На рис 1, б при допустим времени ожидания *t*=0,1 с кривые 1-6 соответствуют числу мест ожидания *m*= 4, 5, 7, 9, 10,150. На рис 2 представлена зависимость искомой вероятности *G* от числа мест ожидания в очереди *m*. Кривые 1-6 при допустим времени ожидания *t*=0,1 с соответствую интенсивности входного потока λ = 30, 70, 80, 100, 110 $с^{-1}$.

а)



б)

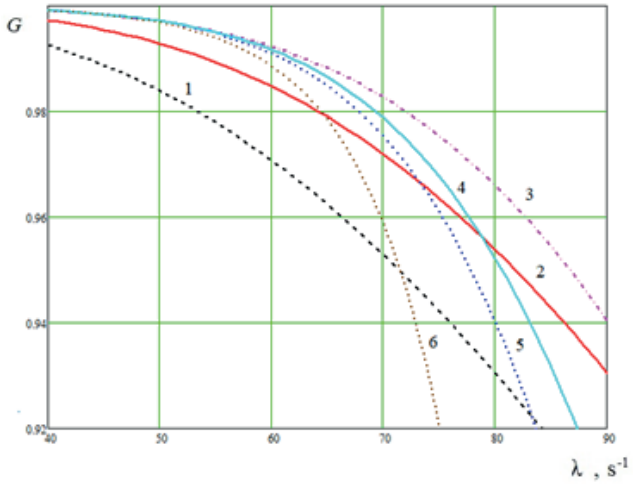


Рис. 1. Вероятность своевременного выполнения запросов, с учетом потерь из-за ограничения мест ожидания в очереди в зависимости от интенсивности входного потока

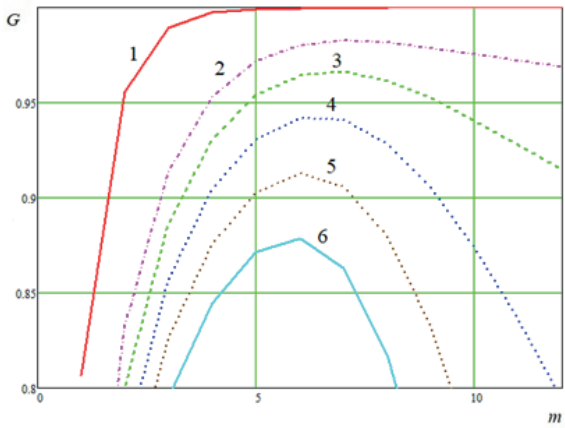


Рис. 2. Вероятность своевременного выполнения запросов, в зависимости от ограничений мест ожидания в очереди

Анализ влияния репликации запросов и мест ожидания в очереди на своевременность обслуживания в группе узлов обслуживания

Проанализируем возможности повышения вероятности своевременного обслуживания критичных к ожиданию запросов в резервированной группе из n узлов в результате совмещения репликации запросов и управления числом мест ожидания в очередях узлов.

При репликации запросов вероятность своевременного выполнения хотя бы одной из d создаваемых реплики можно определить как

$$R = 1 - (1 - G)^d,$$

где G – вычисляется с учетом того, что в каждый узел, представляемый одноканальной системой обслуживания с ограниченной очередью, запросы поступают с интенсивностью λ/n.

Следует заметить, что резервированное обслуживание запросов позволяет снизить их потери из-за ошибок выполнения. Так, при передаче пакетов через каналы с вероятностью битовых ошибок b вероятность безошибочной доставки L-битового пакета вычисляется как $B=(1-b)^L$, а вероятность своевременного выполнения хотя бы одной из d создаваемых реплики как

$$U = 1 - (1 - BG)^d.$$

Зависимость вероятности своевременного выполнения резервированных запросов от интенсивности входного потока с учетом потерь из-за ограничений мест в очереди представлена на рис. 3. Расчет проведен при объединении в систему n=10 узлов, среднем времени выполнение запроса v=0,01 с. При числе мест в очереди m=10 кривые 1-3 соответствуют кратности резервирования d=1, 2, 3 при допустимом времени ожидания t=0,02 с, а кривые 4-6 при t = 0,03 с. Вероятность потери пакетов из-за ошибок передач не учитывается.

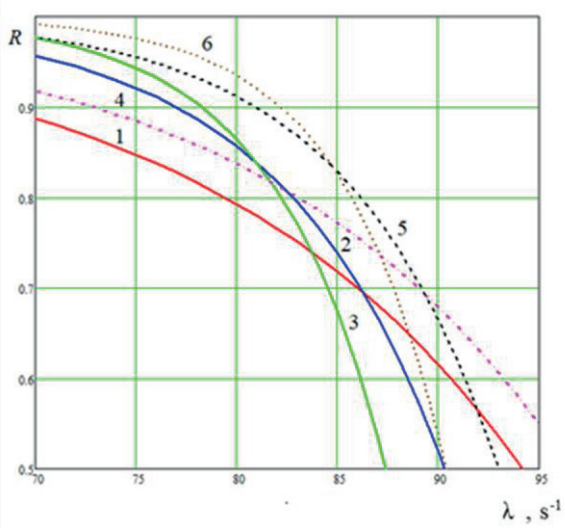


Рис. 3. Вероятность своевременного выполнения резервированных запросов в зависимости от интенсивности входного потока

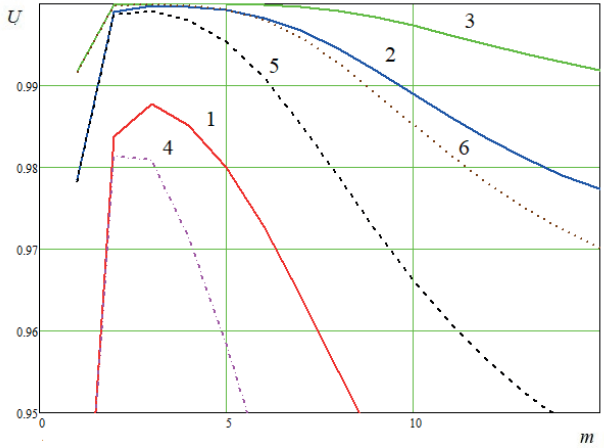


Рис. 4. Зависимость вероятность U своевременного выполнения хотя бы одной из d создаваемых реплики от числа мест ожидания в очереди m

На рис. 4 представлена зависимость вероятность U своевременного выполнения хотя бы одной из d создаваемых реплики от числа мест ожидания в

очереди m. Кривые 1-3 соответствуют кратности резервирования d=1, 2, 3 при допустимом времени ожидания t=0,07, с, а кривые 4-6 при t = 0,05 с.

Проведенные расчеты подтверждают возможность управления вероятностью своевременного безошибочного обслуживания запросов в результате регулирования кратности репликацией и числа мест ожидания, выделяемых в очередях узлов.

Заключение

Предложены аналитические модели и показаны возможности повышения вероятности своевременного обслуживания критичных к ожиданию запросов в резервированной группе узлов в результате репликации запросов и управления числом мест ожидания в очередях узлов.

Библиографический список

1. Machida F., Kawato M., Maeno Y: Redundant virtual machine placement for fault-tolerant consolidated server clusters. In: IEEE Network Operations and Management Symposium. P. 32–39. IEEE Press, Osaka (2010), doi: 10.1109/NOMS.2010.5488431.020 71-85.

2. Kim S., Choi Y. Constraint-aware VM placement in heterogeneous computing clusters. Cluster Comput 23, 71–85 (2020). https://doi.org/10.1007/s10586-019-02966-6.

3. Siddiqi1 M., Yu H., Joung J. 5G Ultra-Reliable Low-Latency Communication Implementation Challenges and Operational Issues with IoT Devices Electronics 2019, *8*, 981; doi:10.3390/electronics8090981 www.mdpi.com/journal/electronics.

4. Sachs J., Wikström G., Dudda T., Baldemair R., Kittichokechai K. 5G Radio Network Design for Ultra-Reliable Low-Latency Communication. IEEE Netw**.** 2018, 32, 24–31.

5. Sovetov B, Tatarnikova T, Cehanovsky V. Detection system for threats of the presence of hazardous substance in the environment. Proceedings of 2019 22nd International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2019 (2019) 121-124. DOI: 10.1109/SCM.2019.8903771.

6. Verzun N., Kolbanev M., Shamin A. The Architecture of the Access Protocols of the Global Infocommunication Resources Computers 2020, 9, 49; https://doi.org/10.3390/computers9020049.

7. Sahni S., Varma V. A hybrid approach to live migration of virtual machines Proc. IEEE Int. Conf. on Cloud Computing for Emerging Markets (CCEM 2012) Bengalore India pp 12–16 doi: 10.1109/CCEM.2012.6354587.

8. Jin H, Li D., Wu S., Shi X,, Pan X. Live virtual machine migration with adaptive memory compression Proc. IEEE International Conference on Cluster Computing (CLUSTER '09). New Orleans, USA, 2009. Art. 5289170. doi: 10.1109/CLUSTR.2009.5289170.

9. Zakoldaev D.A., Korobeynikov A.G., Shukalov A.V., Zharinov I.O. Digital forms of describing Industry 4.0 objects//IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, Vol. 656, No. 1. P. 012057.

10. Tatarnikova T.M., Dzubenko I.N. IoT system for detecting dangerous substances by smell// Informatsionno-Upravliaiushchie Sistemy. 2018. V. 93, No 2. P. 84-90. DOI 10.15217/issn1684-8853.2018.2.84.

11. Krouk E., Semenov S. Application of Coding at the Network Transport Level to Decrease the Message Delay // Proc. of 3rd Intern. Symp. on Communication Systems Networks and Digital Signal Processing. Staffordshire University, UK, 2002. pp. 109–112.

12. Kabatiansky G., Krouk E., Semenov, S. Error Correcting Coding and Security for Data Networks. Analysis of the Superchannel Concept. Wiley, 2005. 288 p.

13. Bogatyrev V.A. Exchange of duplicated computing complexes in fault-tolerant systems // Automatic Control and Computer Sciences 2011. Vol. 45. No. 5. pp. 268–276.

14. Arustamov S.A., Bogatyrev V.A., Polyakov V.I. Back up data transmission in real-time duplicated computer systems Advances in Intelligent Systems and Computing, 2016, 451. P. 103–109.

15. Bogatyrev V.A., Bogatyrev S.V., Derkach A.N. Timeliness of the Reserved Maintenance by Duplicated Computers of Heterogeneous Delay-Critical Stream. CEUR Workshop Proceedings. 2019. Vol. 2522. pp. 26-36.

16. Bogatyrev A.V., Bogatyrev V.A., Bogatyrev S.V. Multipath Redundant Transmission with Packet Segmentation // Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF 2019) 2019. P. 8840643.

17. Bogatyrev V.A., Bogatyrev S.V., Bogatyrev A.V. Timely Redundant Service of Requests by a Sequence of Cluster // CEUR Workshop Proceedings 2020, Vol. 2590.

18. Merindol P. Improving Load Balancing with Multipath Routing / P. Merindol, J. Pansiot, S. Cateloin // Proc. of the 17-th International Conference on Computer Communications and Networks, IEEE ICCCN 2008. 2008. P. 54-61.

19. Prasenjit C., Tuhina S., Indrajit B. Fault-tolerant multipath routing scheme for energy efficient wireless sensor networksInternational Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN) Vol. 5, No.2,April 2013 pp 33-45.

20. Samuylov A., Moltchanov D., Kovalchukov R., Koucheryavy Y., . Characterizing Resource Allocation Trade-Offs in 5G NR Serving Multicast and Unicast Traffic. IEEE Transactions on Wireless Communications 2020 v19(5),9003488, C. 3421-3434.

21. Lee M.H., Dudin A.N., Klimenok V.I. The SM/V/N queueing system with broadcasting service // Math. Probl. in Engineer. 2006. V. 2006. Article ID 98171. 18 p.

22. Kleinrock L. Queueing Systems: Volume I. Theory. New York: Wiley Interscience. 1975 p. 417. ISBN 978-0471491101.

23. Kleinrock L. Queueing Systems: Volume II – Computer Applications. New York: Wiley Interscience. 1976 p. 576. ISBN 978-0471491118.

24. Овчаров Л. А. Прикладные задачи теории массового обслуживания. М.: Машиностроение, 1969. 324.

УДК 004.94

В. А. Богатырев*
доктор технических наук, профессор
С. В. Богатырев**
директор по информационным технологиям
А. В. Богатырев**
кандидат технических наук, технический директор
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения
**Санкт-Петербургский центр компетенций NEO

ПРИОРИТЕТНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ С РЕПЛИКАЦИЕЙ КРИТИЧНЫХ К ОЖИДАНИЮ ЗАПРОСОВ

Предложены аналитические модели инфокоммуникационных систем реального времени, узлы которых представимы в виде одноканальных систем обслуживания. Исследованы возможности повышения эффективности резервированного обслуживания запросов неоднородного по критичности к задержкам в очередях потоков в результате сочетания репликации с назначения приоритетов запросов в зависимости от предельно допустимого времени их ожидания в очередях.
Ключевые слова: репликация, дисциплина обслуживания, резервирование, приоритет.

V. A. Bogatyrev*
Dr. Tech., Professor
S. V. Bogatyrev**
Information Technology Director
A. V. Bogatyrev**
PhD, Tech., Technical Director
*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
**NEO Saint Petersburg Competence Center

PRIORITY MAINTENANCE WITH REPLICATION OF WAIT-CRITICAL REQUESTS

Analytical models of real-time infocommunication systems are proposed, the nodes of which are represented as single-channel service systems. The possibilities of improving the efficiency of redundant service of requests of heterogeneous criticality to delays in the queues of threads as a result of a combination of replication with the assignment of priorities of requests depending on the maximum allowable waiting time in the queues are investigated.
Keywords: replication, service discipline, redundancy, priority.

Введение

Для инфокоммуникационных систем и сетей [1–3], особенно функционирующих в составе киберфизических систем [4–6] реального времени, основополагающим является обеспечение высокой отказоустойчивости, надежности [7–9] при снижении задержек обслуживания [10, 11].

Для инфокоммуникационных систем с неоднородным потоком запросов по допустимому времени ожидания выполнение ограничений по задержкам может достигаться в результате приоритезации трафика. Назначение приоритетов может проводиться в классе дисциплин обслуживания со смешанными приоритетами с учетом ограничений на вероятность превышения допустимого времени нахождения запросов в очередях [12, 13].

При высокой вероятности ошибок передач приоритезация трафика может совмещаться с резервированным обслуживанием запросов.

В системах, комплектуемых из отказоустойчивых дублированных компьютеров, особенности резервированного обслуживания, в том числе при межмашинном обмене, исследованы в работах [14–17].

Для систем, объединяющих несколько (n) узлов, каждый из которых представим в виде одноканальной системы массового обслуживания (СМО) совмещение резервированного и приоритетного обслуживания может быть эффективно реализовано на основе предложенной дисциплины [18]. Для исследуемой в [18] дисциплины при поступлении каждого запроса создаются k его копий (в зависимости от критичности запроса к ожиданию), каждая из которых направляется в один из n ($k<n$) узлов. В каждом узле организуется несколько очередей разного приоритета. Первая копия запроса направляется в очередь наибольшего приоритета одного из n узлов; вторая копия – в очередь второго приоритета другого узла и т. д. Таким образом, первая копия имеет наивысший относительный приоритет, вторая – следующий по очереди приоритет и т. д. Узлы, принимающие копии запросов для обслуживания, выбираются случайно или циклически. Описанная дисциплина может быть применена для повышения эффективности как однородного, так и неоднородного потока по допустимому времени ожидания запросов в очередях. Для многоканальной СМО варианты совмещения резервированного и приоритетного обслуживания с организацией нескольких общих очередей разного приоритета исследованы в [19]. Для многоканальной СМО эффективность и область целесообразного использования предлагаемых вариантов резервирования и назначения приоритетов определена на основе имитационного моделирования.

Выбор кратности резервирования и назначения приоритетов для запросов разной критичности к ожиданию требует обоснования. Для систем с резервированием ресурсов (например, кластерных систем или системах передачи с агрегированием каналов) репликация запросов приводит к техническому противоречию. Действительно, увеличение кратности резервирования повышает вероятности безошибочного обслуживания хотя бы одной копии, но вызывает увеличение загрузки системы, что отрицательно сказывается на задержках в очередях. В тоже время репликация (резервирование) помимо повышения надежности может приводить к увеличению вероятности своевременного выполнения хотя бы одной из создаваемых реплик запроса.

Снижение задержек обслуживания приоритетных реплик запросов достигается за счет увеличения задержек для менее приоритетных запросов [12, 13], для которых время ожидания не является критичным. Совмещение репликации и задания приоритетов для критичных к задержкам запросов направлено на до-

стижение компромисса по качеству обслуживания различных запросов с учетом существующих для них ограничений.

Целью работы является исследование возможностей повышения эффективности резервированного обслуживания запросов неоднородного по критичности к задержкам в очередях потоков в результате сочетания репликации и назначения приоритетов запросов в зависимости от предельно допустимого времени их ожидания в очередях инфокоммуникационной системы, узлы которой представимы в виде одноканальных систем обслуживания.

Исследование основывается на использовании аналитического моделирования.

Для анализа влияния наиболее значимых факторов на эффективность назначения приоритетов и кратности резервирования запросов в зависимости от допустимого времени их ожидания будем использовать простейшие модели массового обслуживания типа M/M/1 [20, 21]. Исследования более сложных моделей обслуживания планируется после выявления области целесообразного применения анализируемых вариантов обслуживания.

Резервированное обслуживанием с приоритетами в системах, узлы которых представимы одноканальными системами обслуживания

Рассмотрим систему из n параллельно соединенных (резервированных) узлов при неоднородном входном потоке с выделением z типов (потоков) запросов по допустимому времени ожидания в очередях t_1 , t_2 ,…, t_z. Доли разнотипных запросов равны соответственно g_1, g_2, … , g_z, причем $\sum_{i=1}^{z} g_i = 1$, а их интенсивности Λg_1 , Λg_2 , … , $\Lambda\, g_z$, где Λ интенсивность общего входного потока.

Разделим запросы на критичные и некритичные к времени ожидания, доли которых g и $1–g$ соответственно.

В качестве анализируемой системы может рассматриваться кластер, объединяющий группу серверов, или группу агрегированных каналов связи.

Будем считать, что возможна потеря запросов из-за ошибок выполнения. При передаче пакетов через каналы связи с вероятностью битовых ошибок b вероятность безошибочной доставки L-битового пакета вычисляется как $P_1=(1–b)^L$. При дублированной передаче пакета безошибочная доставка адресату хотя бы одной его реплики будет $P_2 = 1-(1-P_1)^2$.

Рассмотрим дисциплины, при которых назначение высокого приоритета и репликация проводятся только для запросов критичных к задержкам ожидания.

Выделим следующие варианты обслуживания критичных к времени ожидания запросов:

- Приоритеты не назначаются, репликация запросов не поводится (вариант B11).
- Критические запросы обслуживаются по первому приоритету, а остальные по второму, репликации запросов нет (вариант B12).

- Критические запросы дублируются, приоритеты не назначаются (вариант B21).
- Критические запросы дублируются, одна копия получает первый приоритет, а другая – второй (вариант B22).
- Критические запросы дублируются, обе копии получает первый приоритет (вариант B23).

Эффективность рассматриваемых вариантов обслуживания определим по разнице допустимого и среднего времени ожидания для безошибочно выполненных запросов при условии стационарности обслуживания.

Для запросов первого приоритета, а также всех запросов для бесприоритетных вариантов B11 и B21, среднее время ожидания на основе модификации известных [20, 21] формул вычисляется как:

$$w_{11} = \frac{\Lambda v^2/m}{1-\Lambda v/m},\ \ w_{112} = \frac{\Lambda v^2/m}{1-g\Lambda v/m},\ w_{121} = \frac{\Lambda(1+g)v^2/m}{1-\Lambda(1+g)v/m},$$

$$w_{122} = \frac{\Lambda(1+g)v^2/m}{1-\Lambda g v/m},\ \ w_{123} = \frac{\Lambda(1+g)v^2/m}{1-2\Lambda g v/m}.$$

Для запросов второго приоритета при вариантах B12, B22 и B23 среднее время ожидания вычисляется как:

$$w_{212} = \frac{\Lambda v^2/m}{(1-g\Lambda v/m)(1-g\Lambda v/m-(1-g)\Lambda v/m)},$$

$$w_{222} = \frac{(1+g)\Lambda v^2/m}{(1-g\Lambda v/m)(1-g\Lambda v/m-\Lambda v/m)},$$

$$w_{223} = \frac{(1+g)\Lambda v^2/m}{(1-2g\Lambda v/m)(1-2g\Lambda v/m-(1-g)\Lambda v/m)}.$$

Разница M_1 допустимого t_1 и среднего времени ожидания для безошибочно обслуженных критичных запросов с учетом условия стационарного режима работы для вариантов B11, B12, B21, B22, B23, определим соответственно как:

$$M_{111} = (t_1 - w_{11})P_1\delta_{111},\ \delta_{111} = 1, if\left((\Lambda v/m) < 1\right) \wedge \left(w_{11} \le t_1\right), else\ \ 0.$$

$$M_{112} = (t_1 - w_{112})P_1\delta_{112},\ \delta_{112} = 1, if\left((g\Lambda v/m) < 1\right) \wedge \left(w_{112} \le t_1\right),\ \ else\ \ 0.$$

$$M_{121} = (t_1 - w_{121})P_2\delta_{121},\ \delta_{121} = 1, if\left(\Lambda(1+g)v/m < 1\right) \wedge \left(w_{121} \le t_1\right), else\ \ 0.$$

$$M_{122} = (t_1 - w_{122})P_1\delta_{122} + (t_1 - w_{222})P_1\delta_{1222},$$

$$\delta_{122} = 1, if\left(\Lambda g v/m < 1\right) \wedge \left(w_{122} \le t_1\right), else\ \ 0,$$

$$\delta_{1222} = 1, if\left(\left[g\Lambda v/m + \Lambda v/m\right] < 1\right) \wedge \left(w_{222} \le t_1\right), else\ \ 0.$$

$$M_{123} = (t_1 - w_{123})P_2\delta_{123},$$
$$\delta_{123} = 1, if\left(\left[2g\Lambda v/m + (1-g)\Lambda v/m)\right] < 1\right) \wedge \left(w_{222} \le t_1\right), else\ 0.$$

Для некритичных запросов разница M_2 между допустимым t_2 и средним временем ожидания с учетом условия безошибочности и стационарности обслуживания для вариантов В11, В12, В21, В22, В23, вычисляются как:

$$M_{211} = (t_2 - w_{11})P_1\delta_{211}, \qquad \delta_{211} = 1, if\left((\Lambda v/m) < 1\right) \wedge \left(w_{11} \le t_2\right), else\ 0.$$

$$M_{212} = (t_2 - w_{212})P_1\delta_{212},$$
$$\delta_{212} = 1, if\left((g\Lambda v/m + (1-g)\Lambda v/m) < 1\right) \wedge \left(w_{212} \le t_2\right), else\ 0.$$

$$M_{221} = (t_2 - w_{121})P_1\delta_{221}, \quad \delta_{221} = 1, if\left(\Lambda(1+g)v/m < 1\right) \wedge \left(w_{121} \le t_2\right), else\ 0.$$

$$M_{222} = (t_2 - w_{222})P_1\delta_{2222}, \quad \delta_{2222} = 1, if\left(\left[g\Lambda v/m + \Lambda v/m\right] < 1\right) \wedge \left(w_{222} \le t_2\right), else\ 0.$$

$$M_{223} = (t_2 - w_{223})P_1\delta_{223},$$
$$\delta_{223} = 1, if\left(\left[2g\Lambda v/m + (1-g)\Lambda v/m\right] < 1\right) \wedge \left(w_{222} \le t_2\right), else\ 0.$$

Общая эффективность обслуживания неоднородного потока можно определить как

$$M = gM_1 + (1-g)M_2.$$

Оценка эффективности резервированного приоритетного обслуживания

Проведем расчет эффективности рассматриваемых дисциплин обслуживания для критичных к ожиданию запросов. При расчетах будем предполагать, что в системе имеется m=20 узлов (одноканальных СМО), среднее времени выполнения запроса v=0,01 с, допустимое временя ожидания t_1=0,1 с., а вероятность битовых ошибок b=10^{-4}. Поток некритичных запросов будем считать фоновым, и его влияние на эффективность обслуживания общего потока рассматривать не будем, что оправдано, когда допустимое время ожидания t_2 существенно превосходит t_1.

Для рассматриваемых вариантов репликации и задания приоритетов зависимость эффективности обслуживания (разницы допустимого и среднего времени ожидания для безошибочно выполненных запросов при условии стационарности обслуживания) от интенсивности общего потока запросов представлена на рис.1-3. Рис. 1-3 представляют случаи, когда доли критичных к времени ожидания запросов g=0,15, 0,3, 0,5. На рисунках кривые 1, 2, 3 представляют варианты приоритетного обслуживания. Кривые 1, 2 отражают назначение для реплик критичных запросов одинаковых и разных приоритетов по вариантам В23 и В22. Кривая 3 представляет вариант приоритетного обслуживания без репликации запросов В12. При бесприоритетном обслуживании кривые 4 соответствуют случаям, когда критические запросы дублируются, а кривые 5, когда репликации запросов нет.

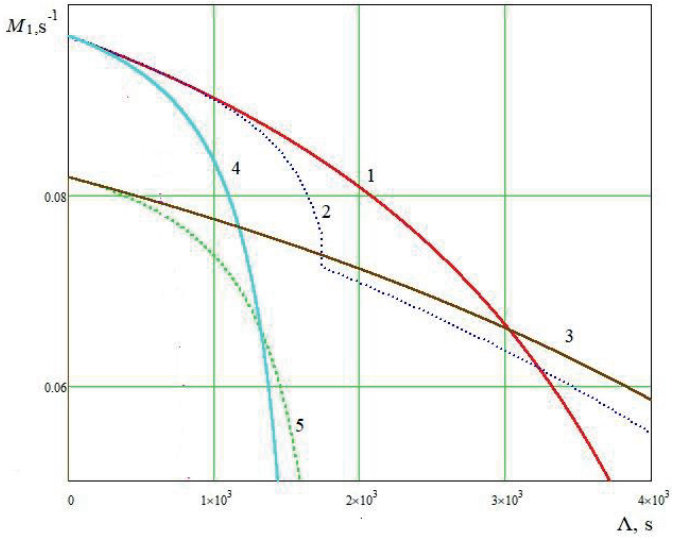


Рис. 1. Эффективность обслуживания при доли критичных к ожиданию запросов g=0,15

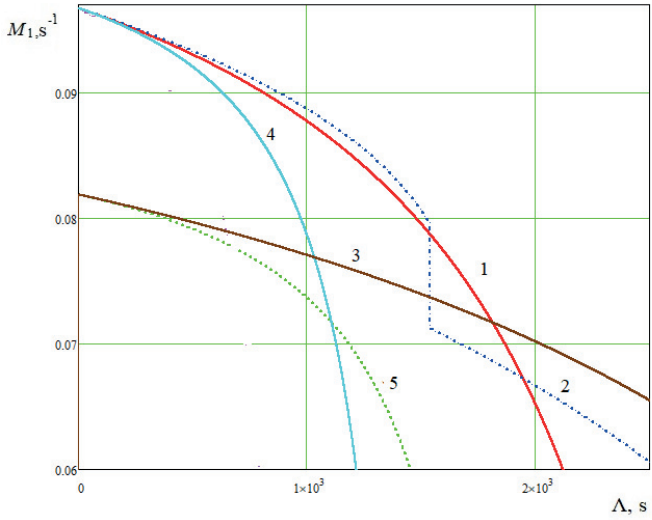


Рис. 2. Эффективность обслуживания при доли критичных к ожиданию запросов g=0,3

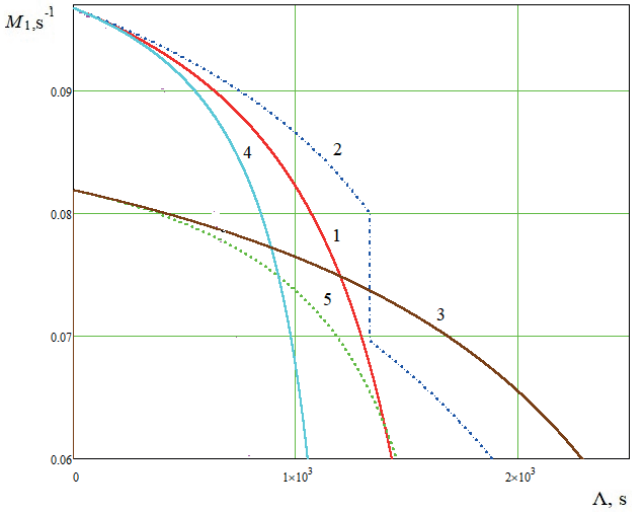


Рис. 3. Эффективность обслуживания при доли критичных к ожиданию запросов g=0,5

Представленные зависимости показывают существенность влияния интенсивности входного потока на эффективность обслуживания рассматриваемых вариантов задания приоритетов и резервирования запросов. Показано, что назначение приоритетов, совмещенное с репликацией критичных к ожиданию запросов, повышает эффективность обслуживания до определенной границы возрастания интенсивности входного потока. При интенсивности входного потока выше указанной границы становится целесообразным назначение для критичных к ожиданию запросов приоритетов без репликации. При репликации критичных к ожиданию запросов в зависимости от их доли g в общем потоке может быть предпочтителен вариант назначения формируемым репликам как одинаковых (рис. 1), так и разных приоритетов (рис. 3). Возможно существование границы интенсивности запросов ниже которой целесообразна репликация критичных запросов с назначением разных приоритетов, а выше с назначением одинаковых приоритетов (рис. 2). При возрастании доли критичных к ожиданию запросов, при их репликации предпочтительней может становиться назначение репликам разных приоритетов.

Проведенные исследования целесообразно адаптировать для применения при построении инфокоммуникационных систем и сетей, базирующихся на технологии Ultra-Reliable and Low-Latency Communications [22–23].

Заключение

Для систем, узлы которой представимы в виде одноканальных систем обслуживания исследованы возможности повышения эффективности резервиро-

ванного обслуживания запросов неоднородного по критичности к задержкам в очередях потока в результате сочетания репликации и назначения приоритетов запросов в зависимости от предельно допустимого времени их ожидания.

Предложены варианты совмещения репликации и назначения приоритетов для критичных к ожиданию запросов и определена область эффективности применения предлагаемых решений.

Библиографический список

1. Ji H. Park S., Yeo J., Kim Y., Lee J., Shim B. Ultra-Reliable and Low-Latency Communications in 5G Downlink: Physical Layer Aspects. IEEE Wirel. Commun. 2018, 25, 124–130.

2. Sovetov B., Tatarnikova T., Cehanovsky V. Detection system for threats of the presence of hazardous substance in the environment. Proceedings of 2019 22nd International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2019 (2019) 121-124. DOI: 10.1109/SCM.2019.8903771.

3. Sachs J., Wikström G., Dudda T., Baldemair R., Kittichokechai K. 5G Radio Network Design for Ultra-Reliable Low-Latency Communication. IEEE Netw. 2018. 32. P. 24–31.

4. Zakoldaev D.A., Korobeynikov A.G., Shukalov A.V., Zharinov I.O., Zharinov O.O. Industry 4.0 vs Industry 3.0: the role of personnel in production//IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, Vol. 734, No. 1. P. 012048.

5. . Astakhova T., Verzun N., Kolbanev M., Shamin A. A model for estimating energy consumption seen when nodes of ubiquitous sensor networks communicate information to each other \\ Proceedings of the 10th Majorov International Conference on Software Engineering and Computer Systems, Saint Petersburg, Russia, December 20-21, 2018.

6. Tatarnikova T.M., Dzubenko I.N. IoT system for detecting dangerous substances by smell// Informatsionno-Upravliaiushchie Sistemy. 2018. V. 93, No 2.

7. Sorin D. Fault Tolerant Computer Architecture. Morgan & Claypool 2009. 103 p.

8. Koren I. Fault tolerant systems. Morgan Kaufmann publications. San Francisco 2009. 378 p.

9. Machida F., Kawato M., Maeno Y: Redundant virtual machine placement for fault-tolerant consolidated server clusters. In: IEEE Network Operations and Management Symposium. P. 32–39. IEEE Press, Osaka (2010), doi: 10.1109/NOMS.2010.5488431.020 71-85.

10. Kim, S., Choi, Y. Constraint-aware VM placement in heterogeneous computing clusters. Cluster Comput 23, 71–85 (2020). https://doi.org/10.1007/s10586-019-02966-6.

11. Zakoldaev D.A., Korobeynikov A.G., Shukalov A.V., Zharinov I.O. Digital forms of describing Industry 4.0 objects//IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, Vol. 656, No. 1. P. 012057.

12. Aliev T. I. Priority distribution in queueing system with probability constraints //Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Priborostroenie. 2015. Vol. 58, N 6. P. 415–420 (in Russian).DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-6-415-420.

13. Aliev, T. I . three-moment based approximation of probability distributions in queueing systems// Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics 2014, No2 (90)/,pp. 107-110.

14. Bogatyrev V.A. Exchange of duplicated computing complexes in fault-tolerant systems // Automatic Control and Computer Sciences – 2011. Vol. 45. No. 5. pp. 268–276.

15. Arustamov S.A., Bogatyrev V.A., Polyakov V.I. Back up data transmission in real-time duplicated computer systems. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2016. P. 103–109.

16. Bogatyrev V.A., Bogatyrev S.V., Derkach A.N. Timeliness of the Reserved Maintenance by Duplicated Computers of Heterogeneous Delay-Critical Stream. CEUR Workshop Proceedings. 2019. Vol. 2522. P. 26–36.

17. . Bogatyrev A.V., Bogatyrev V.A., Bogatyrev S.V. Multipath Redundant Transmission with Packet Segmentation // Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF 2019). 2019. P. 8840643.

18. Богатырев В. А., Богатырев С. В. Резервированное обслуживание в группе одноканальных систем с назначением различных приоритетов копиям запроса // Изв. вузов. Приборостроение. 2017. Т. 60. No 11. С. 1033–1039.

19. Slastikhin I.A., Bogatyrev V.A. Redundant Priority Maintenance in the Multi-Channel Systems. 2018 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF). 2018. P. 1–5.

20. Kleinrock L. Queueing Systems: Volume I – Theory. New York: Wiley Interscience. 1975 p. 417. ISBN 978-0471491101.

21. Kleinrock L. Queueing Systems: Volume II – Computer Applications. New York: Wiley Interscience. 1976 p. 576. ISBN 978-0471491118.

22. Bennis M.; Debbah, M.; Poor, H.V. Ultrareliable and Low-Latency Wireless Communication: Tail, Risk and Scale. Proc. IEEE 2018, 106, 1834–1853.

23. Siddiqi1 M., Yu H., Joung J. 5G Ultra-Reliable Low-Latency Communication Implementation Challenges and Operational Issues with IoT Devices Electronics 2019, 8, 981; doi:10.3390/electronics8090981 www.mdpi.com/journal/electronics.

УДК 004.722

Г. В. Верхова*
доктор технических наук, профессор
С. В. Акимов*
кандидат технических наук, доцент
*Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ИНТЕГРАЦИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНЫХ КИБЕРСРЕД ВИРТУАЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ В ЕДИНУЮ КИБЕРСРЕДУ ПОСТИНДУСТРИАЛЬНОГО ОБЩЕСТВА

Предложен подход к формированию единой киберсреды постиндустриального общества из локальных интероперабельных киберсред виртуальных организаций. Представлена концепция и базовые принципы построения киберсред виртуальных организаций. Приведены модели интеграции отдельных киберсред в единую киберсреду постиндустриального общества. Показано, что создание интероперабельных киберсред обеспечит инфокоммуникационное взаимодействие между участниками вне зависимости от того, в какой киберсреде они зарегистрированы, что позволит создать единое глобальное киберпространство.
Ключевые слова: киберсреда, виртуальная организация, виртуальное предприятие, интероперабельная киберсреда.

G. V. Verkhova*
Dr. Sc., Tech., Professor
S. V. Akimov*
PhD, Tech., Associate Professor
*The Bonch-Bruevich St. Petersburg State University of Telecommunications

INTEGRATION OF LOCAL INTEROPERABLE CYBER ENVIRONMENTS OF VIRTUAL ORGANIZATIONS INTO A SINGLE CYBER-ENVIRONMENT OF A POST-INDUSTRIAL SOCIETY

An approach to the formation of a unified cyber environment of a post-industrial society from local interoperable cyber environments of virtual organizations is proposed. The concept and basic principles of building a cyber-environment for virtual organizations are presented. Models of integration of separate cyber environments into a single cyber environment of post-industrial society are presented. It is shown that the creation of interoperable cyber environments will provide infocommunication interaction between participants, regardless of the cyber environment in which they are registered, which will create a single global cyberspace.
Keywords: cyber environment, virtual organization, virtual enterprise, interoperable cyber environment.

Введение

В настоящий момент времени глобальное информационное пространство сегментировано на ряд замкнутых цифровых экосистем, состоящих из корпоративных инфокоммуникационных систем, социальных сетей и разнообразных веб-сервисов. Отсутствие свойства интероперабельности у подавляющего числа современных цифровых экосистем препятствует формированию единого ки-

берпространства. Пользователи, зарегистрированные в разных цифровых экосистемах, не имеют возможности полного инфокоммуникационного взаимодействия.

Решение данной проблемы может быть достигнуто только путем создания модели интероперабельных киберсред, что обеспечит полное инфокоммуникационное взаимодействие пользователей безотносительно от того, в какой киберсреде они зарегистрированы. В статье предложен подход к формированию единой киберсреды постиндустриального общества из локальных интероперабельных киберсред виртуальных организаций. Представлена концепция и базовые принципы построения киберсред. Приведены модели интеграции отдельных киберсред виртуальных организаций в единую киберсреду постиндустриального общества.

Принципы построения киберсреды виртуальных организаций

Виртуальная организация представляет собой временную или постоянную совокупность географически разнесенных лиц, групп лиц, организационных единиц или целых организаций, которые используют инфотелекоммуникационные системы для совершения бизнес-процессов [1]. Виртуальная организация является новейшей и потенциально наиболее перспективной формой организаций. В форме виртуальной организации может выступать корпоративное, некоммерческое, образовательное [2] или иное объединение. Частным случаем виртуальной организации является виртуальное предприятие [3], которое представляет собой временное или постоянное объединение географически распределенных экономических субъектов, которые объединяются для консолидации навыков, ключевых компетенций и ресурсов с целью максимизации бизнес-возможностей, используя преимущественно электронные средства коммуникаций. Эффективное функционирование виртуальных организаций и предприятий требует наличия единой киберсреды постиндустриального общества.

Киберсреда призвана обеспечить сквозное инфокоммуникационное взаимодействие между участниками и обеспечить функционирование виртуальных предприятий и организаций с учетом их особенностей. Киберсреда строится на трех базовых принципах: агентности, информационного самообслуживания и управляемой информационной открытости [4]. Принцип агентности предполагает независимую регистрацию участников в киберсреде, путем формирования агента (цифрового двойника [5] участника). Принцип информационного самообслуживания подразумевает занесение информации в киберсреду ее непосредственными обладателями, которые являются заинтересованными лицами в ее распространении для ограниченного или неограниченного круга лиц. Управляемая информационная открытость подразумевает свободное распространение информации на основе набора лицензий, накладывающих ограничения на распространение, а также модификацию и удаление информации.

Киберсреда (*CE*) обеспечивает функционирование и информационное взаимодействие агентов типов, между которыми устанавливаются темпоральные связи:

$$CE = <P, B, M, R> \quad (1)$$

где: P – агент физического лица; B – агент коллектива физических лиц, включая организационные единицы и организации (юридические лица); M – цифровой двойник (агент) природного или антропогенного объекта; R – связь между агентами.

Модель интеграции локальных интероперабельных киберсред в единую киберсреду

Согласно принципам, положенным в основу киберсреды виртуальных предприятий, необходимо обеспечить возможность сквозного инфокоммуникационного взаимодействия между субъектами постиндустриального общества вне зависимости от того, зарегистрированы они в одной локальной киберсреде или в нескольких кеберсредах. Решение данной проблемы может быть достигнуто путем создания модели интероперабельных киберсред, их компонентов и бизнес-процессов.

Модель информационной связи R между участниками внутри киберсреды (1), с учетом интероперабельности может быть представлена в следующем виде (2):

$$R = <A_1, A_2, Type_R, Type_{Begin}, Type_{End}, State_R, I_R, ID_1, ID_2>, \quad (2)$$

где: A_1, A_2 – агенты, между которыми устанавливается информационная связь; $Type_R$ – тип связи; $Type_{Begin}$, $Type_{End}$ – время установления и время завершения действия связи; $State_R$ – состояние связи; I_R – дополнительная информация; ID_1 , ID_2 – идентификаторы киберсреды, в которых зарегистрированы участники, между которыми устанавливается связь.

В роли идентификатора киберсреды может выступать единый указатель ресурса URL. Процесс установления связи между участниками, зарегистрированными в различных киберсредах, представлен на рис. 1. В каждой киберсреде создается копия связи, описанной выражением (2). С точки зрения пользователей, процесс установления связи между участниками, зарегистрированными в разных киберсредах, ничем не отличается от процесса установления связи между участниками, зарегистрированными в рамках одной локальной киберсреды.

Между участниками, зарегистрированными в разных киберсредах, может быть организовано взаимодействие посредством обмена информационными сообщениями (рис. 2). Информационный обмен между участниками, зарегистрированными в разных киберсредах, может быть осуществлен посредством интероперабельных сообщений (3):

$$R = <A_1, A_2, Title_M, Content_M, T_{Send}, T_{Receive}, State_M, ID_1, ID_2>, \quad (3)$$

где: A_1, A_2 – отправитель и получатель сообщения; $Title_M$ – заголовок сообщения; $Content_M$ – содержание сообщения; T_{Send}, $T_{Receive}$ – время отправки и время получения сообщения; $State_M$ – статус сообщения (черновик, отправлено, прочитано).

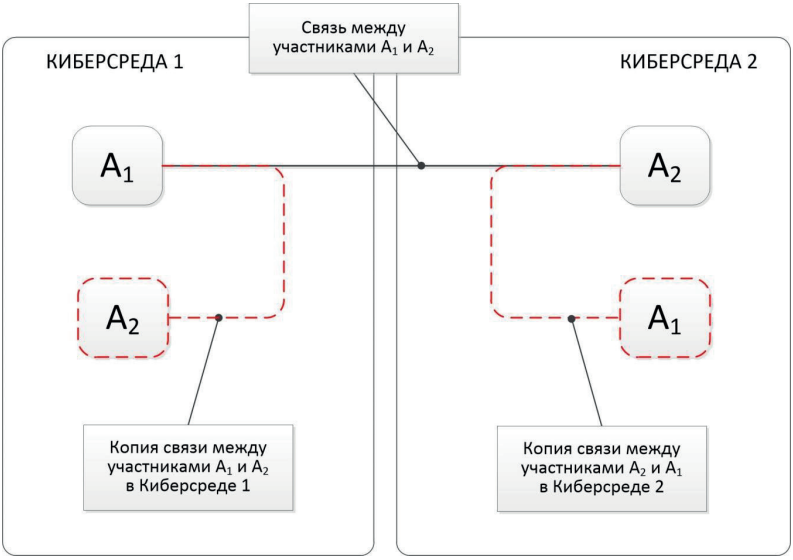


Рис. 1. Процесс установления связи между участниками, зарегистрированными в разных киберсредах

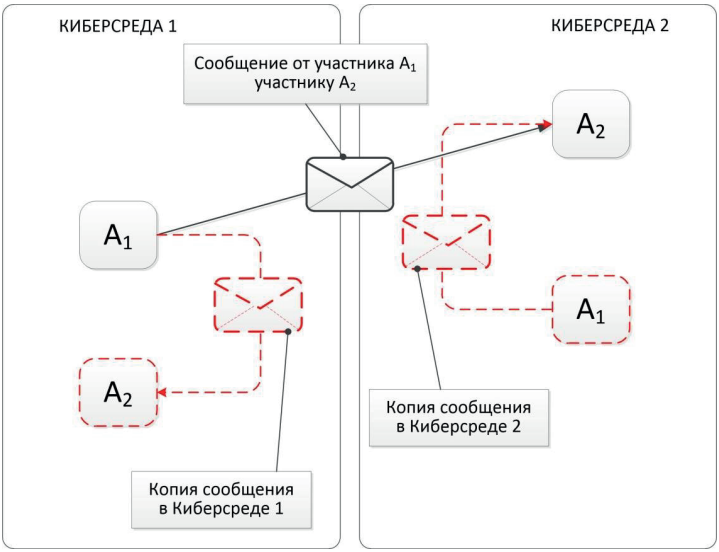


Рис. 2. Процесс обмена информационными сообщениями между участниками, зарегистрированными в разных киберсредах

Как и в случае с установлением связей между участниками, зарегистрированными в разных киберсредах, при передаче информационного сообщения в обеих киберсредах создаются копии сообщений, описываемые выражением (3).

Помимо обмена информационными сообщениями, возможна организация функционирования дистанционных конференций, форумов и рабочих групп, участниками которого будут пользователи, зарегистрированные в нескольких киберсредах. Модель подобного взаимодействия представлена выражением (4):

$$R = \langle A_{WG}, M_{\mathrm{WG}}, ID_{WG} \rangle, \qquad (4)$$

где: $A_{WG} = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$– участники рабочей группы (конференции, форума); $M_{\mathrm{WG}} = \{M_{WG(1)}, M_{WG(2)}, \dots, M_{\mathrm{WG}(m)}\}$– поток сообщений рабочей группы (конференции, форума); $ID_{WG} = \{ID_1, ID2, \dots, ID_k\}$ – идентификаторы киберсред, в которых зарегистрированы участники, входящие в состав рабочей группы.

Процесс функционирования рабочей группы, организованной между участниками, зарегистрированными в нескольких киберсредах, представлен на рис. 3. Как и в случае с установлением связей и обмена информационными сообщениями, в каждой киберсреде создаются копии потока сообщений и участников рабочей группы, представленные в выражении (4).

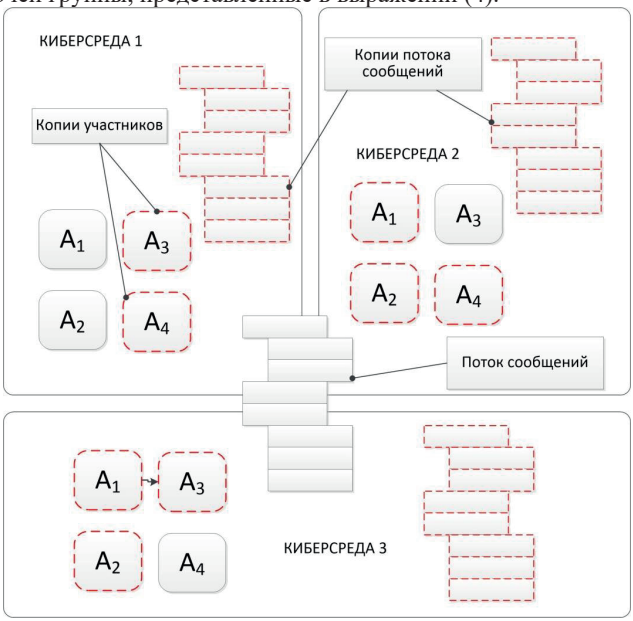


Рис. 3. Рабочая группа, включающая в себя участников из нескольких киберсред

При организации межкиберсредовых рабочих групп (конференций, форумов) возможна реализация нескольких стратегий копирования потока сообщений. Первая стратегия подразумевает создание полных синхронизированных

копий рабочих групп в каждой киберсреде. Данная стратегия обеспечивает более высокий уровень сохранности информации и скорость работы. В случае использования данной стратегии объем памяти, на серверах, обслуживающих киберсреды, расходуется более интенсивно. Возможна стратегия, в которой поток сообщений рабочих групп создается только в киберсреде, участник которой инициировал ее создание, а другие киберсреды, подгружают информацию динамически с сервера, обслуживающего кеберсреду, в которой создана и функционирует рабочая группа. Данная стратегия разгружает хранилища серверов киберсред, но эффективность функционирования такой модели может оказаться ниже. Кроме того, в данном случае киберсреды становятся неравноправными, фактически реализуя модифицированную модель «клиент-сервер».

Заключение

Предложенные модели описывают киберсреды, отвечающие требованиям, предъявляемым к информационно-коммуникационному обеспечению виртуальных организаций, а также отражают ключевые особенности их функционирования. Данные модели обеспечивают возможность организации сквозного информационного взаимодействия между участниками, зарегистрированными в разных киберсредах. Созданные модели могут быть положены в основу разработки программно-алгоритмического обеспечения интероперабельных киберсред, допускающих «бесшовное» объединение в глобальную киберсреду постиндустриального общества.

Библиографический список

1. Guamushig T., Lopez C., Santorum M., Aguilar J. Characterization of a Fourth Generation Virtual Organization Based on Industry 4.0. 2019 International Conference on Information Systems and Software Technologies (ICI2ST), Quito, Ecuador, 2019. P. 182–186.

2. Verkhova G.V., Akimov S.V. The role of the unified educational cyber environment in improving the quality of training of engineer personnel // Proceedings of 2018 XVII Russian Scientific and Practical Conference on Planning and Teaching Engineering Staff for the Industrial and Economic Complex of the Region (PTES). 2018. P. 70–74.

3. Pavlenko V., Shostak I., Morozova O., Danova M. Information support for business processes at virtual enterprises with multi-agent technologies. 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Kiev, 2018. P. 526–533.

4. Акимов С.В., Верхова Г.В., Меткин Н.П. Теоретические основы CALS. СПб: Издательство СПбГУТ, 2018. 263 с.

5. Brylina O.G., Kuzmina N.N. Osintsev K.V. Modeling as the Foundation of Digital Twins // 2020 Global Smart Industry Conference (GloSIC), Chelyabinsk, Russia, 2020. P. 276–280.

УДК 004.056.5

В. А. Веселова*
студент
А. М. Вересова*
студент
А. А. Овчинников*
кандидат технических наук, доцент
**Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического прибо-ростроения

К ВОПРОСУ О СТОЙКОСТИ КОДОВЫХ КРИПТОСИСТЕМ К АТАКАМ ПОНИЖЕНИЯ ПЛОТНОСТИ МАТРИЦ

В статье рассматриваются методы понижения плотности матриц. Данные методы могут использоваться для анализа стойкости криптосистем, основанных на кодах, исправляющих ошибки. Понижение плотности матриц может влиять как на стойкость систем, использующих низкоплотностные коды в качестве закрытого ключа, так и на стойкость систем общего вида, в которых для дешифрования требуется решать задачу декодирования ошибок заданной кратности. В статье приводятся результаты экспериментов для рассмотренных методов понижения плотности.
Ключевые слова: понижение плотности матриц, кодовые криптосистемы, атаки на кодовые криптосистемы, стойкость кодовых криптосистем, асимметричное шифрование.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № FSRF-2020-0004, «Научные основы построения архитектур и систем связи бортовых информационно-вычислительных комплексов нового поколения для авиационных, космических систем и беспилотных транспортных средств».

V. A. Veselova*
Student
A. M. Veresova*
Student
A. A. Ovchinnikov*
PhD, Tech., Associate professor
*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

ON THE QUESTION OF THE RESISTANCE OF CODE-BASED CRYPTOSYSTEMS TO MATRIX DENSITY REDUCTION ATTACKS

Methods for reducing the density of matrices are discussed. These methods can be used to analyze the cryptocomplexity of systems based on error-correcting codes. Lowering the density of matrices can affect both the stability of systems that use low-density codes as a private key, and the stability of general systems in which decryption requires solving the problem of decoding errors of a given multiplicity. The article presents the results of experiments for the considered methods of reducing the density.
Keywords: matrix density reduction, code-based cryptosystems, attacks on code-based cryptosystems, cryptocomplexity of code-based systems, asymmetric encryption.

Введение

В современном мире повсеместно используется передача информации в каналах связи. Для обеспечения безопасности передачи и сокрытия информации от посторонних лиц в незащищённом канале связи используют шифрование. Перед отправлением информация подвергается шифрованию, а для восстановления исходных данных на стороне получателя применяется функция дешифрования.

Существует два типа шифрования: симметричное и асимметричное. В симметричном подходе для шифрования и дешифрования информации применяется один и тот же ключ; об использовании этого ключа отправитель и получатель договариваются заранее и хранят его в секрете. В асимметричном подходе используется два ключа: общедоступный (открытый) и секретный (закрытый). Посредством общедоступного ключа происходит шифрование информации, для дешифрования используют секретный ключ. При этом знание общедоступного ключа не позволяет определить секретный ключ. Симметричное шифрование обычно используется для шифрования передаваемого трафика, а асимметричное – для шифрования служебной информации, например, ключей симметричного шифра.

На сегодняшний день самой популярной асимметричной криптосистемой является RSA, представленная в 1977 году тремя учёными: Рональдом Ривестом, Ади Шамиром и Леонардом Адлеманом [1]. Стойкость этой системы основана на задаче целочисленной факторизации, при этом скорость работы системы сравнительно мала.

Атаки на систему с открытым ключом могут основываться на поиске секретного ключа по открытому или поиске открытого текста по шифртексту. На сегодняшний день задача целочисленной факторизации является трудной, однако с появлением квантовых компьютеров сложность решения этой задачи окажется полиномиальной, и криптосистема RSA перестанет быть устойчивой. В связи с этим в последнее десятилетие рассматриваются альтернативные системы, в том числе основанные на кодах, исправляющих ошибки.

Кодовые криптосистемы

Преимуществом кодовых криптосистем по сравнению с теоретико-числовыми системами является использование более трудной задачи: декодирование случайного линейного кода.

Первая из кодовых криптосистем была предложена Р. Мак-Элисом (McEliece) в 1978 году [2]. Данная система облает высокой скоростью криптографических преобразований и в режиме шифрования вносит в сообщение контролируемое число ошибок, что приводит к трудности получения исходного текста злоумышленником.

Для построения ключей в системе Мак-Элиса необходимо:

- выбрать матрицу $\mathbf{G}$, являющуюся порождающей матрицей линейного (n, k)-кода с минимальным расстоянием d, для которого известна процедура декодирования $\varphi(\mathbf{b}) \to \mathbf{a}$ (где $\mathbf{a}$ – кодовое слово, $\mathbf{e}$ – вектор ошибки, $\mathbf{b} = \mathbf{a} + \mathbf{e}$ –

принятое слово), исправляющая любую комбинацию из не более чем $t = \lfloor (d-1)/2 \rfloor$ ошибок за полиномиальное время [3];

- выбрать случайную невырожденную ($k \times k$)-матрицу **M**;
- выбрать случайную ($n \times n$)-матрицу перестановки **P**;
- вычислить **G′** = **MGP.**

Открытым ключом считается пара значений (**G′**, t), секретным – (**M**, **G**, **P**).

Шифрование выполняется для блока двоичного сообщения длиной k: $\mathbf{m} = (m_1, m_2, \ldots, m_k)$, $m_i \in \{0,1\}$. Тогда шифртекст представляет собой вектор $\mathbf{c} = \mathbf{mG} + \mathbf{e}$, где **e** – вектор ошибок, вес Хэмминга которого $W(\mathbf{e}) = t$.

Для дешифрования необходимо вычислить $\mathbf{x} = \mathbf{cP}^{-1}$ и к полученному вектору **x** применить процедуру декодирования $\varphi(\mathbf{x}) \to \mathbf{a}$. Из полученного кодового слова **a** находится исходное сообщение **m**.

В 1986 году Х. Нидеррайтер предложил кодовую криптосистему, являющуюся разновидностью системы Мак-Элиса [4]. В отличие от системы Мак-Элиса, данная криптосистема использует проверочную матрицу кода. Алгоритм также основан на сложности декодирования линейных кодов. Открытым ключом криптосистемы Нидеррайтера является пара (**H′**, t), где **H′** = **MHP**, **M** – невырожденная ($r \times r$)-матрица (где $r = n - k$), **H** – проверочная матрица линейного (n, k)-кода с расстоянием d, для которого известна процедура декодирования $\varphi(\mathbf{b}) \to \mathbf{a}$, исправляющая любую комбинацию из не более чем t ошибок, **P** – перестановочная ($n \times n$)-матрица. Секретный ключ составляют матрицы (**M**, **H**, **P**). Таким образом, открытый ключ представляет собой проверочную матрицу некоторого случайного линейного кода, для которого неизвестен полиномиальный алгоритм декодирования.

Для выполнения шифрования сообщение представляется в виде двоичной последовательности, которая разбивается на блоки по n бит, вес каждого блока должен быть равен t. Таким образом, конфиденциальная информация передается в искусственных векторах ошибок $\mathbf{e} = (e_1, e_2, \ldots, e_n)$, $e_i \in \{0,1\}$, $W(\mathbf{e}) = t$. Тогда шифртекст представляет собой $\mathbf{c} = \mathbf{eH}'^T$.

Для дешифрования полученного сообщения необходимо вычислить так называемый синдром $\mathbf{s} = \mathbf{c}(\mathbf{M}^T)^{-1} = \mathbf{eM}^T\mathbf{H}^T\mathbf{P}^T(\mathbf{M}^T)^{-1} = (\mathbf{eP}^T)\mathbf{H}^T = \hat{\mathbf{e}}\mathbf{H}^T$, где $W(\hat{\mathbf{e}}) = t$, поэтому алгоритм декодирования φ может найти вектор ошибки $\hat{\mathbf{e}}$, соответствующий синдрому **s**. Тогда передаваемое сообщение $\mathbf{e} = \hat{\mathbf{e}}\mathbf{P}^{-1}$.

В [5] показано, что криптосистемы Мак-Элиса и Нидеррайтера являются эквивалентными.

В последующие годы развитие кодовых криптосистем происходило в двух направлениях: уменьшение размера ключа криптосистемы Мак-Элиса и использование альтернативных кодов вместо кодов Гоппы. Известны предложения [5], в которых для формирования секретного ключа используются низкоплотностные коды (коды с малой плотностью проверок на четность, LDPC-коды). LDPC-коды основаны на разреженной проверочной матрице. Для таких

кодов используют итеративные алгоритмы декодирования, которые принимают решения относительно отдельных символов полученной последовательности и являются вычислительно эффективными.

Низкоплотностные коды в кодовых криптосистемах с открытым ключом могут быть применены двумя способами. Первый способ заключается в использовании низкоплотностного кода в качестве секретного ключа. В такой системе секретным ключом является разреженная матрица, а открытым ключом – порождающая плотная матрица того же кода. Атака на такую систему может заключаться в построении некоторой разреженной проверочной матрицы по известной порождающей.

Вторым возможным вариантом использования низкоплотностных кодов является построение гибридного алгоритма декодирования для классических кодовых криптосистем [6], в которых требуется исправить t ошибок в коде Гоппы. Для декодирования используются алгебраические декодеры, сложность которых зависит от количества исправляемых ошибок и которые работают только в рамках корректирующей способности кода. Если бы удалось построить разреженную матрицу для открытого ключа, то итеративный декодер мог бы уменьшить количество наложенных ошибок и упростить процедуру алгебраического декодирования.

Таким образом, анализ сложности задачи нахождения плотности матрицы является важной частью анализа стойкости кодовых криптосистем.

Методы понижения плотности матриц

При понижении плотности матриц необходимо, чтобы они оставались базисом одного пространства. Чтобы это условие выполнялось, при операциях с матрицами действия должны производиться только над строками, а ранг матрицы должен оставаться полным. Рассмотрим несколько соответствующих методов понижения плотности матриц.

В данной статье рассматриваются двоичные матрицы, все операции производятся по модулю два.

Метод 1. Один из самых простых методов уменьшения плотности любой матрицы – операции со строками: прибавление к одной строке матрицы другой строки. Данная операция производится попарно со всеми строками матрицы. Если новая строка оказалась ненулевой и меньшего веса, чем исходная, и ранг матрицы остался полным, то строка заменяется. В результате уменьшения веса строки уменьшается вес всей матрицы, и понижается её плотность. На выходе получается новая матрица, с которой можно повторить операцию со сложением строк до тех пор, пока плотность матрицы не перестанет уменьшаться.

Метод 2. Другим методом понижения плотности проверочной матрицы может служить перебор всех кодовых слов двойственного кода и составление из слов малого веса новой матрицы. Чтобы ранг матрицы был полным, слова должны быть линейно независимы. Данный способ основан на полном переборе. При использовании матриц больших размерностей, когда полный перебор становится вычислительно трудным, можно перебирать часть кодовых слов, достаточную для построения новой матрицы.

Метод 3. В статье [7] для нахождения минимального расстояния LDPC-кода предлагается вероятностный алгоритм поиска слов малого веса. Принцип поиска заключается в локальном поиске кодовых слов около нулевого кодового слова с наложенным минимальным уровнем шума. Предполагается, что результирующие ближайшие ненулевые кодовые слова, скорее всего, будут содержать кодовое слово с минимальным весом Хэмминга. Эффективность алгоритма демонстрируется многочисленными примерами. Использование такого метода позволяет получить слова малого веса для построения новой проверочной матрицы с пониженной плотностью.

Для проведения экспериментов по понижению плотности использовались случайные матрицы с изначальной плотностью, близкой к 0,5, и задающие код со скоростью $R = k/n = 0{,}5$. В таблице приведены результаты применения описанных методов уменьшения плотности для различных матриц.

Таблица

Результаты применения разных методов понижения плотности матриц

Размер матрицы	Начальная плотность матрицы	Плотность после операций со строками	Плотность после поиска слов малого веса	Плотность после полного перебора кодовых слов	Наибольший процент понижения плотности
$n = 24$, $r = 12$	0,5069	0,4028	0,2917	0,1944	62
$n = 28$, $r = 14$	0,5000	0,3954	0,2500	0,1964	61
$n = 30$, $r = 15$	0,5133	0,4356	0,2333	0,1832	65
$n = 32$, $r = 16$	0,4902	0,4199	0,2188	0,1868	62
$n = 252$, $r = 126$	0,5025	0,4411	0,1924	–	62

Из полученных результатов видно, что плотность матрицы после применения метода операций со строками уменьшается незначительно – на 0,06–0,1. Для матриц небольшого размера можно произвести перебор по кодовым словам, который позволяет уменьшить плотность матрицы примерно на 0,3. Но для матриц большого размера данный метод вычислительно невозможен, так как имеет экспоненциальную сложность. Близкие результаты к полному перебору по кодовым словам дает поиск кодовых слов малого веса: плотность матриц снижается от 0,5 до 0,2–0,3. Таким образом, для уменьшения плотности матриц больших размерностей может быть успешно применен метод вероятностного поиска слов малого веса.

Заключение

В данной статье рассмотрены некоторые методы понижения плотности случайных матриц. Проведены эксперименты по понижению плотности слу-

чайных матриц, в результате которых были получены плотности матриц, близкие к плотности матриц LDPC-кодов. Удалось понизить плотность матриц примерно на 0,3, что составляет более 60% от начальной плотности. Вопрос о применении к таким матрицам декодеров низкоплотностных кодов остаётся открытым, однако полученные результаты свидетельствуют о том, что данное направление следует учитывать при анализе стойкости кодовых криптосистем.

Библиографический список

1. Rivest, R., Shamir, A., Adleman, L. A method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems // Commun. ACM. 1978. Feb. Vol. 21. No. 2. P. 120–126.

2. McEliece, R.J. A Public-Key Cryptosystem Based On Algebraic Coding Theory // DSN Progress Report. 1978. Jan. Vol. 44. P. 114–116.

3. Мак-Вильямс, Ф.Дж., Слоэн, Н.Дж.А. Теория кодов, исправляющих ошибки. М.: Связь, 1979. 744 с.

4. Niederreiter, H. Knapsack-type cryptosystems and algebraic coding theory // Problems of Control and Information Theory. 1986. Vol. 15. No. 2. P. 159–166.

5. Yuan Xing Li, R. H. Deng and Xin Mei Wang. On the equivalence of McEliece's and Niederreiter's public-key cryptosystems // IEEE Transactions on Information Theory. 1994. Jan. Vol. 40. No. 1. P. 271–273.

6. Веселова, В.А. О гибридном итеративно-алгебраическом декодировании циклических кодов // XXIX Международная научно-техническая конференция «Современные технологии в задачах управления, автоматики и обработки информации». Алушта, Крым, Россия. 14-20 сентября 2020. С. 142–143.

7. Xiao-Yu Hu, Fossorier, M.P.C., Eleftheriou, E. On the computation of the minimum distance of low-density parity-check codes // IEEE International Conference on Communications. Paris, France. 2004. Vol. 2. P. 767–771.

УДК 004.056.55

П. А. Волынкин*
кандидат технических наук, доцент
*Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

ЧАСТОТНЫЕ ПОРТРЕТЫ В ИДЕНТИФИКАЦИИ АВТОРСТВА

Предложены система терминологии и метод формирования модели набора частот однограмм и биграмм для автора текстовых контентов и для конкретного текста. Представлена концепция формирования частотных портретов на различных уровнях от языка до конкретного текста. Приведены модели частотных портретов автора текстовых контентов и частотных портретов конкретных тектов. Показана возможность идентификации авторства текстового контента на базе представленной концепции.
Ключевые слова: частотный портрет, полиграммы, частоты букв, частоты биграмм, статистический анализ, лингвоанализатор.

P. A. Volynkin*
PhD, Tech., Associate Professor
*The Bonch-Bruevich St. Petersburg State University of Telecommunications

FREQUENCY PORTRAITS IN AUTHORSHIP IDENTIFICATION

A system of terminology and a method for forming a model of a set of onegram and bigram frequencies for the author of text content and for a specific text is proposed. The concept of forming frequency portraits at various levels, from language to a specific text, is presented. The models of frequency portraits of the author of text content and frequency portraits of specific texts are presented. The possibility of identifying the authorship of text content on the basis of the presented concept is shown.
Keywords: frequency portrait, polygrams, letter frequencies, bigram frequencies, statistical analysis, language analyzer.

Как известно, частотные методы в свое время были разработаны для взлома зашифрованных текстов. Частота присутствия той или иной буквы (однограммы) в рамках конкретного языка воспроизводимо отличается от частот присутствия других букв. Также были выявлены и различные частоты наличия пар букв (биграмм). При более детальном изучении вопроса было обнаружено, что частота наличия тех или иных однограмм (и биграмм) для разных языков существенно различаются.

Частотные портреты

Подобный набор частот для конкретного языка в рамках единого алфавита предлагается называть **частотным портретом языка (ЧПЯ)** и обозначать ***F*я**.

Кроме того, даже для одного и того же языка частотные портреты неоднородны и в зависимости от раздела науки, культурной области частотные портреты значительно различаются. Такие частотные портреты будем называть **тематическими частотными портретами (ЧПТ)** и обозначать ***Fям***.

В результате частотный портрет языка можно представить в виде суперпозиции тематических частотных портретов (здесь условно суперпозицию будем обозначать символом ∑):

$$F\text{я} = \sum_{1}^{\text{число тем}} F\text{ят}$$

Однако тексты, сформированные различными авторами, также имеют отличающиеся частотные портреты. На них оставляет свой отпечаток личность автора, его индивидуальность и лингвистические предпочтения. Подобный индивидуальный стиль автора можно назвать персональным **частотным портретом автора (ЧПА)** и обозначать ***F*а**.

Тексты, созданные одним и тем же автором, имеют свой набор однограмм и биграмм, то есть свой стиль. В этом случае частотный портрет темы можно описать суперпозицией частотных портретов авторов, работающих в рамках этой темы:

$$F\text{т} = \sum_{1}^{\text{число авторов в теме}} F\text{а}$$

Хотя, конечно, свой отпечаток накладывает на частотный портрет и конкретное произведение, его тема. Подобный частотный портрет будем называть **частотным портретом произведения (ЧПП)** и обозначать ***Fп***.

Тогда частотный портрет автора можно представить в виде суперпозиции частотных портретов его произведений:

$$F\text{а} = \sum_{1}^{\text{число произведений автора}} F\text{п}$$

Тексты, написанные разными авторами, различаются своими авторскими частотными портретами.

Модель идентификации авторства с использованием частотных портретов

Для достоверной дифференцации текстовых контентов необходимо формализовать метод создания частотных портретов (языка, темы, автора, произведения. Это можно реализовать путем формирования набора частотных портретов различных авторов на основе суперпозиции частотных портретов их произведений.

После этого в случае наличия произведения неизвестного автора (в предположении что этот автор описан одним из авторских частотных портретов) составляется анонимный авторский частотный портрет ***Faa*** и сравнивается последовательно с имеющимися авторскими частотными портретами ***Fa*** с целью поиска наименьшего отклонения в поиске.

Кроме того, очевидно возникнет вопрос о том, какой объем текста достаточен для достижения требуемой точности в оценке.

Таким образом, если удастся найти адекватный метод сравнения частотных портретов, можно формально дифференцировать авторов одного от другого, а также решить непосредственно саму задачу авторства или подложности определенного текстового произведения.

Одним из первых исследователей в области статистического анализа текстов занимался известный математик А.А. Марков («Об одном применении статистического метода», «Пример статистического исследования над текстом "Евгения Онегина", иллюстрирующий связь испытаний в цепь»: [1, 2]). Его метод представляет из себя формальную математическую модель последовательности букв текста в виде реализации цепей (цепи Маркова). По тем произведениям автора, которые достоверно им созданы, вычисляется матрица переходных частот употреблений пар букв (биграмм). Она служит оценкой матрицы вероятностей перехода из буквы в букву. Матрица переходных частот строится для каждого из авторов. Для каждого автора оценивается вероятность того, что именно он написал анонимный фрагмент текста. Автором анонимного текста полагается тот, у которого вычисленная оценка вероятности больше. Такой метод оказывается удивительно точным для естественно-языковых текстов.

После А. А. Маркова зависимость появления букв текста вслед за несколькими предыдущими исследовал методами теории информации К. Шеннон [3]. Фактически им было показано, в частности, что такая зависимость ощутима на глубину приблизительно в 30 знаков, после чего она практически отсутствует.

В отличие от этих работ предлагается под Частотным портретом автора понимать три составляющие [4–6]:

1. Распределение частот однограмм (букв) в тексте. Причем, эта составляющая частотного портрета имеет несколько граней: сугубо буквенные (33 буквы русского алфавита) и расширенные (буквы и знаки препинания).

2. Распределение частот биграмм (пар букв) в тексте.

3. Доверительный интервал для однограмм и биграмм – интервал среднеквадратичных отклонений, в рамках которого с доверительной вероятностью можно говорить о принадлежности некого неизвестного текста данному автору.

Программная реализация идентификации авторства по частотным портретам

В рамках проводимых исследований была разработана программа, которая позволяет рассчитывать распределения частот для одно- и биграмм, а также выявлять доверительные интервалы, то есть формировать Частотный портрет автора (ЧПА).

Кроме этого, программа позволяет после загрузки анонимного текста, сравнивая его ЧП с Частотными портретами известных авторов, оценить вероятности принадлежности этого текста тому или иному автору.

Пример частотных распределений одно- и биграмм для Частотного портрета Л. Н. Толстого приведен на рис. 1 и 2.

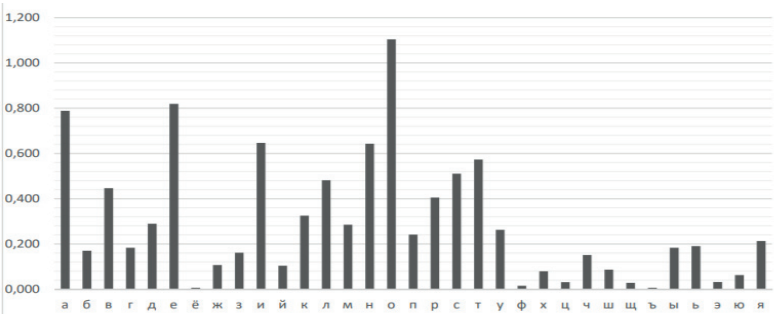


Рис. 1. Одноограммная составляющая авторского частотного портрета Л. Н. Толстого

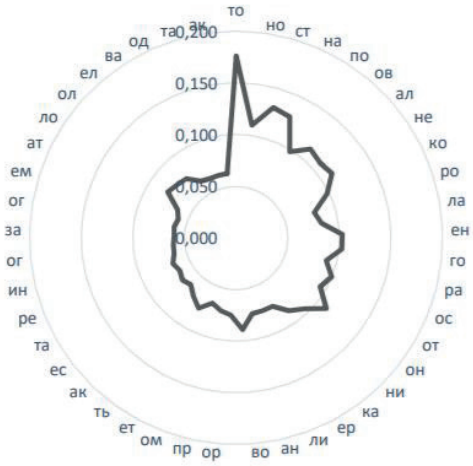


Рис. 2. Биграммная составляющая (наивысшие частоты) ЧПА Л. Н. Толстого

С помощью разработанной программы удалось также найти зависимость среднеквадратичного отклонения частотных портретов неизвестного текста от текстов известных авторов, где аргументом выступает размер неизвестного текста (рис. 3).

Очевидно (рис. 3), что при текстах малого размера (менее 38 тыс. символов) отклонение выходит за пределы доверительного интервала.

На примере трех авторов (Достоевский, Толстой, Шолохов) было показано различие частотных портретов разных авторов друг от друга (табл. 1).

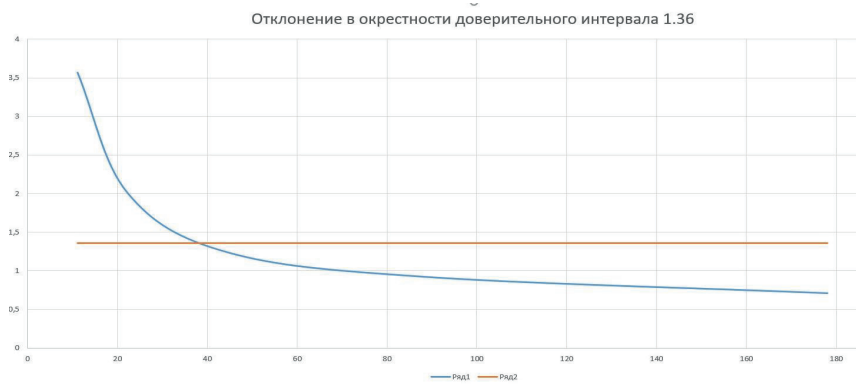


Рис. 3. Отклонение частотных портретов от размера текста (тыс. символов)

Таблица 1

Среднеквадратические отклонения между ЧП авторов по однограммам

Автор	Ф. М. Достоевский	Л. Н. Толстой	М. А. Шолохов
Ф. М. Достоевский	-	1.33	7.02
Л. Н. Толстой	1.33	-	3.57
М. А. Шолохов	7.02	3.57	-

Таблица 2

Отклонения анонимного ЧП от ЧП трех известных авторов

Автор	Текст неизвестного автора	
	Однограммы	Биграммы
Ф. М. Достоевский	3.10	2.72
Л. Н. Толстой	0.54	0.43
М. А. Шолохов	4.92	2.70

Как видно, различие частотных портретов всех трех авторов весьма значительно. Причем, похоже, что разница между авторскими частотными портретами растет с ростом дистанции по времени между написанием текстов. Следовательно, можно предположить, кроме всего прочего, что может существовать

еще и частотный портрет эпохи, для которой характерен тот или иной словарный набор.

Для частотных портретов по биграммам это различие еще увеличивается, а, значит, идентификация по биграммам будет еще более адекватной.

На базе созданных частотных портретов с помощью разработанной программы был проведен эксперимент по идентификации автора некого анонимного текста. Результаты сравнения ЧП анонимного текста (в качестве такового был взят отрывок из одного из произведений Л. Толстого) и ЧП трех известных авторов приведены в табл. 2.

Таким образом, показана эффективность методики идентификации автора анонимного текста посредством технологии Частотных портретов.

Библиографический список

1. Марков А.А. Об одном применении статистического метода. // Известия Имп.Акад.наук, серия VI, Т.X, N4, 1916, с.239.

2. Марков А.А. Пример статистического исследования над текстом "Евгения Онегина", иллюстрирующий связь испытаний в цепь. // Известия Имп.Акад.наук, серия VI, Т.X, N3, 1913, с.153.

3. Shannon C. E. A Mathematical Theory of Communication // Bell System Technical Journal. 1948. T. 27. P. 379–423, 623–656.

4. Волынкин П.А., Гянджиев Э.Э. Частотные портреты и методы их формирования // Наука и образование, сб. статей XV Межд.научно-практической конференции, Наука и просвещение, 2018. С.49–55.

5. Волынкин П.А., Гянджиев Э.Э. Идентификация авторства текста при помощи частотных портретов // Наука и образование: сб. ст. XV Междунар. науч.-практ. конф. 2018. С.150–155.

6. Волынкин П.А., Гянджиев Э.Э. Исследование методов формирования частотных портретов. // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании, VII Межд.научно-техническая и научно-методическая конференция, СПб ГУТ, 2018. С.195–202.

УДК 004.8

А. Д. Дранощук*
студент
А. И. Веселов*
кандидат технических наук, доцент
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения

СЖАТИЕ ФОТОРЕАЛИСТИЧНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ТЕКСТОМ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Статья посвящена вопросам сжатия изображений с текстом с помощью нейронных сетей. Рассматривается задача повышения качества декодирования текстовых областей без увеличения вычислительной сложности кодека для схемы сжатия, основанной на недавно предложенном методе HiFiC. Для повышения качества текстовых областей в статье предлагается использовать взвешенную функцию потерь, в которой весовые коэффициенты выставляются в соответствии с картой контуров. Экспериментальные результаты подтверждают эффективность данного подхода в поставленной задаче.
Ключевые слова: компьютерное зрение, нейронные сети, сжатие изображений.

A. D. Dranoschuk*
Student
A. I. Veselov*
PhD, Tech., Associate Professor
*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

NEURAL COMPRESSION OF IMAGES WITH TEXT REGIONS

The article considers the problem of neural compression of photorealistic images with text regions. Recent approach HiFiC is considered as a reference and the problem is set as to enhance the quality of decoded text regions without increase in codec complexity. A contour-based weighted loss is proposed to solve the problem. Experimental results prove the effectiveness of the proposed method.
Keywords: computer vision, neural networks, image compression.

Введение

Большинство современных методов сжатия изображений основаны на энтропийном кодировании квантованных спектральных коэффициентов функции интенсивности. Данный принцип лег в основу наиболее распространенного в настоящее время стандарта JPEG [1], в котором спектральное разложение выполняется посредством блочного дискретного косинусного преобразования (ДКП). В силу того, что эффективность декомпозиции сигнала является ключевым фактором, влияющим на соотношение между степенью сжатия и качеством декодированного изображения, в научном сообществе активно исследуются альтернативные преобразования, например, вейвлет преобразование [2]. Указанные преобразования действительно уменьшают пространственную избыточность в изображениях, однако стоит отметить тот факт, что нет строгого

обоснования того, что результат преобразований является оптимальным в связке с алгоритмами сжатия. С появлением глубоких сверточных сетей появились новые перспективные методы выделения признаков из изображения, которые можно напрямую оптимизировать с помощью метода обратного распространения ошибки [3]. В целом, в течение последнего десятилетия нейронные сети (НС) постепенно вытесняют классические методы обработки изображений. В области сжатия изображений появился ряд работ, в которых показано, что НС могут использоваться для более эффективной декомпозиции изображений в задаче сжатия. Например, в статьях [4, 5, 6] показано, что с применением сверточных НС можно получить признаки изображения (нейросетевые признаки изображений, НПИ) с минимально возможной пространственной избыточностью, которые при этом имеют минимальную энтропию.

Основной проблемой НПИ является сложность их интерпретации. Поскольку НС выступает в роли «обученного черного ящика», статистические характеристики признаков трудно отобразить в явном виде на содержимое изображений. В результате, как правило, при квантовании НПИ происходит равномерная по всему изображению потеря качества. Однако, бывают случаи, когда сжатие с равномерной потерей качества по всему изображению не является приемлемым. Например, при визуальной оценке сжатия изображения с текстом, пользователь будет все свое внимание обращать на качество текста. В данном случае целесообразно сжимать области с текстом с минимально возможными потерями в качестве. В качестве второго примера можно рассмотреть сжатие изображений с людьми. Искажения на лицах людей намного более заметны, чем, например, в траве или листве на фоне. В связи с этим актуальной задачей является добавление в нейросетевые методы сжатия изображений регионов интереса – то есть областей, в которых наличие искажений является менее допустимым по сравнению с остальными частями изображения.

Проблема учета регионов интереса в нейросетевых кодеках рассматривалась в работе [7]. Авторы предлагают подавать на вход нейронной сети, выполняющей сжатие, пиксельную карту объектов, выделенную с помощью внешней сети для сегментации. Данный метод позволяет интеллектуальным образом управлять качеством сжатия на уровне объектов разных классов. Недостатком подобного подхода является необходимость в вызове дополнительной сети на стороне кодера. Метод, который рассматривается в настоящей работе, в целом использует схожую методику – добавление специальной карты. Однако, в отличие от [7] предлагается использовать карту только в процессе обучения НС в функции ошибки. Очевидно, что в таком случае кодер берет на себя часть задачи, связанной с детектированием регионов интереса. Интересное наблюдение заключается в том, что при такой модели системы использование детекторов текста не является оптимальным при компрессии изображений, содержащих, помимо прочего, текстовую информацию, и более хорошие результаты можно достичь с помощью карт контуров.

В качестве кодека в данной статье рассмотрен метод HiFiC из статьи [8]. Предлагается новый метод обучения сети HiFiC, в котором применяются пиксельные карты контуров для выделения важных областей изображения.

Кодек HiFiC

Кодек HiFiC представляет собой состязательную нейросеть, предназначенную для сжатия изображений с потерями. Отличительной особенностью данного метода является использование комплексной функции потерь, включающей слагаемые, отвечающие как за степень сжатия, так и за правдоподобность декодированного изображения. HiFiC имеет в своей архитектуре четыре нейросети (рис. 1 [8]).

1. E-нейросеть. Используется для генерации НПИ.
2. P-нейросеть. Предназначена для оценки распределения векторов, которые получаются в результате работы E-нейросети. Данное распределение необходимо для последующего энтропийного сжатия признаков [9].
3. G-нейросеть. Предназначена для генерации восстановленного изображения.
4. D-нейросеть. Предназначена для бинарной классификации изображений на оригинальные и сгенерированные. Данная классификация может использоваться в качестве критики восстановленного изображения: чем лучше D-нейросеть производит классификацию, тем хуже работает G-нейросеть.

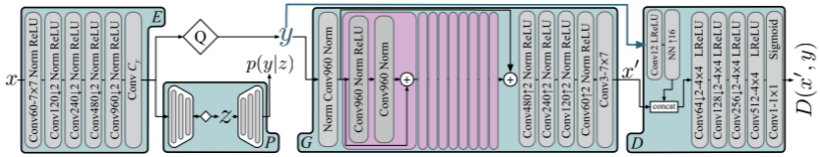


Рис. 1. Архитектура HiFiC

Благодаря критике D-нейросети, сеть HiFiC получает свойства, позволяющие ей восстанавливать фотореалистичные изображения. Поскольку задача бинарной классификации намного проще задачи генерации изображений, существуют сложности одновременного обучения D-нейросети и G-нейросети. Для борьбы с данным эффектом авторы HiFiC разбивают обучение на два этапа. На первом этапе модель обучается оптимизировать критерий (1)

$$d = k_m MSE + k_p d_p, \tag{1}$$

где MSE – квадрат ошибки между восстановленным и исходным изображением, d_p – метрика для оценки перцептуального качества изображения (например, LPIPS [10], NIQE [11], FID [12], KID [13] и пр.), k_m и k_p – коэффициенты балансировки между компонентами функции потерь. На втором этапе обучения к оптимизационной функции потерь добавляется критика D-нейросети.

Применение бинарных масок в функции потерь

В качестве областей интереса в настоящей статье рассматриваются регионы с текстовыми данными. Для построения бинарных масок рассмотрены два метода: выход детектора текста Craft [14] и выход детектора граней Canny [15] (рис. 2). Применение маски Craft теоретически может напрямую оптимизиро-

вать качество в областях с текстом, однако требует от сети возможности самостоятельного детектирования этих областей. Применение маски Canny может косвенно оптимизировать качество в областях с текстом, так как текст, как правило, характеризуется значительными перепадами в функции интенсивности изображения. Однако, в отличие от Craft, обучение с детектором Canny нацелено на улучшение высокочастотной составляющей в выходном изображении в целом.

а) оригинал б) Маска Craft в) оригинал г) Маска Canny

Рис. 2. Примеры масок

Процедура обучения сети

В данной работе рассматривается только первый этап тренировки HiFiC. В качестве тренировочных данных используется выборка OpenImages[1]. Протокол тренировки (оптимизатор, скорость обучения и т.д.) совпадает с описанным в работе HiFiC, однако для ускорения обучения количество оптимизационных шагов было уменьшено в 5 раз. При расчете функции потерь, пиксели, помеченные единицей в маске, домножаются на весовой коэффициент. Значения коэффициента подбирается динамически для каждого изображения, чтобы учесть несбалансированность числа пикселей в области интереса и вне ее:

1) Вычисление маски для оригинального изображения:
   F(REAL_IMG) = REAL_MASK.
2) Вычисление маски для сгенерированного изображения:
   F(FAKE_IMG) = FAKE_MASK.
3) Вычисление квадрата расстояния между масками:
   MSE'=(REAL_MASK-FAKE_MASK)^2.
4) Вычисление балансирующего коэффициента:
   $$coef = (1 - \frac{\mathrm{sum}(\mathbf{MSE'})}{\mathrm{w} \cdot \mathrm{h}}) / (\frac{\mathrm{sum}(\mathbf{MSE'})}{\mathrm{w} \cdot \mathrm{h}}).$$
5) Вычисление весов: $\mathbf{w} = \begin{cases} coef \cdot \mathbf{MSE'}, \text{где } \mathbf{MSE'}[i,j] = 1 \\ 1, \text{где } \mathrm{Dist}[i,j] = 0 \end{cases}.$
6) Вычисление взвешенного MSE: WMSE=MEAN(MSE∘W).

Таким образом новая функция потерь выглядит следующим образом:

$$d = k_m WMSE + k_p d_p \tag{2}$$

[1] https://storage.googleapis.com/openimages/web/index.html

Ввиду того, что большинство метрик качества оценивают изображение целиком, а область интереса (ОИ) обычно намного меньше самого изображения, известные метрики качества PSNR, SSIM, LPIPS [10] не могут точно оценить прирост качества в областях интереса восстановленного изображения, поэтому для оценки качества восстановленных изображений был использован усредненный квадрат ошибки между маской оригинального и сгенерированного изображений.

Экспериментальные результаты

Для демонстрации работы новой функции потерь были построены графики обучения модели HiFiC. Сравнив графики с новой функцией потерь и без нее (рис. 3), можно сделать следующие выводы.

1. Применение маски Canny, в отличие от маски Craft, позволяет обобщить результаты обучения на выборку, которой не было на этапе обучения.
2. С точки зрения критерия LPIPS разница в качестве изображений не заметна.
3. Применение бинарных масок не улучшает качество изображений на тренировочной выборке.

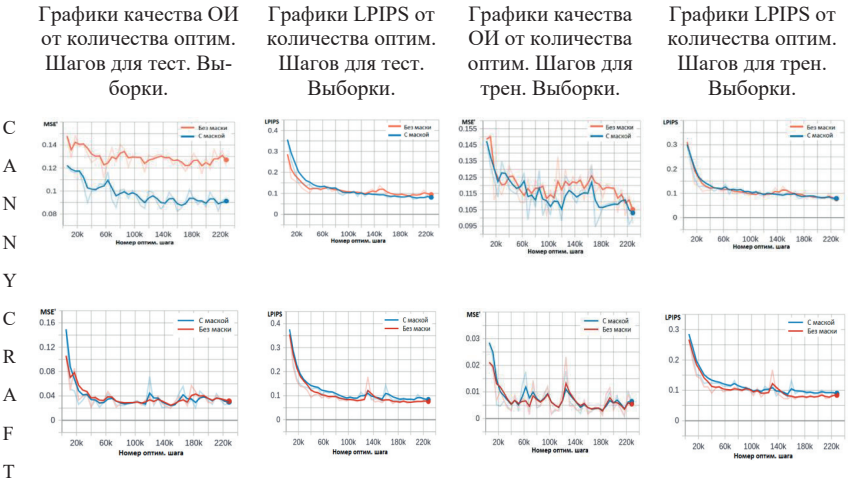
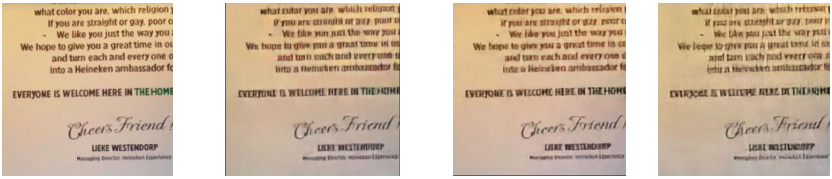


Рис. 3. Значения объективных критериев при обучении нейронной сети

Результаты визуального анализа (рис. 4):

1. Маска Canny обычно положительно влияет на качество букв и цифр на восстанавливаемом изображении.
2. Маска Craft обычно положительно влияет на качество букв и цифр на восстанавливаемом изображении.

3. Результаты восстановления после применения маски Canny визуально не уступают в качестве результатам восстановления после применения маски Craft.



Оригинал С маской Craft С маской Canny Без маски

Рис. 4. Примеры восстановленного изображения

Заключение

Применение семантических масок, действительно, позволяет в областях интереса улучшить качество восстановленных изображений, однако, в результате исследования были выявлены скрытые сложности в применении данных масок. Применение маски Craft косвенно заставляет генератор решать задачу детектирования текста, что значительно усложняет процесс обучения модели HiFiC, поэтому результаты применения данной маски плохо обобщаются на выборку, которой не было во время обучения HiFiC. В свою очередь применение маски Canny косвенно заставляет решать задачу детектирования граней объектов, что в данном случае не является сложной задачей, так как обычно генератор вне зависимости от выбора маски, всегда вынужден решать данную задачу из-за особенностей применения сверточных слоев и активационной функции ReLU, поэтому результаты применения маски Canny хорошо обобщаются на выборку, которой не было во время обучения HiFiC. В качестве направлений дальнейших исследований можно отметить, что интерес представляет модификация архитектуры кодека таким образом, чтобы НС была способна решать задачу выделения семантических масок более сложной природы по сравнению с маской контуров.

Библиографический список

1. Tom H. Karson, Shalabh Chandra, Annitta J. Morehead, William J. Stewart, Steven E. Nissen, James D. Thomas, "JPEG compression of digital echocardiographic images: Impact on image quality", Journal of the American Society of Echocardiography, pages 306-318, 1995.

2. Chui, Charles & Heil, Christopher, "An Introduction to Wavelets", Computers in Physics, 1992.

3. Sathyanarayana, S, "A gentle introduction to backpropagation", Numer. Insight, 2014.

4. Jooyoung Lee, Seunghyun Cho, and Seung-Kwon Beack, "Context-adaptive entropy model for end-to-end optimized image compression", arXiv preprint arXiv:1809.10452, 2018.

5. David Minnen and Saurabh Singh, "Channel-wise autoregressive entropy models for learned image compression", arXiv preprint arXiv:2007.08739, 2020.

6. Johannes Ballé, David Minnen, Saurabh Singh, Sung Jin Hwang, and Nick Johnston. Variational image compression with a scale hyperprior. In International Conference on Learning Representations (ICLR), 2018.

7. Mentzer, Fabian, et al, "Conditional Probavility Models for Deep Image Compression", CVPR, 2018.

8. Fabian Mentzer, George Toderici, Michael Tschannen, and Eirikur Agustsson, "High-Fidelity Generative Image Compression", arXiv preprint arXiv:2006.09965, 2020.

9. Detlev Marpe, Heiko Schwarz, and Thomas Wiegand, "Context-based adaptive binary arithmetic coding in the h. 264/avc video compression standard", IEEE Transactions on circuits and systems for video technology, pages 620-636, 2003.

10. Richard Zhang, Phillip Isola, Alexei A Efros, Eli Shechtman, and Oliver Wang. The unreasonable effectiveness of deep features as a perceptual metric. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pages 586–595, 2018.

11. Karen Simonyan and Andrew Zisserman, "Very deep convolutional networks for large-scale image recognition", arXiv preprint arXiv:1409.1556, 2014.

12. Martin Heusel, Hubert Ramsauer, Thomas Unterthiner, Bernhard Nessler, and Sepp Hochreiter. Gans trained by a two time-scale update rule converge to a local nash equilibrium. In Advances in Neural Information Processing Systems, pages 6626–6637, 2017.

13. Mikołaj Bi´nkowski, Dougal J Sutherland, Michael Arbel, and Arthur Gretton, "Demystifying mmd gans", In International Conference on Learning Representations, 2018.

14. Youngmin Baek, Bado Lee, Dongyoon Han, Sangdoo Yun, Hwalsuk Lee, "Character Region Awareness for Text Detection", preprint arXiv:1904.01941v1 [cs.CV] 3 Apr 2019.

15. J. Canny, "A Computational Approach to Edge Detection," in IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. Vol. PAMI-8. No. 6, pages. 679-698, Nov. 1986.

УДК 621.391

В. В. Егоров*
доктор технических наук, старший научный сотрудник
М. С. Смаль*
кандидат технических наук
М. Л. Маслаков**
кандидат технических наук
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения
**Российский институт мощного радиостроения

СИНТЕЗ АНСАМБЛЯ СИГНАЛОВ ДЛЯ НАДЕЖНОЙ ПЕРЕДАЧИ КОМАНД УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫМИ СИСТЕМАМИ

Рассмотрен подход к синтезу ансамбля сигналов с хорошими авто- и взаимокорреляционными свойствами, которые могут быть использованы для надёжной передачи команд управления. В качестве сигналов использованы многофазные последовательности. Предложено решение, позволяющее построить ансамбль любого размера для любой длины последовательностей.
Ключевые слова: передача команд, ансамбль сигналов, автокорреляция, взаимокорреляция.

V. V. Egorov*
Dr. Sc., Tech., Senior Research Employee
M. S. Smal*
PhD, Tech.
M. L. Maslakov**
PhD, Tech.
* St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
**Russian Institute for Power Radioengineering

COMMAND RADIOSIGNAL ENSEMBLE SYNTHESIS FOR AUTOMATED SYSTEMS

The article describes the approach to synthesizing an ensemble of signals with good auto – and crosscorrelation properties that can be used for reliable control commands transmission. Using the signals based on multiphase sequences is proposed. A solution that allows to construct an ensemble of any size for any length of sequences is proposed.
Keywords: command transmission, signal ensemble, autocorrelation, crosscorrelation.

Надежная работа автоматизированных радиоэлектронных средств (РЭС) обеспечивается обоснованными и проверенными решениями, принятыми в процессе их разработки. Для управления автоматизированными системами используются различные способы. В том случае, если управление осуществляется по радиоканалу, то способу выбора применяемых сигналов уделяется особое внимание. Часто команды управления в виде радиосигналов должны доходить до РЭС в сложной помеховой обстановке и по нестационарному каналу связи с ярко выра-

женной многолучевостью. В зависимости от заданного РЭС имеются ограничения по мощности и длительности таких сигналов.

Одно из возможных решений состоит в том, чтобы для управления РЭС в заданных сложных условиях использовать ансамбль сигналов с некоторыми свойствами. При этом синтез такого ансамбля сигналов является достаточно сложной задачей. Лучшим или оптимальным решением данной задачи следует считать такое решение, которое обеспечивает в заданных условиях минимальную вероятность ошибки или пропуска команды среди всех выбранных вариантов ансамблей сигналов. Также часто применяется байесовский подход, основанный на двух данных вероятностях.

Для решения данной задачи можно использовать подход, основанный на синтезе ансамбля сигналов, обладающих особыми свойствами, состоящими в том, что они одновременно будут не похожи друг на друга и не будут требовать применения синхронизирующих сигналов. Это значит, что такой ансамбль сигналов должен обладать определенными автокорреляционными и взаимокорреляционными свойствами.

В качестве таких сигналов могут быть использованы сигналы, представляющие собой последовательность отрезков гармонического колебания равной длины с различной начальной фазой. Частота этого колебания выбирается такой, чтобы полоса, занимаемая сигналом, не выходила за пределы полосы выделенного канала радиосвязи. Для удобства частота колебания, длительность элементарной посылки и частота дискретизации ЦАП/АЦП должны быть согласованы между собой. Начальная фаза каждого элементарного символа при этом задается заранее каким-либо определенным образом.

Последовательности, на основе которых построены такие сигналы, получили название многофазных последовательностей [1–4]. Для синтеза таких сигналов достаточно осуществить синтез комплексных векторов соответствующей длины с искомыми свойствами.

Запишем комплексный вектор длиной N в следующем виде:

$$\hat{S} = \left\{ e^{i\varphi_k} \right\}, k = 0,...,N-1.$$

Тогда её периодическая автокорреляционная функция (ПАКФ) имеет вид:

$$R = \{r_k\}, R(k) = r_k; k = 0,...,N-1;\ r_k = \left| \sum_{n=0}^{N-1} S_{(n+k)\bmod N} \cdot S_n^* \right|, k = 0,...,N-1,$$

где $(.)\bmod N$ – символ деления по модулю, * – символ комплексного сопряжения.

С другой стороны, используя свойство Фурье-преобразования:

$$R = \left| F^{-1}\left(diag\left(F\left(\hat{S}\right)\right) \cdot \left(F\left(\hat{S}\right)\right)^{*T} \right) \right|,$$

где F(.) – оператор прямого Фурье-преобразования, $F^{-1}(.)$ – оператор обратного Фурье-преобразования, $diag\left(F\left(\hat{S}\right)\right)$ – диагональная матрица, построенная на основе вектора $F\left(\hat{S}\right)$.

В идеальном случае ПАКФ подобна дельта-функции Дирака, то есть равна нулю во всех точках, кроме нулевой, в которой она равна N. Это имеет место тогда, когда амплитудный спектр вектора $\hat{S}$ равномерен. С другой стороны пик-фактор сигнала минимален в случае, когда амплитуды каждого символа равны. Соответственно:

$$\left|F\left(\hat{S}\right)\right| = const, \left|\hat{S}\right| = const.$$

Таким образом, комплексный вектор $\hat{S}$ имеет идеальную ПАКФ и минимальный пик-фактор тогда, когда он представляет собой вектор, состоящий из комплексных экспонент с единичной амплитудой и различными фазами φ_k, и его Фурье-преобразование $F\left(\hat{S}\right)$ также представляет собой вектор, состоящий из комплексных экспонент с единичной амплитудой и различными фазами ψ_k, то есть выполняются условия:

$$\begin{cases} \hat{S} = \left\{e^{i\varphi_k}\right\}, k = 0,...,N-1; \\ F\left(\hat{S}\right) = \left\{e^{i\psi_k}\right\}, k = 0,...,N-1. \end{cases}$$

или

$$F\left(\left\{e^{i\varphi_k}\right\}\right) = \left\{e^{i\psi_k}\right\}, k = 0,...,N-1.$$

Известны [5, 6] некоторые аналитические решения данного уравнения.

При построении ансамбля сигналов кроме ПАКФ необходимо также рассматривать периодическую взаимокорреляционную функцию (ПВКФ). По определению для двух разных комплексных векторов $\hat{S}$ и $\hat{Y}$ длины N их ПВКФ имеет вид:

$$Z = \left\{z_k\right\}, Z\left(k\right) = z_k; k = 0,...,N-1; \; z_k = \left|\sum_{n=0}^{N-1} S_{(n+k)\bmod N} \cdot Y_n^*\right|, k = 0,...,N-1.$$

Идеальная ПВКФ тождественно равна нулю во всех точках. Это выполняется, когда спектры векторов $\hat{S}$ и $\hat{Y}$ не пересекаются. Тогда для построения идеального ансамбля, состоящего из двух векторов с минимальным пик-фактором и с идеальными ПАКФ и ПВКФ должны выполняться условия:

$$\begin{cases} \left|\hat{S}\right| = const; \\ \left|F\left(\hat{S}\right)\right| = const; \\ \left|\hat{Y}\right| = const; \\ \left|F\left(\hat{Y}\right)\right| = const; \\ diag\left(F\left(\hat{S}\right)\right) \cdot \left(F\left(\hat{Y}\right)\right)^{*T} = \left\{0\right\}, \end{cases}$$

где $\{0\}$ – нулевой вектор.

Однако такая система не имеет решений, так как одно условие требует равномерного амплитудного спектра вектора, а другое – чтобы в нём явно присутствовали нули. Аналитические решения, указанные выше, для векторов с идеальной ПАКФ при использовании различных случайных величин ϕ и случайного вектора А дают ПВКФ с большим уровнем боковых лепестков.

Поэтому хорошими для практически являются такие вектора, у которых значения ПВКФ являются минимально возможными, а ПАКФ – почти идеальны. Именно поэтому авторы поставили задачу иначе: найти приближенное решение численными методами для любых длин N и любых размеров ансамбля M. В практическом плане требуется иметь решение настолько близкое к желаемому или идеальному, насколько это возможно. Более строгая постановка задачи для двух векторов имеет следующий вид.

Необходимо найти два различных комплексных вектора $\hat{S}$ и $\hat{Y}$ длины N среди всех возможных комплексных векторов длины N, такие, что их ПАКФ и ПВКФ удовлетворяют следующему условию:

$$\begin{cases} r_k < \varepsilon, \forall k \in [1, N-1]; \\ z_k < \varepsilon, \forall k \in [0, N-1], \end{cases}$$

где параметр ε – минимально возможное достижимое число для любых двух комплексных векторов. Таким образом, ставится задачи минимизации параметра ε.

При рассмотрении ансамбля из M векторов длины N:

$$\hat{S}^{(0)}, \hat{S}^{(1)}, ..., \hat{S}^{(M-1)}$$

удобно ввести матрицу $\overline{S}$ размером M*N:

$$\overline{S} = \begin{pmatrix} \hat{S}^{(0)} \\ \hat{S}^{(1)} \\ ... \\ \hat{S}^{(M-1)} \end{pmatrix}.$$

Задача сводится к нахождению определенной матрицы $\overline{S}$ среди всех возможных комплексных матриц размером M*N. Это значит, что все возможные ПАКФ и ПВКФ удовлетворяют следующему условию:

$$\begin{cases} R\left\{\hat{S}^{(j)}\right\}(k) < \varepsilon, \forall k \in [1, N-1], \forall j \in [0, N-1]; \\ Z\left\{\hat{S}^{(j)}, \hat{S}^{(k)}\right\} < \varepsilon, \forall k \in [0, N-1], \forall j \in [0, N-1], j \neq k; \end{cases}$$

где $R\left\{\hat{S}^{(j)}\right\}(k)$ – k-е значение ПАКФ вектора $\hat{S}^{(j)}$, $Z\left\{\hat{S}^{(j)}, \hat{S}^{(k)}\right\}$ – ПВКФ векторов $\hat{S}^{(j)}$ и $\hat{S}^{(k)}$.

При этом оптимальное решение это такая матрица $\overline{S}$ из всех возможных, при которых достигается минимум параметра ε:

$$\begin{cases} \overline{S} = \arg\left(\min\left(\varepsilon\right)\right), \\ \varepsilon = \max\left(Z\left\{\hat{S}^{(j)}, \hat{S}^{(k)}\right\}, R\left\{\hat{S}^{(k)}\right\}(i)\right), j \in [0; N-1], k \in [0; N-1], j \neq k, i \in [1; N-1]. \end{cases}$$

Основными существенными результатами данного исследования являются значения параметра ε, которые можно получить практически при использовании численных методов решения, в зависимости от любой длины векторов N и объем ансамбля M.

Для решения поставленной задачи поиска ансамбля размером M векторов длины N авторами использовались различные численные методы. Хорошие схожие результаты показали метод наискорейшего спуска, координатного спуска и случайного поиска. Поиск осуществляется до тех пор, пока значение параметра ε не стало ниже некоторого порога (если он задан) или пока количество итераций не превысит заданное число. Так как для использования на практике можно получить ансамбль заранее за достаточно длительное время, то свойства такого ансамбля будут достаточно хорошими. Вычисление в режиме реального времени в этом случае не требуется.

Для примера в табл. 1 приведены результаты вычислительного эксперимента по синтезу ансамблей сигналов длиной 15 символов. В ней представлены результаты для ансамблей, состоящих из 1, 2,… , 16 сигналов. Максимальное значение ПАКФ, равное 15 имеет место только для нулевого значения сдвига. Все остальные значения ПАКФ для всех последовательностей ансамбля, а также все возможные значения соответствующих ПВКФ не превышают значений, указанных в таблице. В вырожденном случае при наличии только одной последовательности в ансамбле ПВКФ отсутствуют и, соответственно, все значения ПАКФ кроме нулевого значения почти равны нулю. На рис. 1 представлены все ПАКФ и ПВКФ для найденного ансамбля, состоящего из 2 сигналов.

Для практического применения полученных результатов в вычислительном эксперименте осуществлялся поиск значений фаз оптимального ансамбля сигналов не на непрерывном интервале [0; 2π], а на дискретном множестве внутри этого интервала в точках 2πk/256, где k – любое целое число. В табл. 2 приведено для примера полученное численное решение в частном вычислительном эксперименте для ансамбля, состоящего из двух сигналов, длиной 15 символов. Для получения значений начальных фаз сигнала указанные целые числа необходимо умножить на множитель 2π/256. На рис. 1 изображены две ПАКФ и одна ПВКФ данных последовательностей. Все значения ПАКФ кроме начального для этих двух последовательностей ансамбля, а также все значения ПВКФ для них не превышают значения 3,18, что меньше, чем $\sqrt{15} \approx 3{,}87$.

Для примера на рис. 2 изображены две ПАКФ и одна ПВКФ для двух известных m-последовательностей длиной 15 символов. На рисунке видно, что максимальные значения ПВКФ равно 7, что существенно увеличивает вероятность ошибочного приема команды.

Таблица 1

Свойства синтезированных ансамблей сигналов длиной 15 символов в результате частного вычислительного эксперимента

Количество сигналов в ансамбле	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Значение максимального отклика ПВКФ или боковых лепестков ПАКФ	0,02	3,18	4,47	5,10	5,90	6,27	6,52	6,65	7,16	7,21	7,26	7.34	7,55	7,65	7,76	7,86

Таблица 2

Синтезированный ансамбль из двух сигналов длиной 15 символов в результате частного вычислительного эксперимента

Номер символа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Числа для 1 сигнала	158	112	99	150	193	41	181	61	190	87	77	241	30	239	63
Числа для 2 сигнала	240	100	156	50	54	139	157	141	203	161	94	170	147	94	32

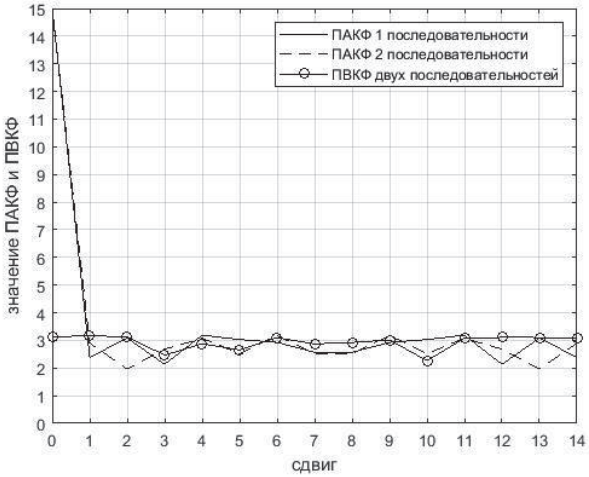


Рис. 1. ПАКФ и ПВКФ для найденных двух последовательностей, длиной 15

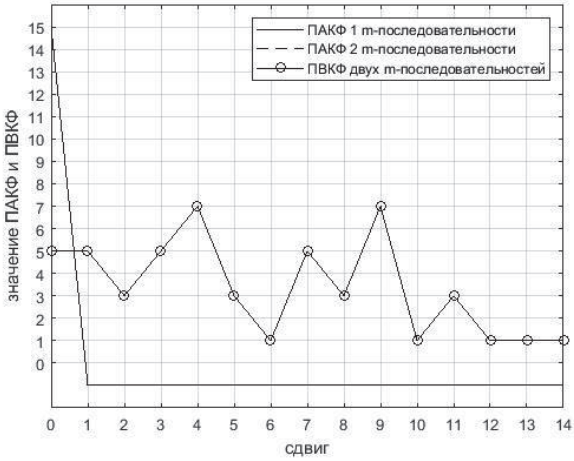


Рис. 2. ПАКФ и ПВКФ для двух известных m-последовательностей, длиной 15

Таким образом, авторами показано решение задачи синтеза ансамбля объемом M векторов длины N, обладающих хорошими авто- и взаимокорреляционными свойствами. Это позволяет использовать синтезированный ансамбль сигналов для установления временной синхронизации или надёжной передачи различных команд управления. При этом, M и N могут принимать значения любых натуральных чисел.

Синтез ансамбля сигналов производится на этапе проектирования системы передачи данных, поэтому, его можно осуществить за достаточно большое время, чтобы численно найти сигналы с лучшими свойствами.

Библиографический список

1. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. М.: Сов. радио, 1985. 384с.

2. Ипатов В. П. Периодические дискретные сигналы с оптимальными корреляционными свойствами. М.: Радио и связь, 1992. 152 с.

3. Гантмахер В. Е., Быстров Н. Е., Чеботарев Д. В. Шумоподобные сигналы. Анализ, синтез, обработка. СПб: Наука и техника, 2005. 400с.

4. Golomb S. W., Gong G. Signal design for good correlation for wireless communication, cryptography, and radar. Cambridge: University press, 2005. 438 p.

5 Дворников В. Д. Многофазные последовательности с идеальными корреляционными свойствами // Доклады БГУИР, 2003. Т. 1. № 1. С. 111–114.

6 Леухин А. Н., Парсаев Н. В.. Общий подход к построению фазокодированных последовательностей с одноуровневой периодической автокорреляционной функцией // Известия Вузов России. Радиоэлектроника, 2009. Вып.6. С. 5–12.

УДК 629.735.33

М. Ю. Егоров*
кандидат технических наук, доцент
К. А. Исанов*
студент
Д. В. Джан*
студент
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения

ПЕРЕДАЧА И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОКАНАЛЬНОЙ НЕЙТРИННОЙ СВЯЗИ

Выполнен анализ использования нейтринной связи в целях улучшения технологии передачи данных. Предложено создание второго канала для передачи данных с использованием квантового эффекта осцилляции. Сделаны расчетные оценки максимумов гребней осцилляционных волн от энергии нейтрино.
Ключевые слова: нейтринная связь, квантовый эффект осцилляции.

M. Yu. Egorov*
PhD, Tech., Associate Professor
K. A. Isanov*
Student
D. V. Dzhan*
Student
*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

TRANSMISSION AND PROCESSING OF INFORMATION USING TWO-STREAM NEUTRINO COMMUNICATION

Analysis of neutrino communication usage for improvement of data transmission technology has been performed. It is proposed to create a second channel for data transmission using quantum oscillation effect. Calculated estimates of maxima of oscillation wave ridges from neutrino energy are made.
Keywords: neutrino communication, quantum effect of oscillation.

Введение

В представленной статье рассмотрена проблема низкой скорости передачи данных нейтринной связи, в силу слабого взаимодействия нейтрино с веществом, вследствие этого проблема детектирования и обнаружения данных частиц. Предложением по улучшению скорости передачи данных является вводом второго канала. Рассмотрение прикладного применения эффекта осцилляции. Разделение нейтрино квантовым эффектом осцилляции на разные сорта, каждый из которых, является носителем информации в своем канале. Рассмотрение требуемых параметров для осуществления двухканальной передачи информации.

Теоретические результаты и обсуждения

Предел скорости передачи информации нейтринной связью на данный момент ограничены чувствительностью детекторов, регистрирующих частицы. Один из возможных векторов развития скорости передачи данных- концепция многоканальной связи. В каждом канале которой, носителем информации является один из трех ароматов нейтрино. Нейтрино участвует только в двух из четырех фундаментальных взаимодействиях: гравитационном и слабом. Исключая влияние гравитационного взаимодействия на макроскопическом уровне, все взаимодействия с фундаментальными и элементарными частицами происходит по средствам слабого взаимодействия, радиус действия которого, ограничивается принципом неопределенности Гейзенберга. Микроскопическое сечение взаимодействия нейтрино пропорционально энергии и изменяется в пределах $\sigma = 10^{-34} - 10^{-43} см^2$, при энергии порядка 1 МэВ пробег в твердой среде составляет 10^{18}м.. Нейтрино в силу своей квантовой природы разделяют на массовые состояния и ароматные. Существуют три аромата нейтрино: электронное, мюонное и тау-нейтрино, соответственно ν_e, ν_μ, ν_τ. Так же разделяют три массовых состояния ν_1, ν_2, ν_3. Квантовая природа нейтрино заключается в следующем, определенное ароматное состояние не имеет определенной массы, а является суперпозицией массовых состояний, соответственно и любому массовому состоянию относят определенный набор ароматных состояний. Ароматные и массовые состояния образуют два несовпадающих базиса. Расположение одного базиса относительного другого определяется тремя углами поворота, которые называются углами смешивания.

Проекции одного базиса на другой, определяют соотношения между состояниями нейтрино.

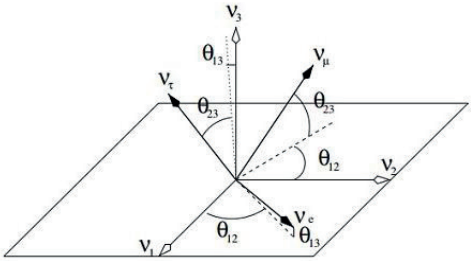


Рис. 1

Так, различают следующие параметры:

$$\sin^2\theta_{12} = 0,3 \qquad \Delta m_{21}^2 = 7,5\times10^{-5}\,эВ^2 \qquad \sin^2\theta_{23} = 0,452$$

$$\Delta m_{32}^2 = 2,457\times10^{-3}\,эВ^2 \qquad \sin^2\theta_{13} = 0,0218$$

Так, в базисе типовых состояний, одному любому из типов нейтрино, соответствует три массовых состояний в различных пропорциях, которые опреде-

ляются углами поворота $\theta_{12}, \theta_{23}, \theta_{13}$. Рожденному нейтрино соответствует определенная энергия и импульс, но соответствующее данному типу нейтрино различные массовые состояния, двигаются в пространстве с одинаковой энергией, импульсом, и, как следствие, с разными скоростями. Данной моделью является нейтринная осцилляция в подходе с плоскими волнами. Массовые состояния представляются в виде когерентных волн. Осцилляция – процесс превращения нейтрино в другой аромат, либо в антинейтрино, процесс осцилляции является цикличным и вероятность обнаружения нейтрино в момент времени t изменяется по синусоиде. Процесс вакуумной осцилляции трех видов описывается матрицей Кобаяши-Маскава:

$$U_i = \begin{pmatrix} C_1 & -S_1 \times C_3 & -S_1 \times S_3 \\ S_1 \times C_2 & C_1 \times C_2 \times C_3 - S_2 \times S_3 & C_1 \times C_2 \times S_3 + S_2 \times C_3 \\ S_1 \times C_2 & C_1 \times S_2 \times C_3 + C_2 \times S_3 & C_1 \times S_2 \times S_3 - C_2 \times C_3 \end{pmatrix},$$

где:

$$C_i = \cos\theta_i \qquad S_i = \sin\theta_i, \qquad i = 1,2,3 \qquad 1 = \theta_{12}, 2 = \theta_{23}, 3 = \theta_{13}$$

Углы θ_{ij} определяют три ортогональных вращения, которые описывают превращение нейтрино одного аромата в другой, а так же переходы массовых состояний. Массовые состояния $\nu_1 = m_1$, $\nu_2 = m_2$, $\nu_3 = m_3$ два из которых, $m_1 \approx m_2$ имеют приблизительно одинаковую малую массу по сравнению с третьим массовым состоянием $m_3 \gg m_2, m_1$, поэтому $\Delta m^2 = \Delta m_{32}^2 = 2{,}457 * 10^{-3}\, эВ^2$, такая модель называется OMSD-приближения (one mass scale dominance) итак, мы определили четыре осцилляционных параметра, а именно:

$$\theta_{12}, \theta_{23}, \theta_{13} \text{ и } \Delta m^2.$$

Соответственно, формулы вероятности обнаружения определенных ароматов в пучке первоначального аромата нейтрино равно:

$$P(\nu_\mu \to \nu_\mu) = 1 - 4\cos^2\theta_{13}\sin^2\theta_{23}(1 - \cos^2\theta_{13}\sin^2\theta_{23}) \times \sin^2\left(\frac{\pi L \Delta m^2}{2{,}48 E_\nu}\right),$$

$$P(\nu_\mu \to \nu_e) = 4\cos^2\theta_{13}\sin^2\theta_{23}\sin^2\theta_{13}\sin^2\left(\frac{\pi L \Delta m^2}{2{,}48 E_\nu}\right),$$

$$P(\nu_\mu \to \nu_\tau) = 4\cos^2\theta_{13}\sin^2\theta_{23}\cos^2\theta_{13}\cos^2\theta_{23}\sin^2\left(\frac{\pi L \Delta m^2}{2{,}48 E_\nu}\right),$$

где $L = ct$ c – скорость света, t – время, E_ν – энергия нейтрино. Так, зная расстояние до приемника L, определяем удовлетворяющую нашим условиям энергию нейтрино E_ν в зависимости от желаемого результата обнаружения или не обнаружения определенного типа нейтрино в пучке.

На рис. 2 представлены результаты расчета осцилляции нейтрино трех типов. По оси абсцисс отложена длина, соответствующая одному осцилляцион-

ному периоду при энергии нейтрино $E_\nu = 9{,}9\,МэВ$. По оси ординат отложена вероятность обнаружения аромата нейтрино в пучке. Как видно из графика, по достижении половины периода осцилляции, первоначальное мюонное нейтрино в пучке стремится к нулю, содержание электронного нейтрино достигает примерно 4 процента, содержание тау-нейтрино в пучке около 95%. При длине детектирования составляющей четверть от осцилляционного периода, концентрация мюонного и тау-нейтрино является равновесной.

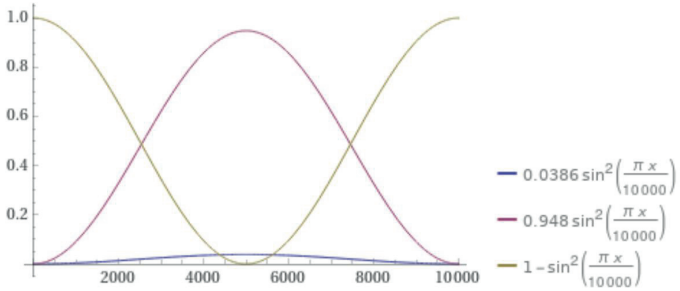


Рис. 2

Максимумы функций $P_{(\nu_\mu \to \nu_e)}$ и $P_{(\nu_\mu \to \nu_\tau)}$ совпадают, но различаются по своему абсолютному значению, концентрация электронного и тау-нейтрино принимают свои максимальные значения в первоначальном пуч, этот факт способствует наилучшей чувствительности регистрации. Передавая информацию на расстояние l, где $L_{e,\tau}$ максимумы функций осцилляции $P_{(\nu_\mu \to \nu_e)}$ и $P_{(\nu_\mu \to \nu_\tau)}$ для электронного и тау-нейтринного канала, подбираем удовлетворяющие условия осцилляционного периода, по значению энергии E_ν, а для создания мюонного канала, длина осцилляции L_μ должна удовлетворять условию $\frac{1}{2}l$, то есть энергия нейтрино E_ν канала L_μ должна быть в два раза больше энергии нейтрино E_ν канала $L_{e,\tau}$. Так, множество решений в силу цикличности функции синуса, удовлетворяющих нашим условиям изображены на рис. 3–5.

Множество решений для $L_{e,\tau}$ каналов отображаются на трехмерном графике, где ось E исчисляется в МэВ, ось L в метрах, а ось P отображает максимумы осцилляций. Длина L подобрана таким образом, что при максимальной длине передачи из одной точки в другую, они являются диаметрально противоположными. Диаметр земли равен 12472 км. Локальные максимумы графика образуют множество удовлетворяющих нас решений, так для одной фиксированной длинной длины передачи имеется множество удовлетворяющих энергий, что отображает цикличность функции. Так же наблюдается асимптотическое значение при увеличении энергии, последний осцилляционный пик для

данной длины, это объясняется тем фактом, что при увеличении энергии увеличивается длина осцилляции и при максимальной длине передачи в $1,2\times10^7$ *м* минимальное соотношение $\frac{L}{E_\nu}$ составляет 400. При дальнейшем увеличении энергии длина осцилляции будет намного больше длины передачи информации и максимумы осцилляционных функций не будут наблюдаться.

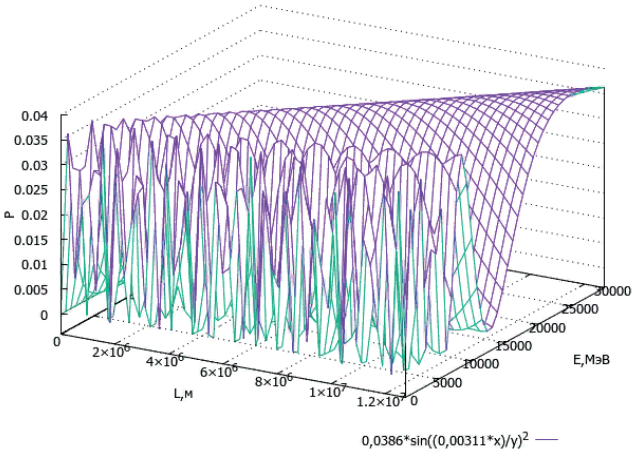


Рис. 3

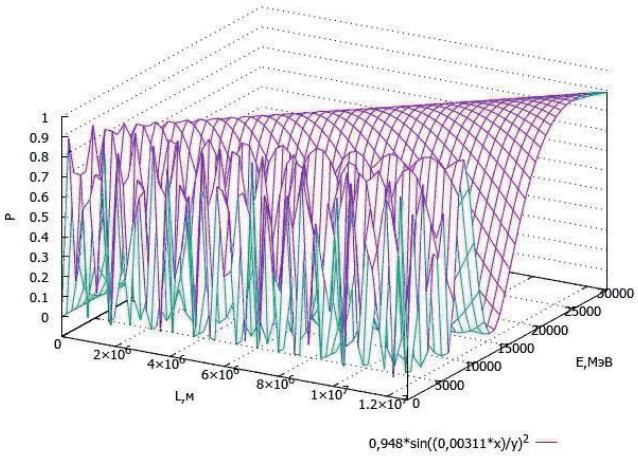


Рис. 4

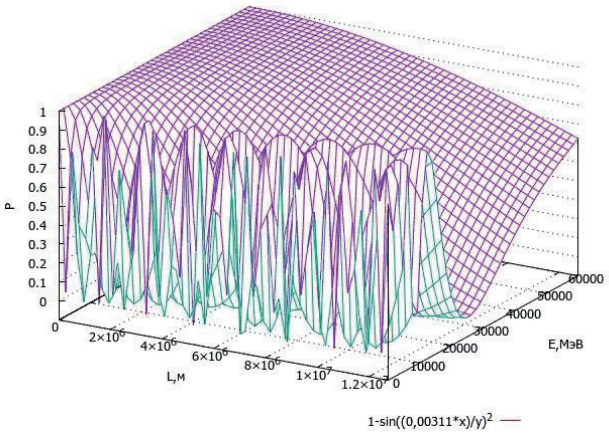


Рис. 5

На рис. 5 изображен график для осцилляций функции $P(\nu_\mu \to \nu_\mu)$, из соображений приведенных выше: энергия нейтрино E_ν канала L_μ должна быть в два раза больше энергии нейтрино E_ν канала $L_{e,\tau}$, но в силу особенности функции $P(\nu_\mu \to \nu_\mu)$ в первоначальном состоянии мюонная состоавляющая пучка является стопроцентной, возрастание функций $P(\nu_\mu \to \nu_e)$, $P(\nu_\mu \to \nu_\tau)$ обусловлено уменьшением функции $P(\nu_\mu \to \nu_\mu)$. Так при достижении асимптотического знания функциями $P(\nu_\mu \to \nu_e)$, $P(\nu_\mu \to \nu_\tau)$ дальнейшее увеличение энергии ведет к невозможности наблюдения осцилляции функций, а функция $P(\nu_\mu \to \nu_\tau)$ при увеличении энергии будет стремиться к осцилляционному максимуму, так как длина осцилляции будет много больше длины передачи и функция не успеет уменьшится до своего минимума.

Библиографический список

1. Куденко Ю.Г. Осцилляции нейтрино: прорыв в новую физику // Специальная астрофизическая обсерватория РАН, 2011.

2. Куденко Ю.Г. Исследование нейтринных осцилляций в ускорительных экспериментах с длинной базой // УФН, 2011, Т. 181, № 6, С. 569–594.

3. Широков Е.В. Физика нейтрино // Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, 2018.

4. В. А. Рябов. Нейтринные осцилляции: на пути к экспериментам с дальними нейтрино // Физика элементарных частиц и атомного ядра. 2003. Т. 34. № 5.

УДК 543.42

С. Н. Елисеев*
доктор технических наук, профессор
Л. Н. Филимонова**
аспирант
*Московский технический университет связи и информатики
**Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики

ОЦЕНКА КАНАЛОВ СТАНДАРТА 802.11Р В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

В данной работе предложено изменение оценки канала в 802.11р на основе «cross-layered» подхода, где известные на приёмной стороне пилот-тоны (ПТ) вставляются на высоком уровне стандарта как пилотные для улучшения оценки канала. Исходной информацией для оценки канала являются оценки этих добавочных ПТ, и для улучшения этой оценки предлагается применить подход самоподавления межканальной переходной помехи (МКП).
Ключевые слова: системы беспроводной связи, быстрые замирания, оценка канала, пилот-тоны, преамбула, межканальная переходная помеха.

S. N. Eliseev*
Dr. Sc., Tech., Professor
L. N. Filimonova**
PhD Student
*Moscow technical university of communications and informatics
**Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics

CHANNEL ESTIMATION OF THE 802.11P STANDARD IN HIGH-SPEED MOBILE COMMUNICATIONS

In this paper, it is proposed the change in the channel estimation in 802.11 p is based on the «cross-layered» approach, where the pilot tones (PT) known on the receiving side are inserted at a high standard level as pilot ones to improve the channel estimation. The initial information for the channel parmeters is the estimates of these additional PT, and to improve this assessment, it is proposed to apply the inter-channel interference (ICI) self-suppression approach.
Keywords: wireless communication systems, fast fading, channel estimation, pilot tones. preamble, inter-channel interference.

Введение

В [1] отмечена проблема модернизации систем беспроводной связи семейства 802.11, в которых основные функции по оценке параметров канала (ОПК) возлагаются на «преамбулы» блочного типа, передаваемые в начале кадра информационных данных, а также на 4 последовательности ПТ комбинационного типа на позициях ±7 и ±21 поднесущих рис.1 [1].

Работа [2] рассматривает стандарт, предназначенный для V2V связи, позволяющий не учитывать вариативность характеристик канала во времени вследствие проявления эффекта Допплеровского рассеивания и селективный характер замираний по частоте. Для устранения проблемы применяются «cross-

layered» методы модификации ОПК, не затрагивающие два нижних уровня протоколов 802.11p [3]. Существует два подхода «cross-layered», в одном из них внутри информационной части длинного кадра включаются один или более OFDM символы (субкадры) [4], за время их передачи изменения в характеристиках канала не приводят к ухудшениям в качествах ОПК. Недостаток – снижение полезной нагрузки. Второй метод предполагает вместо «преамбулы» размещение в кадре ПТ 2D – конфигурации ромбической формы [5].

Постановка задачи

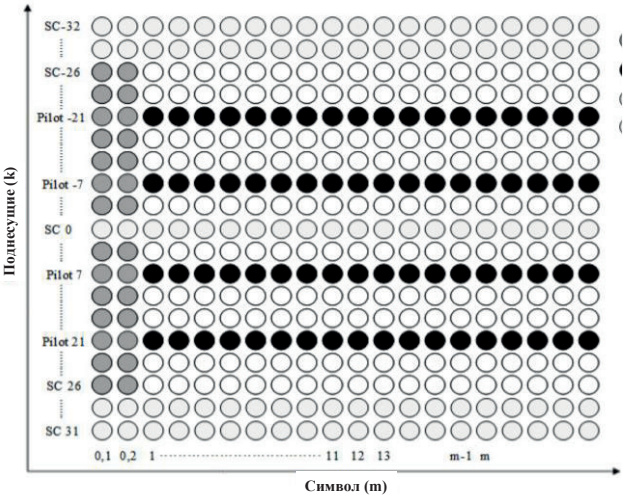


Рис. 1

Рассмотрим среднеквадатическую ошибку (СКО) оценки – σ_e и ее мощность σ_e^2 для получения ОПК:

$$\sigma_{ei}^2 = M\left\{\left\|H_i - \hat{H}_i\right\|\right\}, \tag{1}$$

где M – оператор математического ожидания; H_i – комплексно-значный, в общем случае, i-ый параметр канала; $\hat{H}_i$ – его оценка.

Доступной точкой получения первичной информации в параметрах i-го субканала являются выходы процессора БПФ в схеме приемной части OFDM. LS оценка ПТ, имеет дисперсию ошибки σ_{ep}^2 [4]:

$$\sigma_{ep}^2 = \frac{\sigma_n^2 + \sigma_{isi}^2}{\sigma_p^2}, \tag{2}$$

где σ_n^2 – дисперсия АБГШ в канале; σ_{isi}^2 – дисперсия МКП; σ_p^2 – мощность передаваемого ПТ.

Среди методов уменьшения мощности МКП в OFDM простотой реализации отличается метод самоподавления [7]. Решение проблемы модернизации физического уровня для систем стандарта 802.11p, рассматривается при соблюдении следующих условий: 1) общее число передаваемых символов служебной информации не должно быть увеличено по сравнению с передаваемыми в существующем варианте; 2) суммарная мощность передаваемых ПТ также не должна увеличиваться. В противном случае, без дискретизации по времени OFDM сигнал имеет вид:

$$S(t)=\sum_{k=1}^{N} S_k e^{j2\pi f_k t}, \quad 0\le t\le T, \tag{3}$$

где $f_k = f_0 + k\Delta f = f_0 + \frac{k}{T}$; $S_k = \sqrt{2E_S d_m}$, $d_m = d_{mr} + jd_{mj}$; S_k – передаваемый на k-ой поднесущей сигнал; d_m – символ передаваемых данных с дисперсией $D(d_m)=1$.

Полагаем канал стационарным в широком смысле с некоррелированными рассеивателями на интервале локальной стационарности и факторизуемой двумерной корреляционной функцией:

$$R(\tau, f) = R_1(\tau)\cdot R_2(k-l), \tag{4}$$

где $R_1(\tau)$ – корреляционная функция во времени; $R_2(k-l)$ – корреляционная функция по частоте между поднесущими k-й и l-й.

Импульсная характеристика (ИХ) субканала k-й поднесущей:

$$h_k(t,\tau) = \beta_k(t)\delta(\tau), \tag{5}$$

где $\delta(\tau)$ – дельта функция.

Для $k=1,...N$ $\beta_k(t)$ обладает идентичными статистическими характеристиками гауссова вида с нулевым средним и комплексными значениями. Принимаемый сигнал OFDM имеет вид:

$$y(t)=\sum_{k=1}^{N}\beta_k(t)S(t), \tag{6}$$

и сигнал на выходе m-го субканала с учетом (3), (6):

$$Y_m = \frac{1}{T}\sum_{k=1}^{N}\left\{\int_0^T \beta_k(t)e^{-j2\pi(f_m-f_k)t}dt\right\}\cdot S_k = g_0 S_m + \sum_{\substack{k=1\\ k\ne m}}^{N} g_{m-k}S_k; \tag{7}$$

где

$$g_l \triangleq \frac{1}{T}\int_0^T \beta_k(t) e^{-j2\pi l \Delta f t} \alpha t, \tag{8}$$

$g_l = |g_0| e^{i\varphi_0}, l = 0$ – коэффициент передачи субканала для полезного сигнала; $|g_l| e^{i\varphi_l}, l \neq 0$ – комплексный коэффициент взаимного влияния субканалов.

Учитывая возможность представления $\beta_k(t)$ рядом Тейлора введем Bello:

$$\beta_k(t) = \beta_0(t_0) + \beta_k'(t_0)(t - t_0), \tag{9}$$

Согласно (7) и (9), получим:

$$Y_m^n = \frac{Y_m}{\sqrt{E_S}} = \beta_m(t_0) d_m + \sum_{\substack{n=1 \\ k \neq m}}^{N} \frac{\beta_k'(t_0)}{j2\pi(f_k - f_m)} \cdot d_k.$$

Для спектральной мощности Джейкса МКП определим среднюю мощность:

$$\sigma_{isi}^2 = \frac{1}{2}\left(\frac{f_d}{\Delta f}\right)^2 \left(\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq m}}^{N} \frac{1}{(k-m)^2}\right), \tag{10}$$

Средняя МКП, наводимая в m-ый субканал от k-го субканала:

$$\sigma_{k-m}^2 = \frac{1}{2}\left(\frac{f_d}{\Delta f}\right)^2 \frac{1}{(k-m)^2}, \tag{11}$$

Соотношения (10) и (11) позволяют применить метод самоподавления МКП при этом, в (10) вводится $d_{m-1} = d_{m+1} = 0$, что позволяет обеспечить снижение мощности МКП, σ_{isi}^2 после вычитания из (11) $k = m-1, m+1$ становится равной:

$$\sigma_{isi}^2 = \frac{1}{2}\left(\frac{f_d}{\Delta f}\right)^2 \left(\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq m}}^{N} \frac{1}{(k-m)^2} - 2\right). \tag{12}$$

Общее число ПТ в передаваемом кадре уменьшается втрое, следовательно, амплитуду m-го ПТ S_{pm} можно увеличить в 3 раза, Таким образом, дисперсия ошибки в (2) равна:

$$\sigma_{epo}^2 = \frac{\sigma_n^2 + \sigma_{0isi}^2}{2^2\sigma_p^2} = \frac{\sigma_n^2}{\sigma_p^2}\frac{\left(1+\frac{\sigma_{0isi}^2}{\sigma_n^2}\right)}{4} = \frac{1}{SNR_1}K_b.$$

Оценку ОПК на позициях информационных символов кадра получают методом интерполяции на позициях ПТ, являющихсяся, наиболее эффективными:

$$\hat{H}_{dm} = \sum_{i\in P_m}\theta_{im}\hat{H}_{p,i}, \quad i = 1,2,3, \tag{14}$$

где $\hat{H}_{dm}$ – оценка m-го данных; $\hat{H}_{p,i}$ – оценка i-го символа ПТ; θ_{im} – весовой коэффициент интерполяции m-го символа данных по оценке i-го символа ПТ, принадлежащего P_m – триадегеометрически ближайших ПТ к оцениваемому символу.

Алгоритм определения θ_{im} описан в [5], где $\theta_{1m} = 1 - a - b$, $\theta_{2m} = a, \theta_{3m} = b$, a и b – скаляры, показывающие изменение расстояния по частотной и временной оси. В данной работе весь кадр 802.11p для оценки ОПК разбивается на фрагменты, имеющее размерность $K_1 \times K_2$. В [7] для σ_e^2 отмечено, что

$$\sigma_e^2 = C_e\sigma_{pe}^2 + \alpha, \tag{15}$$

Постоянная $\alpha \geq 0$, зависит от θ_{im}. $R(\tau)\cdot R(q)$ характеризует дисперсию интерполяционной ошибки, ее величина зависит только от конфигурации ПТ в блоке [6]:

$$C_l = \frac{1}{K_1K_2}\sum_{m=1}^{K_1K_2}\sum_{l\in P_m}\theta_{im}{}^2 \geq 0. \tag{16}$$

В случае двойной селективности канала конфигурация ПТ в пределах блока принимает вид правильного созвездия. Важнейшими параметрами блока выступают размеры: K_1 – во временной области равен числу OFDM символов $t_б = K_1(T + T_{ср})$,где $t_б$ – длительность блока во времени, $T_{ср}$ – длительность циклического префикса; K_2 – в частотной области равен числу субканалов $\Delta f_б = K_2 \cdot \Delta f = K_2/T$, где $\Delta f_б$ – полоса частот блока. Медленные замирания во времени $\beta_k(t)$ с течением времени накапливаются и оценки, сделанные после текущего блока устаревают, поэтому логично мерой K_1 изберем $R(\tau) = R(t_б) \approx 1/\sqrt{2}$. Селективность канала по частоте определяется величиной $\Delta f_{ког}$, которая в свою очередь может быть оценена из $\Delta f_{ког} = \gamma/T_{ср}$, где

$\gamma \approx 1{,}5 \div 2$. Поскольку в 802.11p $T_{cp} = \frac{1}{4} \cdot T$, то в качестве оценки примем $\Delta f_{ког} = (6 \div 8)\Delta f$.

Для получения достоверной информации расстановка ПТ в блоке требуется, чтобы в «триаде» сектора оценок ОПК, расстояние в частотной сетке между ближайшими двумя ПТ не превышало $(0{,}5 \div 0{,}7)\Delta f_{ког}$. Оценка m-го информационного символа в конкретном секторе блока, согласно (15) имеет среднюю мощность:

$$\sigma_{\alpha m} = \overline{\hat{H}_{\alpha m}\hat{H}_{\alpha m}^{*}} = \sigma_{pm}^{2}\left(\theta_{1m}^{2} + \theta_{2m}^{2} + \theta_{3m}^{2}\right) +$$
$$+2\left\{\theta_{1m}\theta_{2m} \cdot \mathrm{Re}\left(R_{12}\right) + \theta_{1m}\theta_{3m} \cdot \mathrm{Re}\left(R_{13}\right) + \theta_{2m}\theta_{3m} \cdot \mathrm{Re}\left(R_{23}\right)\right\},$$

где R_{ij} – корреляционная функция между i и j ПТ; $\sigma_{pm}^{2} = \sigma_{p}^{2}$ – мощность ПТ в схеме с «обнулением».

$$\sigma_{\alpha m}^{2} = \overline{\hat{H}_{\alpha m}\hat{H}_{\alpha m}^{*}} = \left\|\overline{\theta_{1m}\left(H_{p1} - e_{p1}\right) + \theta_{2m}(H_{p2} - e_{p2})x^{2} + \theta_{3m}\left(H_{p3} - e_{p3}\right)}\right\| =$$
$$= \left\|\overline{\left(\theta_{1m}H_{p1} + \theta_{2m}H_{p2} + \theta_{3m}H_{p3}\right)} - \left(\overline{\theta_{1m}e_{p1} + \theta_{2m}}e_{p2} + \theta_{3m}e_{p3}\right)\right\| \times$$
$$\times\left[\left(\theta_{1}H_{1} + \theta_{2}H_{2}\right) + \theta_{3}H_{3}\right] \cdot \left[\theta_{1}H_{1}^{*} + \theta_{2}H_{2}^{*} + \theta_{3}H_{3}^{*}\right] + \sigma_{e0}^{2}\left(\theta_{1}^{2} + \theta_{2}^{2} + \theta_{3}^{2}\right) =$$
$$= \theta_{1}^{2}\left(H_{1}H_{1}^{*}\right) + \theta_{2}^{2}\left(H_{2}H_{2}^{*}\right) + \theta_{3}^{2}\left(H_{3}H_{3}^{*}\right) = 4\sigma_{p}^{2}\left(\theta_{1}^{2} + \theta_{2}^{2} + \theta_{3}^{2}\right) + 2$$
$$\left[\theta_{1}\theta_{2}\,\mathrm{Re}\left(R_{12}\right) + \theta_{2}\theta_{3}\,\mathrm{Re}\left(R_{23}\right) + \theta_{1}\theta_{3}\,\mathrm{Re}\left(R_{13}\right)\right] + C_{em}\sigma_{\theta pici}^{2} =$$
$$= q_{m}' + C_{em}^{2}\sigma_{\theta pici}^{2}. \qquad (17)$$

Дисперсия ошибки оценивания m-го информационного символа после усреднения по K_1K_2 позициям информационных символов получаем (16) слудеющего вида:

$$d = \frac{4}{K_1K_2}\sum_{m=1}^{K_1K_2}\left[1 - 2\sum_{i=1}^{3}\theta_{mi}\,\mathrm{Re}\left(R_{m,i}\right) + \sum_{i=1}^{3}\sum_{i'=1}^{3}\theta_{mi}\theta_{mi'}\,\mathrm{Re}\left(R_{i,i}\right)\right] \geq 0. \qquad (18)$$

Для иллюстрации рассмотрим пример (рис.2). В блоке размещено 5 ПТ. Для оценки символа данных D получаем: $\theta_{1m} = 0{,}8; \theta_{2m} = 0{,}266; \theta_{3m} = -0{,}0667$, что дает в (17) $C_{em} = 0{,}7155$, что означает уменьшение шумовой составляющей в СКО информационных символов. Составляющая интерполяционной отмеки для D выражения одним слагаемым в (18) (квадратичная форма), в силу своей положительной определенности $d_m \geq 0$ формирует несократимую СКО оценки в отношении роста сигнал/шум.

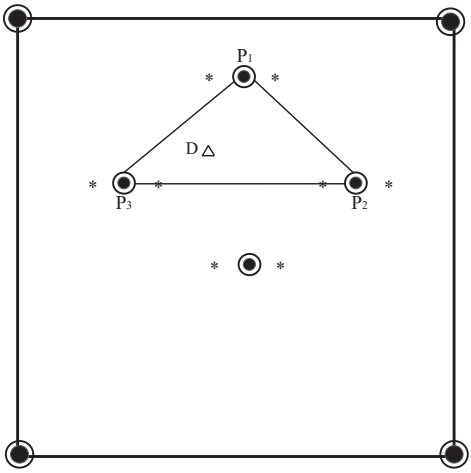


Рис. 2. Конфигурация ПТ в блоке при $K_1 = K_2 = 15$*:*
Δ *– Оцениваемый символ данных;* * *– нуль поднесущие*

Библиографический список

1. Abdergader A. M. S., Wu L. The Physical Layer of the IEEE 802.11p WAVE Communication Standard: The Specificftions and Challenges // Proceedings of the WCEAS. 2014. V.2. P.691 698.

2. Елисеев С. Н., Трифонова Л. Н. Модификация оценки каналов в сетях стандарта 802.11p // Инфокоммуникационные технологии. 2019. Т.17. №2. С.202-206.

3. Simko M. Pilot Pattern Optimization for Doubly-Selective MIMO OFDM Transmissions. Tech.Universitet of Wien, 2013. 143 p.

4. Zhao Y., Haggman S. Intercarrier Interference Self-Cansellation Scheme for OFDM Mobile Communication Systems // IEEE Trans. On Communications. 2001. V.49. №7. P.1185–1191.

5. Wang T., Proacis J., Zeidler R. Performance Degradation of OFDM Systems Due to Doppler Spreading // IEEE Trans. On Wireless Communications. 2006. V.5. №6. P. 1422–1430.

6. Елисеев С.Н. Оценка величины мощности межканальной помехи OFDM сигнала в канале с быстрыми замираниями // Телекоммуникации и транспорт. 2017. Т. 11. № 4. С. 59–64.

УДК 004.056.5

В. Г. Ерышов*
кандидат технических наук, доцент
Д. В. Ильина*
старший преподаватель
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЕЙСТВИЙ НАРУШИТЕЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ ПО НЕГЛАСНОМУ ДОБЫВАНИЮ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ, ОБРАБАТЫВАЕМОЙ НА ЗАЩИЩАЕМОМ ОБЪЕКТЕ

В статье рассказывается аналитическая модель действий нарушителя безопасности информации по негласному добыванию конфиденциальной информации, обрабатываемой на защищаемом объекте в терминах теории Марковских случайных процессов. Данная модель может быть использована при построении модели угроз безопасности информации.
Ключевые слова: модель, информационная безопасность, специальные технические средства, конфиденциальная информация, Марковский случайный процесс.

V. G. Eryshov*
PhD, Tech., Associate Professor
D. V. Ilina*
Senior Lecturer
*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

ANALYTICAL MODEL OF ACTIONS OF THE INFORMATION SECURITY VIOLATOR ON COVERT EXTRACTION OF CONFIDENTIAL INFORMATION PROCESSED ON THE PROTECTED OBJECT

The article describes an analytical model of the actions of an information security violator for the secret extraction of confidential information processed on the protected object in terms of the theory of Markov random processes. This model can be used to build a model of information security threats.
Keywords: model, information security, special technical means, confidential information, Markov random process.

Для оценки эффективности действий нарушителя безопасности информации (БИ) по негласному добыванию конфиденциальной информации, обрабатываемой на защищаемом объекте организации, предприятия (защищаемом кабинете, переговорной, объекте информатизации – ОИ) необходимы исследования, в том числе и в теоретическом аспекте. Исследования заключаются в наблюдении свойств процесса негласного добывания информации нарушителем БИ и выполнении действий с целью выявления и оценки важных, с точки зрения исследователя, закономерных отношений между показателями данных свойств. Одним из наиболее эффективных методов исследований является моделирование. Оно заключается в построении и изучении объектов (моделей),

свойства которых подобны наиболее важным, с точки зрения исследователя, свойствам исследуемых процессов (оригиналов).

В связи с этим необходимо разработать модель негласного добывания нарушителем информации, обрабатываемой на ОИ для выявления вероятностно-временных зависимостей его событий и состояний.

Модель – это формализованное описание любого процесса (информационного, управленческого, организационного и др.), структура которого определяется его объективными свойствами и субъективным целевым характером исследования.

Модель негласного добывания нарушителем информации, обрабатываемой на ОИ – это формализованное, математическое описание процесса негласного добывания нарушителем конфиденциальных сведений, обрабатываемых на ОИ и вероятностно-временных зависимостей его элементов.

В соответствии с общепризнанной классификацией модели могут быть: статическими или динамическими, соответственно отражающими состояние реального объекта в статике или динамике; детерминистскими – обусловленными соответствующими причинами; стохастическими – обусловленными вероятными, случайными процессами; дискретными – составленными из раздельных, прерывающихся частей, и непрерывными; натурными и аналоговыми; символическими – условными [1].

Для исследования сложных систем и процессов, создать адекватную физическую модель не представляется возможным. Вследствие этого ограничиваются созданием и исследованием математических описаний закономерных отношений между значениями параметров оригиналов. Такие описания называются математическими моделями [2].

Математические модели – отражают зависимости между входами и выходами реальной системы (процесса) в виде некоторых математических соотношений. В тех случаях, когда задача может быть математически строго записана и разрешима, математическая модель – наиболее мощное из существующих средств анализа и синтеза любой системы. Математические модели могут быть детерминированными, вероятностными, сетевыми, игровыми и др. [1].

Для оценки эффективности действий нарушителя безопасности информации (БИ) по негласному добыванию конфиденциальной информации, обрабатываемой на защищаемом объекте, и выявления вероятностно-временных зависимостей событий и состояний его действий могут быть использованы вероятностные математические модели, описываемые в терминологии теории марковских случайных процессов.

Марковский процесс – случайный процесс, протекающий в системе, если для любого момента времени вероятностные характеристики процесса в будущем зависят только от его состояния в данный момент и не зависят от того, когда и как система пришла в это состояние [3].

Процесс негласного добывания нарушителем БИ конфиденциальных сведений, обрабатываемых на ОИ, можно представить ориентированным графом состояний и описать в терминах теории марковских случайных процессов с дискретными состояниями и непрерывным временем (рис. 1). Под таким про-

цессом будем понимать процесс, у которого в любой момент времени t множество его состояний S – счетно и конечно, а переходы из одного состояния в другое происходят в любой момент времени t наблюдаемого периода [2, 3].

В разрабатываемой модели при описании исследуемого процесса предполагается, что переходы из состояния в состояние происходят под воздействием пуассоновских потоков событий.

Исходными данными для модели негласного добывания нарушителем БИ конфиденциальных сведений, обрабатываемых на ОИ, являются потоки событий, приведенные в табл. 1, данные, полученные на основе экспертных оценок и материалов [4–6].

Таблица 1

Описание состояний процесса негласного добывания нарушителем конфиденциальных сведений, обрабатываемых на ОИ

№ п/п	Поток	Наименование
1.	λ_{12}	Поток событий на сбор информации агентом о ОИ
2.	λ_{13}	Поток событий на сбор информации агентом о ОИ
3.	λ_{24}	Поток событий на функционирование ТСОИ на ОИ
4.	λ_{25}	Поток событий на существование естественных ТКУИ на ОИ
5.	λ_{32}	Поток событий на нефункционирование ТСОИ на ОИ
6.	λ_{48}	Поток событий на существование естественных ТКУИ
7.	λ_{54}	Поток событий на несуществование естественных ТКУИ
8.	λ_{56}	Поток событий на несуществование естественных ТКУИ
9.	λ_{57}	Поток событий на несуществование естественных ТКУИ на ОИ
10.	λ_{68}	Поток событий на установку специального технического средства (СТС) негласного добывания информации на ОИ
11.	λ_{76}	Поток событий на не установку СТС на ОИ
12.	λ_{81}	Поток событий на сбор и обработку разведданных с ОИ

Для получения вероятностных и временных характеристик процесса негласного добывания нарушителем БИ конфиденциальных сведений, обрабатываемых на ОИ, для графа состояний в модели была составлена и решена система обыкновенных дифференциальных уравнений Колмогорова. При этом был рассмотрен частный случай, когда интенсивности событий не зависят от времени: $\lambda_i(t) = \lambda_i = \text{const}$ (марковский процесс является однородным) [2, 3].

Переходы из состояния в состояние в процессе негласного добывания нарушителем конфиденциальных сведений, обрабатываемых на ОИ, происходят под воздействием кусочно-стационарных пуассоновских потоков событий [2]. При этом можно выделить сравнительно короткие временные интервалы времени, внутри которых поток считается приблизительно стационарным

$\lambda_i(t) = \lambda_i = \text{const}$ при $t_н < t_с \le t_н + \Delta t_с$, где $t_н$ – начало, а $\Delta t_с$ – длительность интервала квазистационарности (марковский процесс при этом является однородным) [2].

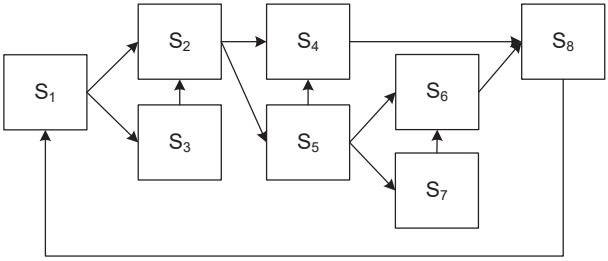


Рис. 1. Ориентированный граф состояний процесса негласного добывания нарушителем конфиденциальных сведений, обрабатываемых на ОИ

Описание состояний процесса негласного добывания нарушителем БИ конфиденциальных сведений, обрабатываемых на ОИ представлены в табл. 2.

Таблица 2

Описание состояний процесса негласного добывания нарушителем конфиденциальных сведений, обрабатываемых на ОИ

№ состояния	Описание состояния
S_1	Сбор информации о ОИ нарушителем БИ
S_2	ТСОИ функционируют на ОИ
S_3	ТСОИ не функционируют на ОИ
S_4	Есть перехват информации по ТКУИ на ОИ
S_5	Нет перехвата информации по ТКУИ на ОИ
S_6	СТС установлено на ОИ
S_7	СТС не установлено на ОИ
S_8	Сбор и обработка разведданных нарушителем БИ

Таблица состояний процесса негласного добывания нарушителем БИ конфиденциальных сведений, обрабатываемых на ОИ, описывает все его этапы. Каждая операция в модели характеризует материальное действие, требующее использования ресурсов, или логическое, требующее лишь взаимосвязи событий.

Для построенного графа, представленного на рис. 2, была составлена система обыкновенных дифференциальных уравнений Колмогорова (1):

$$\frac{d}{dt}P1(t) = P8(t)\cdot\lambda 81 - P1(t)\cdot(\lambda 12 + \lambda 13)$$

$$
\begin{aligned}
&\frac{d}{dt}P2(t) = P1(t)\cdot\lambda 12 + P3(t)\cdot\lambda 32 - P2(t)\cdot(\lambda 24 + \lambda 25)\\
&\frac{d}{dt}P3(t) = P1(t)\cdot\lambda 13 - P3(t)\cdot\lambda 32\\
&\frac{d}{dt}P4(t) = P2(t)\cdot\lambda 24 - P5(t)\cdot\lambda 48\\
&\frac{d}{dt}P5(t) = P2(t)\cdot\lambda 25 - P5(t)\cdot(\lambda 56 + \lambda 57)\\
&\frac{d}{dt}P6(t) = P5(t)\cdot\lambda 56 + P7(t)\cdot\lambda 76 - P6(t)\cdot\lambda 68\\
&\frac{d}{dt}P7(t) = P5(t)\cdot\lambda 57 - P7(t)\cdot\lambda 76\\
&\frac{d}{dt}P8(t) = P4(t)\cdot\lambda 48 + P6(t)\cdot\lambda 68 - P8(t)\lambda 81
\end{aligned}
\qquad .(1)
$$

Для решения системы дифференциальных уравнений использовался пакет математического программирования «Mathcad 2014». Адекватность разработанной модели подтверждается непротиворечивостью результатов известным, полученным из практических исследований.

Зависимости вероятностей нахождения нарушителя БИ в состояниях процесса негласного добывания конфиденциальной информации, обрабатываемой на защищаемом объекте от времени представлены на рис. 2.

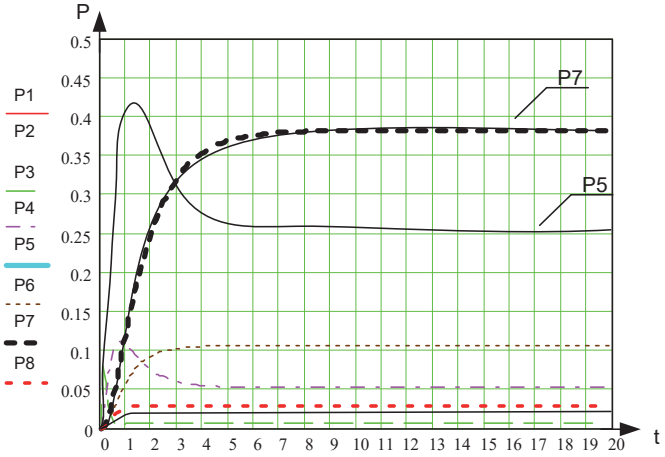


Рис. 2. Зависимости вероятностей нахождения в состояниях процесса негласного добывания нарушителем конфиденциальных сведений, обрабатываемых на ОИ от времени

В результате моделирования, представленном на рис. 2 видно, что в рас-

смотренном примере наибольшая вероятность: P_7=0,39, это означает, что при исходных данных, использованных в расчете, нарушитель БИ не сможет установить на ОИ СТС из-за предпринятых мер безопасности на защищаемом объекте.

Таким образом, разработанная модель позволила получить вероятностные и временные зависимости и характеристики, описывающие все состояния исследованного процесса, а также определить возможности нарушителя по негласному добыванию конфиденциальной информации, обрабатываемой на защищаемом объекте. Выходные данные модели являются исходными данными для методик оценки своевременности и достоверности контроля защищенности информации от ее утечки по техническим каналам на защищаемом объекте, а также для оценки эффективности систем безопасности защищаемого объекта.

Библиографический список

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. Изд. 3-е, испр. М.: Наука, 1964. 576 с.

2. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. М.: Наука, Гл. ред. Физ.-мат. Лит., 1991. 384 с.

3. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. 2-е изд., стер. М.: Наука, Гл. ред. Физ.-мат. лит., 1988. 208 с.

4. Хорев А. А. Защита информации от утечки по техническим каналам. Часть 1. Технические каналы утечки информации: учеб. пособие. М.: Гостехкомиссия России, 1998. 320 с.

5. Болдырев А.И., Василевский И.В., Сталенков С.Е. Методические рекомендации по поиску и нейтрализации средств негласного съема информации. Практическое пособие. М.: НПЦ «НЕЛК». 2001, 138с.

6. Ярочкин В.И. Технические каналы утечки информации. М: ИППКИР, 1994. 102 с.

УДК 004.056.53

В. Г. Ерышов*
кандидат технических наук, доцент
Д. В. Ильина*
старший преподаватель
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения

МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ

В статье рассматривается модель комплексной системы защиты информационной системы организации от внешних и внутренних угроз. Данная модель может быть использована для оценки эффективности существующих, а также вновь создаваемых систем комплексной защиты информационных систем.
Ключевые слова: модель, информационная безопасность, система защиты, компьютерные атаки, нарушения безопасности информации, конфиденциальная информация.

V. G. Eryshov*
PhD, Tech., Associate Professor
D. V. Ilina*
Senior Lecturer
*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

MODEL OF THE INTEGRATED SYSTEM OF PROTECTION OF INFORMATION SYSTEMS OF THE ORGANIZATION

The article considers a model of a complex system for protecting an organization's information system from external and internal threats. This model can be used to evaluate the effectiveness of existing, as well as newly created systems of integrated protection of information systems.
Keywords: model, information security, security system, computer attacks, information security breaches, confidential information.

В современных условиях развития информационных систем (ИС), внедрения новейших информационных технологий, цифровизации бизнес-процессов, в организациях возросла актуальность обеспечения информационной безопасности (ИБ), в частности, защиты информации (ЗИ) от компьютерных атак (КА), осуществляемых как иностранными государствами, так и организациями – конкурентами, ведущими промышленный шпионаж.

Компьютерные атаки происходят после проведения предварительной компьютерной разведки (КР), которая направлена на добывание разведывательной информации в ИС, а также активные действия, направленные на получение несанкционированного доступа (НСД), осуществление несанкционированных воздействий (НСВ) на защищаемую информацию, нарушение функционирования ИС [1].

В связи с этим защита от КА является составной частью общего процесса: защиты от КР и обеспечения информационной безопасности ИС.

Конкуренты, представители системы КР, нарушители ИБ, для достижения своих целей используют различные современные средства и системы для получения НСД к конфиденциальной информации (КИ), обрабатываемой в ИС организаций, а также НСВ как на КИ, так и на ИС.

В связи с этим для служб информационной безопасности любого предприятия актуальной становится задача обеспечения защиты от КА и КР в целом. Также при рассмотрении вопросов ЗИ необходимо учитывать непреднамеренные воздействия (НПВ), возникающие в ИС из-за технических отказов средств защиты информации и ошибок пользователей.

Для обеспечения требований по комплексной защите ИС организации, а также для построения адекватной существующим угрозам ИБ системы ЗИ (СЗИ) ИС организации одной из важнейших задач является задача исследования процесса защиты от КА ИС, функционирующих на защищаемых объектах организаций.

В целях исследования эффективности процесса ЗИ от КА и разработки требований к СЗИ, актуальной является задача моделирования данного процесса с целью определения вероятностно-временных характеристик, зависимостей, показателей, происходящих в них событий и состояний.

В связи с этим необходимо разработать имитационную модель, которая позволит в результате моделирования получить характеристики и зависимости процессов, происходящих в системе КР и СЗИ от нее.

Обобщенная модель процесса ЗИ от КР включает:

1) систему компьютерной разведки (атак) и подсистемы, реализующие добывание, сбор, анализ, управления и принятия решений, осуществления НСД, КА;

2) систему ЗИ и ее подсистемы: сбора и обработки информации; анализа и управления, защиты информации;

3) защищаемые объекты, такие как: ИС, автоматизированные системы (АС). В современных организациях могут функционировать: АС, ИС объектов организаций, а также автоматизированные системы управления (АСУ).

Защищаемый объект может включать в себя следующие основные элементы: различное коммутационное оборудование; сегмент, состоящий из внешних серверов; сегмент, состоящий из внутренних серверов и сегмент ИС, состоящий из автоматизированных рабочих мест (АРМ).

Система ЗИ ИС должна включать в себя следующие основные подсистемы: систему криптографической защиты (СКЗИ), систему обнаружения вторжений (СОВ), межсетевой экран (МЭ), систему антивирусной защиты (САВЗ), систему анализа защищенности (САЗ), систему защиты от утечки КИ (DLP), СЗИ от НСД, систему управления ИБ (СУИБ, SIEM), АРМ (сервер) администратора безопасности информации, который осуществляет управление процессом ЗИ и ряд других вспомогательных систем (резервирования и т.д.).

Первостепенная задача КР состоит в том, чтобы методом пассивного и активного сканирования IP адресов элементов ИС, перехвата, обработки и анализа сетевого трафика выявить структуру ИС и ее технические параметры,

вскрыть ее, после чего принять решение на осуществление того или иного вида действия, в том числе посредством КА.

Основными задачами комплексной СЗИ ИС являются своевременное и достоверное обнаружение и устранение уязвимостей, угроз ИБ, обнаружение и предотвращение нарушений безопасности информации – НБИ (НСД, НСВ, КА), расследование инцидентов ИБ и минимизация последствий от реализации КА.

Одной из известных систем, предназначенных для создания имитационных моделей, является система имитационного моделирования «AnyLogic», как одна из эффективных систем, позволяющих моделировать процессы в ИС. В связи с этим и был выбран данный инструмент для построения исследуемой модели и процесса.

Исходными данными для имитации: действий КР, нарушителя ИБ, процесса защиты объекта являются:

количество: органов разведки (нарушителей ИБ);

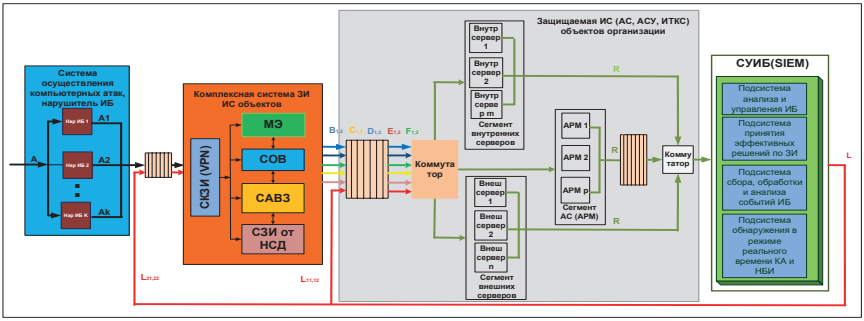
требуемые вероятности и времена: обнаружения, идентификации, анализа, принятия решения на вскрытие ИС, осуществление НБИ (КА);

количество и типы средств ЗИ объектов (защищаемых АС);

требуемые вероятности и времена: обнаружения, идентификации и предотвращения НБИ (КА).

Модель представляет собой имитационную модель, реализованную в системе имитационного моделирования: «AnyLogic».

На рис. 1 показана обобщенная структурная схема имитационной модели процесса защиты объектов от КР.



A - Поток заявок по созданию НБИ
B - Поток заявок, прошедших через СКЗИ
C - Поток заявок, прошедших через САВЗ
D - Поток заявок, прошедших через СОВ
E - Поток заявок, прошедших через СЗИ от НСД
F - Поток заявок, прошедших через МЭ
R - Поток заявок, прошедших через АРМы, внутренние и внешние серверы
L - Поток заявок, прошедших через СУИБ

Рис. 1. Обобщенная структурная схема имитационной модели процесса защиты объектов от КР

В разработанной имитационной модели последовательность действий КР и последовательность функционирования СЗИ с целью обнаружения и ЗИ от КР моделируется следующими основными модулями:

Модуль № 1. В нем происходит имитация органов КР (нарушителя ИБ), процесса вскрытия защищаемой ИС нарушителем ИБ, состоящего из подпроцессов обнаружения, анализа и принятия решения на осуществление НБИ (КА). Блок-схема обобщенного алгоритма имитации функционирования органа КР представлена на рис. 2 [2].

Модуль № 2. В нем происходит имитация процесса функционирования элементов ИС: АРМов сотрудников, внешних и внутренних серверов, появления НПВ из-за технических и программных сбоев СЗИ и ошибок пользователей. Блок-схема обобщенного алгоритма имитации функционирования ИС) представлена на рис. 3 [2].

Модуль № 3. В нем происходит имитация процесса функционирования СЗИ, состоящей из подсистем: СКЗИ, СОВ, САВЗ, МЭ, СЗИ от НСД, СУИБ. Имитируются процессы обнаружения и предотвращения НБИ (ЗИ) от КР. Блок-схема обобщенного алгоритма имитации функционирования комплексной СЗИ представлена на рис. 4 [2].

В разработанной имитационной модели орган КР представляет сбой сеть СМО. Моделируется общий поток заявок от системы КР – «А» на осуществление процессов обнаружения, анализа и принятия решения на вскрытие защищаемой ИС, принятие решения о методе воздействия и осуществления НБИ (КА). Система ЗИ в разработанной модели представлена совокупностью последовательно включенных друг за другом подсистем ЗИ: СКЗИ, СОВ, САВЗ, МЭ, СЗИ от НСД, каждая из которых также представляет собой многоканальную СМО.

Поток заявок от КР по осуществлению НБИ, обнаруженных и предотвращенных подсистемами ЗИ завершается на данных подсистемах ЗИ.

Поток заявок от органа КР – «А» последовательно проходит через подсистемы ЗИ, в которых имитируются процессы обнаружения и предотвращения НБИ.

Весь оставшийся поток заявок от системы КР по осуществлению НБИ, необнаруженных и непредотвращенных, подсистемами ЗИ («B_1», «C_1», «D_1», «E_1», «F_1») направляется на внешние, внутренние серверы и АРМы пользователей. Далее поток заявок – «R» подается на СУИБ, которая на основе сбора, обобщения, анализа всех данных от подсистем ЗИ может обнаружить и предотвратить ранее не обнаруженные НБИ.

В случае обнаружения и предотвращения в SIEM таких НБИ, формируется поток с управляющими воздействиями на соответствующие подсистемы ЗИ – «L_{21}» с целью предотвращения НБИ, а также поток заявок – «L_{11}» агентам СЗИ от НСД, установленным на все АРМы ИС на их блокировку.

В этом случае НБИ считаются предотвращенными, их поток считается завершенным. В противном случае фиксируется количество осуществленных НБИ. Рассчитываются вероятности осуществления КР, обнаружения, предотвращения подсистемами ЗИ НБИ и интегральный показатель: вероятность ЗИ от КР.

Рис. 2. Блок-схема обобщенного алгоритма имитации функционирования системы КР

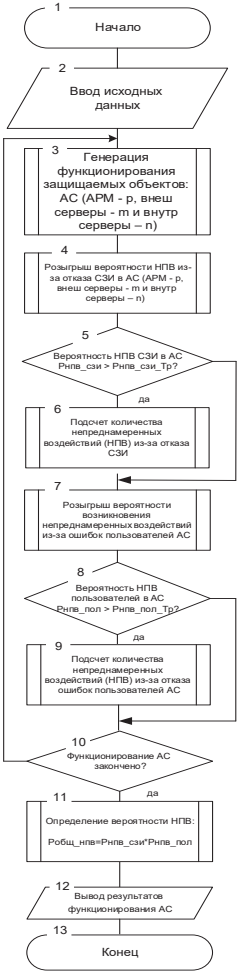


Рис. 3. Блок-схема обобщенного алгоритма имитации функционирования ИС

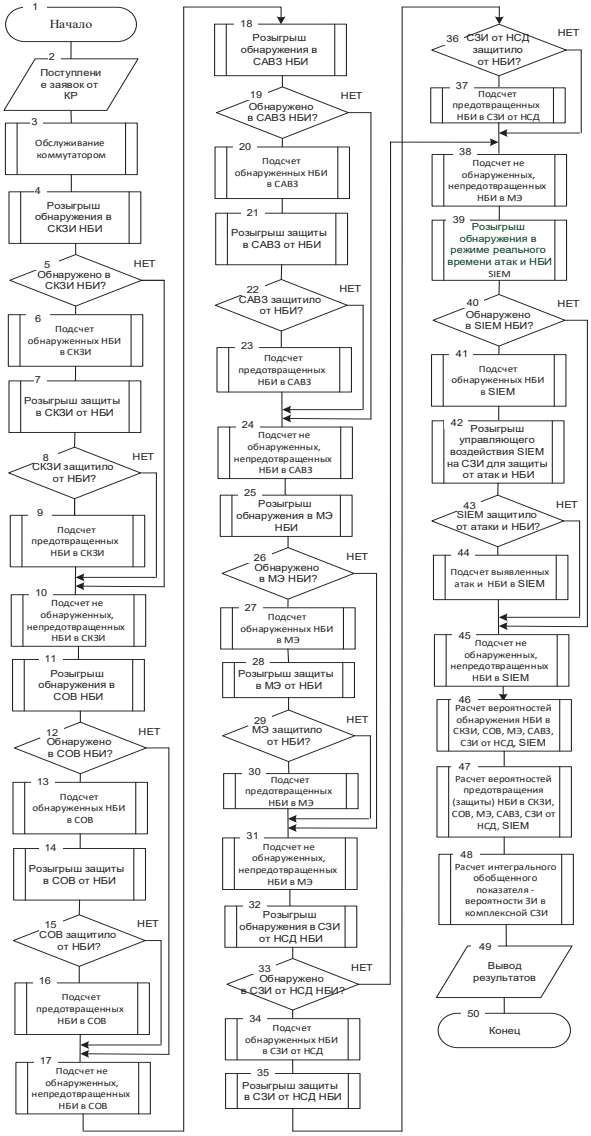


Рис. 4. Блок-схема обобщенного алгоритма имитации функционирования комплексной СЗИ объекта в процессе обнаружения и предотвращения НБИ (КА)

СУИБ также формирует потоки заявок – «L_{22}» на подсистемы СЗИ и – «L_{12}» на элементы ИС для проведения периодических проверок на наличие НПВ с целью обнаружения и реагирования на них.

Защищаемая ИС в модели представлена совокупностью 3-х подсистем: АРМов сотрудников, внешних и внутренних серверов, каждая из которых также представляет собой многоканальную СМО. Для всех элементов ИС имитируется поток заявок на возникновение НПВ. Из элементов ИС, где установлены клиентские агенты СЗИ от НСД на СУИБ посылается поток заявок – «R_1 от подсистем ЗИ, «R_2» поток заявок с НПВ и «R_3» – без НПВ.

Выходными данными в разработанной имитационной модели являются:

количество: органов КР; защищаемых АРМов, внешних и внутренних серверов;

смоделированное количество систем ЗИ ИС;

смоделированное количество событий: НСД, НСВ, НПВ, НБИ (КА);

смоделированные и расчетные вероятности и времена обнаружения, идентификации, анализа и вскрытия КР элементов защищаемых ИС;

смоделированное и расчетные вероятности и времена обнаружения и предотвращения НСД, НСВ, НПВ, НБИ, обеспечения ЗИ от КР;

смоделированное время осуществления КР и функционирования ИС.

В заключении можно отметить, что разработанная имитационная модель процесса ЗИ ИС от КА обладает новизной и позволяет оценивать эффективность процесса существующих систем ЗИ от КА в зависимости от варьируемых исходных данных, а также разрабатывать требования для новых СЗИ ИС организации.

Полученные в ходе моделирования зависимости и характеристики показали адекватность разработанной имитационной модели существующим СЗИ. Модель может быть использована для синтеза новых СЗИ, а также для анализа эффективности существующих и СЗИ организаций.

Библиографический список

1. Меньшаков Ю. К. Теоретические основы технических разведок. М.: ИПЦ «Маска», 2017. 640 с.

2. Ерышов В. Г., Ерышов Н. В. «Модель процесса защиты информации от компьютерной разведки в информационных системах организаций». «Высокие технологии и инновации в науке: сборник избранных статей Международной научной конференции (Санкт-Петербург, Июль 2020). СПб.: ГНИИ «Нацразвитие», 2020, 306 с. С. 135–143.

УДК 004.728.3.057.4

С. Е. Ефимов*
аспирант
Н. В. Степанов*
аспирант
А. М. Тюрликов*
доктор технических наук, профессор
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения

ИССЛЕДОВАНИЯ LORAWAN-КОЛЛИЗИИ СИГНАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ SDR

В данной работе рассматриваются методики измерения интерферирующих сигналов LoRaWAN. В большинстве существующих работ по анализу коллизий сообщений оконечных устройств, предлагаются методы, ограниченные по числу реальных устройств и возможностям точного повторения экспериментов. В нашей методике применяется набирающее популярность Software Defined Radio, которое позволяет записывать сигналы на компьютер. С помощью обработки сигналов на компьютере и последующем излучении в беспроводной канал на приёмнике базовой станции LoRaWAN проводим анализ таких сигналов. Наши результаты анализа конфликтов совпали с результатами работ, проведённых другими методами. Таким образом, наш метод позволит решить задачу масштабируемости устройств LoRaWAN.
Ключевые слова: SDR, LoRaWAN, LoRa, LPWAN, масштабируемость, коэффициент доставки пакетов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № FSRF-2020-0004 «Научные основы построения архитектур и систем связи бортовых информационно-вычислительных комплексов нового поколения для авиационных, космических систем и беспилотных транспортных средств».

S. E. Efimov*
PhD Student
N. V. Stepanov*
PhD Student
A. M. Turlikov*
Dr. Sc., Tech., Professor
*Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

RESEARCH LORAWAN COLLIDE SIGNALS WITH USED SDR

This paper discusses methods for measuring interfering LoRaWAN signals. In the use of methods of work on the analysis of collisions of messages of terminal devices, limited by the use of real devices and the possibility of exact repetition of experiments. Our technique uses the growing popularity of Radio, determined with the help of programs, which allows you to record signals on a computer. With the help of signal processing on a computer and subsequent radiation into a wireless channel at the LoRaWAN station receiver, we analyze such signals. The consistent results were consistent with those obtained by other methods. Thus, our method will solve the problem of scalability of LoRaWAN devices.
Keywords: SDR, LoRaWAN, LoRa, LPWAN, scalability, packet delivery ratio.

Введение

В современном мире концепция применения большого числа маломощных сенсоров на больших площадях имеет широкое распространение во многих областях. Концепция актуальна в индустриальной, сельскохозяйственной, урбанистической и во многих других сферах. Объединение таких сенсоров в единую сеть Интернет стала основной для создания такого направления технологий как Интернета Вещей (IoT, Internet of Things).

Большое число устройств и большая дальность покрытия устройств накладывают дополнительные требования для технологий IoT. Во-первых, устройства должны быть энергоэффективно для возможности автономной. Во-вторых, оборудование должно быть простым, т. е. время на обработку и формирование сигнала может быть с задержками. Было введено обозначение для таких сетей как Маломощная глобальная сеть (LPWAN, Low-Power Wide Area Network) – это тип глобальной сети беспроводной связи, предназначенный для связи на большие расстояния с низкой скоростью передачи данных для устройств, работающих с ограничением по энергопотреблению.

Главными преимуществами технологии LoRa над другими технологиями LPWAN это использование нелицензированного частотного канала и особой кодово-модуляционной схемы с коэффициентом расширения (SF, Spreading Factor). Коэффициент расширения (SF) – это соотношение между скоростью передачи символов и скоростью передачи элементов данных. Она соответствует значениям от 6 до 12. Более высокий коэффициент расширения увеличивает отношение сигнал-шум (SNR) и, следовательно, чувствительность и дальность, но также увеличивает эфирное время пакета. Во многих теоретических работах [1, 2] и экспериментальных [3, 4] исследованиях предполагают, что на одном SF возникают конфликты. Однако существует более сложная система моделирования, где учитывается, что конфликт существует не всегда [5]. Кроме того, существуют и теоретические работы [6] по этому вопросу.

В этой работе сначала проводится обзор существующих работ. После описывается подход реализации. В следующем разделе сравниваются результаты, полученные в данной работе с известными работами.

Обзор работ

В работе [7] проводилась оценки коэффициента доставки пакета (PDR, Packet Delivery Ratio) во время конфликтов двух сообщений. Главным достоинством проведённых авторами опытов является точное определение позиции пересечения сигналов и анализ работы на основе реальных устройств. Недостатком данной методики является то, что при большем числе наложений сообщений возможны более непредсказуемые итоги коэффициента доставки сообщений при различных наложениях.

В работе [8] более точно был описан канал затухания путём анализа влияния двух одновременных передач LoRa друг на друга, используя физические конечные устройства LoRaWAN и шлюз в лабораторной установке с радиочастотным экранированием. Недостатком данного исследования является анализ

только полного наложения полезной информации конфликтующих сообщений. Отсюда, их имитационная модель, построенная на основе полученных результатов натурных экспериментов, учитывает успешный приём только если один из пакетов был принят, как только последние шесть символов преамбулы и заголовка пакета не совпали.

Авторы работы [4] тоже хотели оценить вероятности доставки сообщений при пересечении. Однако их метод опирался на случайный процесс пересечения, что соответствует реальному поведению устройств и перекрытиями более двух конфликтующих сообщений. Недостатком же стало отсутствие точного определения места перекрытия в структуре пакета LoRa.

В данной работе планируется объединить все достоинства. Основой служит статья [4], где есть точное описание результатов наложений с точными сдвигами и структурой пакета сообщения. В нашей работе мы применяем наложение сигналов со сдвигом ещё на этапе формирования сигнала, что позволит объединить достоинства всех этих работ с помощью такого устройства как SDR.

Описание подхода

Основная идея подхода заключается в имитации сигнала от нескольких оконечных устройств (ОУ или UE, User Equipment) для базовой станции, с помощью одного устройства (SDR/генератора сигналов).

Планировалось сгенерировать кадр LoRaWAN "вручную", но из-за сложности и закрытости протокола, было принято решение записать сигналы с реальных ОУ. На рис. 1 представлена схема стенда.

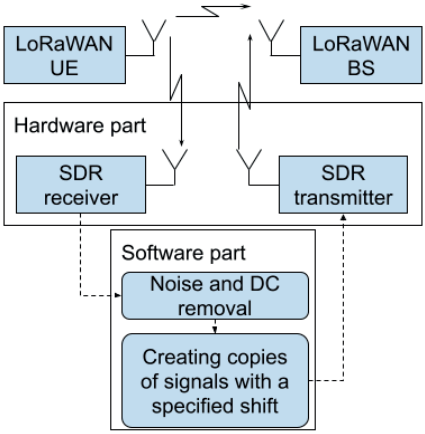


Рис. 1. Схема стенда

Контроль приема пакетов осуществлялся на базовой станции (BS), а характеристики самого сигнала на анализаторе спектра и втором SDR (с использованием ПО CubicSDR).

Основной этап формирование сигнала на передачу. В цифровом виде генерируются файлы, являющиеся результирующей случаев из статьи [7] (сигнал от ОУ 2 (s2 с мощностью P2) в 4 раза мощнее, чем от ОУ 1 (s2 с мощностью P2):

Случай 1: Кадр (s2), излучаемый с большей мощностью (P2), приходит на 4 символа позже захвата приемника, приемник пытается слушать кадр (s1), который излучен с более слабой мощностью (P1), но тот перебивается более сильным. (Оба кадра теряются).

Случай 2: Кадр (s2), излучаемый с большей мощностью (P2), приходит в момент передачи заголовка CRC от более слабого источника (P1), приемник сбивает фиксацию на кадр (s1), который излучен с более слабой мощностью и начинает слушать второй кадр. (Кадр от более мощного источника декодируется).

Случай 3: Кадр (s2), излучаемый с большей мощностью (P2), приходит в момент передачи заголовка кадра (s1) от более слабого источника (P1), приемник продолжает обрабатывать кадр от слабого источника, но сигнал от более мощного источника перебивает данные. (Оба кадра теряются).

Случай 4: Кадр (s2), излучаемый с большей мощностью (P2), приходит в момент до передачи CRC данных (payload) кадра (s1) от более слабого источника (P1), приемник продолжает обрабатывать кадр от слабого источника, но сигнал от более мощного источника перебивает данные. (Оба кадра теряются).

Для наглядности все случаи наложений приведены на рис. 2

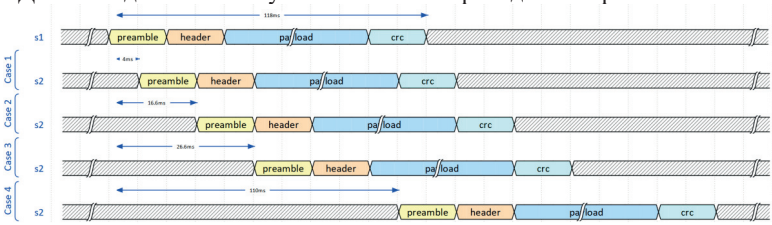


Рис. 2. Наложение сигналов при всех случаях

Во время экспериментов выявлены интересные особенности, поэтому было решено рассмотреть случаи, в которых вторым по времени приходил равный по мощности и меньший по мощности кадр. А также были сгенерированы производные от этих случаев, в которых сигнал от ОУ 1 по излучаемой мощности был равен сигналу ОУ 2 и, в котором сигнал от ОУ 1 был в 4 раза больше сигнала ОУ 2.

Структура файлов получилась следующая:

1) Файл P1 < P2, при P1 = 2 dBm, P2 = 8 dBm массив из 4 строк с результирующей сигналов s1 + s2, как в статье [7], в каждой строке хранится результирующая для своего случая, где обозначение P1 < P2 обозначает сценарий работы, когда основной сигнал в 4 раза меньше интерферирующего сигнала. Второй сигнал или интерферирующий имеет задержки с учётом четырёх случаев, описанных выше.

2) P1 = P2 массив из 4 строк с результирующей сигналов s1 + s2, в каждой строке хранится результирующая для своего случая, при равных по мощности сигналах, где P1 = P2 наше обозначение сценария, когда оба сигнала идентичны по мощности как в работе [4].

3) P1 > P2, при P1 = 8 dBm, P2 = 2 dBm массив из 4 строк с результирующей сигналов s1 + s2, в каждой строке хранится результирующая для своего случая, первый сигнал больше второго в 4 раза, где обозначение P1 > P2 является обратным сценарием относительно P1 < P2. В этом случае Исходное сообщение будет мощнее интерферирующего, а задержка определяется относительно начала инициализирующего сигнала будет более слабым сигналом.

Файлы, полученные в бинарном виде для hackrf_transfer передаются на SDR Результаты о получении/обработке излученного сигнала на базовой станции фиксируются на LoRaWAN сервере через лог. В случае для SDR, с помощью скрипта Matlab излучается ровно 100 сигналов для каждого случая.

Результаты и сравнения с известными работами

Из рис. 3 видно, что результаты с устройства SDR очень похожи на результаты двух реальных устройств из работы [7]. Где при разной мощности устройств инициирующего и интерферирующего, с мощностью 2 и 8 dBm, соответственно, вероятность доставки сообщения интерферирующего устройства должно быть высоким, только при случае наложения 2. Однако стоит обратить внимание на то, что у SDR есть успешно принятые сообщения и при случае наложения 1, и при случае наложения 3.

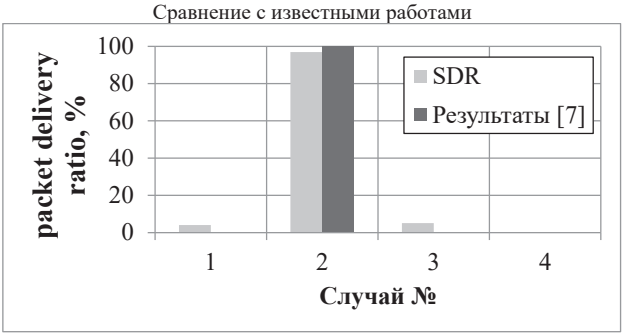


Рис. 3. Результаты сценария P1 < P2

Этого в работе [7] не было зафиксировано. Можно сделать вывод о том, что, скорее всего более качественные компоненты радиопередатчика SDR вносят достаточные улучшения в выходной сигнал из тракта передатчика по сравнению с обычными устройствами с более дешёвыми элементами. Из данного сценария мы можем получить достаточно большое разнообразие сценариев наложения различного количества устройств и разных искажениях сигнала на этапе программной обработки сигналов. Отсюда найти причины возникновения

успешного приёма без учёта внутренних шумов измерительных приборов (в нашем случае это может быть осциллограф или анализатор спектров).

Теперь рассмотрим результаты экспериментов с одинаковыми мощностями интерферирующего и инициализирующего сигналов по аналогии с работой [4].

Результаты, представленные на рис. 4 показывают, что по данным, полученным на SDR, при незначительных потерях около 15% интерферирующий сигнал успешно принимается при всех четырех случаях наложения. Как и по результатам предыдущего рисунка, в данном случае результаты не совпадают с результатами работы [4] скорее всего из-за более качественных элементов радиоприёмника. Помимо этого, отличительной особенностью [4] является анализ полученных коэффициентов доставки пакетов при различны наложениях сообщений без точного определения границ временных сдвигов этих сообщений.

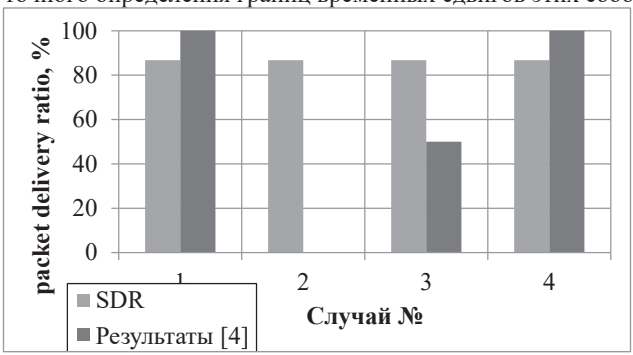


Рис. 4. Результаты сценария P1 = P2

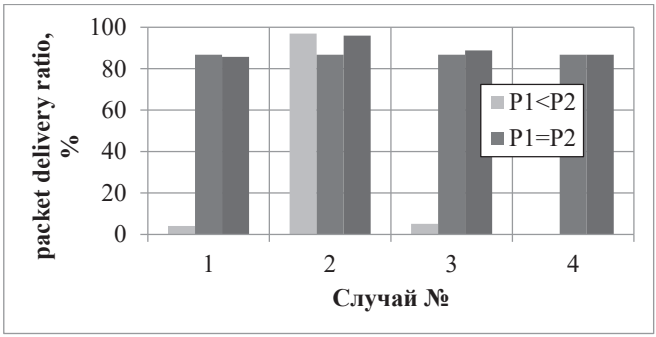


Рис. 5. Результаты всех трёх сценариев

Для сравнения рассмотрим два предыдущих сценария вместе с третьим, который не был описан в других работах, где первый сигнал имеет большую мощность, чем второй.

Результаты третьего сценария P1 > P2 (рис. 5) показали, что более мощный сигнал стоящий перед мешающим более слабым по мощности сигналом имеет преимущество в вероятности доставки сообщений в сравнении с другими сценариями. Кроме того, как и в первом сценарии есть незначительный выигрыш при пересечении сигналов во втором случае.

Заключение

Применение программных и аппаратных средств нашей методики позволило сравнить известные результаты других работ. Работы, связанные с точным определением места наложения конфликтов, дали результаты схожие с нашими. Возможности нашей методики позволяет исследовать проблему масштабирования сети LoRaWAN, за счёт более точного формирования конфликтующих сообщений, мощности сигналов, повторения наложения большого числа сообщений при различных настройках. В планах проработка и натурное исследование возможности имитации сигналов от более двух устройств с одинаковыми или различными параметрами излучения. В дальнейшем также планируется формирование сигнала полностью программным способом для дальнейших способов проверки различных каналов затухания и способов наложения сигналов.

Библиографический список

1. Georgiou O., & Raza U. (2017). Low power wide area network analysis: Can LoRa scale?. IEEE Wireless Communications Letters, 6(2), 162-165.

2. Gusev O., Turlikov A., Kuzmichev S., Stepanov N. Data Delivery Efficient Spreading Factor Allocation in Dense LoRaWAN Deployments //2019 XVI International Symposium" Problems of Redundancy in Information and Control Systems"(REDUNDANCY). IEEE, 2019. С. 199–204.

3. Van den Abeele, F., Haxhibeqiri, J., Moerman, I., & Hoebeke, J. (2017). Scalability analysis of large-scale LoRaWAN networks in ns-3. IEEE Internet of Things Journal, 4(6), 2186–2198.

4. Kuzmichev S. A., Stepanov N. V. Experimental Research to Determine the Conditions for Successful Reception of Messages in the LoRaWAN //2019 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF). IEEE, 2019. С. 1–4.

5. Marini, R., Mikhaylov, K., Pasolini, G., & Buratti, C. (2021). LoRaWANSim: A Flexible Simulator for LoRaWAN Networks. Sensors, 21(3), 695.

6. Qadir, Q. M. (2020). Analysis of the reliability of LoRa. IEEE Communications Letters.

7. Rahmadhani A., & Kuipers F. (2018, October). When lorawan frames collide. In Proceedings of the 12th International Workshop on Wireless Network Testbeds, Experimental Evaluation & Characterization. P. 89–97.

8. Haxhibeqiri J., Van den Abeele F., Moerman I., & Hoebeke J. (2017). LoRa scalability: A simulation model based on interference measurements. Sensors, 17(6), 1193.

УДК 004.932

М. Н. Исаева*
ассистент
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПОВ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКИХ АТАК С ПОМОЩЬЮ ПОЛУХРУПКИХ МЕТОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

В данной статье рассматриваются способы определения типов стеганографических атак на цифровые изображения с помощью полухрупких меток с использованием методов машинного обучения. Выявлены способы, которые позволяют с более высокой точностью определить конкретный тип атаки на внедренный цифровой водяной знак в изображение.
Ключевые слова: цифровой водяной знак, полухрупкие метки, стеганография.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № FSRF-2020-0004, "Научные основы построения архитектур и систем связи бортовых информационно-вычислительных комплексов нового поколения для авиационных, космических систем и беспилотных транспортных средств".

M. N. Isaeva*
Assistant
*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

DETECTION TYPES OF STEGANOGRAPHIC ATTACKS BASED ON SEMI-FRAGILE WATERMARKS USING MACHINE LEARNING

This article discusses how to detected types of steganographic attacks on digital images using semi-fragile watermarks using machine learning techniques. Methods have been identified that allow you to determine with higher accuracy the specific type of attack on the embedded digital watermark in the image.
Keywords: digital watermarks, semi-fragile watermarks, steganography.

Введение

Проблема защиты авторского права мультимедийных файлов актуальна в современных реалиях нашего мира. Развитие Интернет-технологий привело к тому, что загруженные в Интернет изображения могут быть распространены неограниченное количество раз неограниченному кругу лиц. Для защиты авторских прав изображений используются специальные технологии – цифровые водяные знаки (ЦВЗ) [1, 2]. Они могут быть внедрены в изображение с использованием стеганографических алгоритмов, с их помощью можно определить авторство или отследить копии файлов.

Среди большинства интернет-пользователей в последнее время стало популярно использование различных фильтров на изображения. Эти фильтры могут быть использованы в качестве атак на изображения для уничтожения внедренных ЦВЗ. Существует множество подходов к обнаружению атак на изобра-

жения с ЦВЗ, но никто не пытался различать обнаруженные типы атак и классифицировать их. В данной работе представлено исследование возможности определять типы атак на изображения с помощью полухрупких [3, 4]. ЦВЗ без использования оригинального изображения.

Данная статья является продолжением раннее проведенных исследований. В предыдущих работах была выявлена возможность обнаружения типа атаки и отличить ее от остальных. В данной работе используются методы машинного обучения для решения этой задачи, так как они являются отличным инструментом для задач, связанных с классификацией.

Описание используемых подходов к внедрению ЦВЗ

1. Метод внедрения в наименьшие значащие биты (LSB) [5].

Самым простым и самым популярным методом внедрения меток является внедрение в наименьшие значащие биты (LSB – least significant bit). Его особенность заключается в том, что встраиваемые биты скрываемой информации располагаются внутри самих пикселей изображения без каких-либо дополнительных преобразований. Для того, чтобы внедрить биты, необходимо решить, какое количество бит будет встроено в один пиксель. Было принято решение внедрять информацию в 2 бита, таким образом пиксель изменяется незначительно и не влияет на визуальное искажение всего изображения. Младшие биты просто заменяются на биты скрываемой последовательности.

При извлечении метки достаточно считывать последовательно 2 младших бита в пикселях, в которые было произведено внедрение информации.

Из-за своей простоты, данный алгоритм обладает низкой стойкостью к различным преобразованиям над изображением, но это так же может помочь в определении типа данных преобразований.

2. Метод внедрения с помощью псевдоквантования [6].

Для данного метода характерно изменение значения пикселя, которое пересчитывается по определенной формуле. В формуле присутствует параметр, который можно подбирать в соответствии с требованиями – шаг квантования. Чем больше шаг квантования, тем сильнее будет заметным искажение изображения.

В цветных изображениях чаще всего внедрение происходит в синий канал, так как считается, что изменения синего цветового канала меньше всего воспринимаются человеческим глазом. Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что количество бит для внедрения напрямую зависят от размера изображения.

3. Метод внедрения с использованием коэффициентов ДКП [7].

Данный метод основан на внедрении метки в коэффициенты дискретно-косинусного преобразования (ДКП), то есть в область преобразований, когда как предыдущие два метода представляли собой внедрение в пространственную область изображения. Изображение делится на блоки размером 8×8 пикселей. По определенному правилу выбираются блоки, в которые будут внедрятся биты. Далее происходит прямое двумерное ДКП, затем внедрение секретной информации и обратное ДКП.

В каждом блоке выбирается 4 коэффициента, с помощью которых будет происходить внедрение. Для внедрения одного бита потребуется 2 коэффициента ДКП, так как внедрение основано на увеличении или уменьшении (в зависимости от внедряемого бита) разницы между двумя коэффициентами блока. Было принято решение брать среднечастотные коэффициенты, которые находятся в центре блока, так как высокочастотные коэффициенты повлияют на искажения изображений, а при внедрении в низкочастотные – биты могут потеряться при математическом округлении при обратном ДКП.

Описание используемых атак и фильтров на изображения

Существует большое количество различных фильтров или преобразований, которые могут быть применены к изображениям. Все фильтры преследуют одну цель – изменить качество изображения, либо его характеристики. В данной работе используемые фильтры в качестве атак, можно условно разделить на несколько групп.

1. Сглаживающие фильтры

Сглаживание или размытие изображения – это одна из самых часто используемых операций обработки изображений. В основном размытие применяется, для уменьшения шума на изображении или придать какие-то особые эффекты, например, для размытия фона фотографий.

Размытие (BLUR) – один из популярных фильтров, применяемых фотографами. Размытие, в простом смысле, это усреднение соседних пикселей. Для выбранного пикселя находится среднее значение с помощью всех соседних пикселей в заданном радиусе. Для того, чтобы размытие было более красивым, используют различные дополнительные коэффициенты, на которые умножают значения соседних пикселей. Среди самых часто популярных фильтров размытия стоит выделить фильтр Гаусса. Помимо гауссовского размытия существуют еще другие виды. Их отличие состоит в весовых коэффициентах фильтра, которые можно назвать маской фильтра.

В отличие от фильтров размытия, сглаживание выполняет размытие только на границах элементов изображений, уменьшая четкость контуров.

2. Добавление шумов

Появление шумов портит качество изображения. Но существует множество фильтров, которые используют зашумленность для придания определенных эффектов фотографиям. Шум, как и сглаживание, имеет несколько типов. Основными являются аддитивный шум (гауссовский) и импульсный («соль-перец»). Импульсный шум выглядит как «битые» пиксели в изображении, что сильно портит визуальное качество изображения.

Рассматривать импульсный шум в качестве атаки нет смысла, так как он изменяет отдельно взятые пиксели либо в белый, либо в черный цвет. Например, для метода внедрения в наименьшие значащие биты это может привести к тому, что при извлечении метки из пикселей, на которые повлияла атака, вероятность верного извлечения одного бита информации P = 0,5.

3. Изменение резкости

Увеличение резкости – это процесс улучшения контура объекта, повышения четкости краев изображения или объектов. Процесс увеличения резкости осуществляется с помощью усиления контраста между темными и светлыми пикселями. Этот контраст на краях (краевой контраст) определяется в пределах соседних пикселей. Краевой контраст также известен как четкость. Повышение резкости делает изображения более выразительными.

4. Изменение контрастности

Контраст – это резкое различие одних участков фотографии от других, что может выгодно привлечь внимание зрителя к определенным деталям, если правильно его использовать. Одним из примеров фильтров контрастности может быть нерезкое маскирование (unsharping masking). Его суть состоит в том, что данный фильтр позволяет добиться повышения субъективной чёткости благодаря усилению контраста мелких деталей при неизменности общего контраста.

5. Изменение баланса цвета

Изменение баланса цвета используется для коррекции цвета всего изображения, а не отдельных элементов изображения. С помощью данного фильтра есть возможность убрать желтизну со старых фотографий, добавить изображению более теплый или холодный оттенок.

Результаты проведения экспериментов

Для проведения экспериментов использовались классификаторы из библиотеки Scikit Learn языка программирования Python.

Для получения результатов необходимо провести серию экспериментов, которая включает в себя подготовку выборки изображений для обучения и для тестирования классификаторов, подготовку и нормализацию данных для классификаторов и, непосредственно, само тестирование с дальнейшей оценкой полученных результатов. В качестве данных для обучения брался вектор разницы для исходной метки и извлеченной после проведения конкретной атаки.

При проведении экспериментов была поставлена цель – добиться наиболее высоких возможных результатов точности классификаторов при максимальном количестве типов атак для классификации. Точность (precision) в данной работе понимается как доля объектов класса среди объектов, которые выделил классификатор. Таким образом, в ходе экспериментов, отбрасывались типы классификаторов, дающие недостаточно хорошие результаты, отбрасывались типы атак, которые невозможно классифицировать в данном наборе атак.

В результате этих экспериментов для алгоритма внедрения LSB наилучшие результаты были достигнуты при наборе атак: размытие, усиление границ, нерезкое маскирование, контрастность, яркость, баланс цвета.

Как показано на рис. 1, разные классификаторы определяют типы атак с разной точностью при внедрении ЦВЗ с помощью метода LSB. Нельзя однозначно сказать, какой из классификаторов дает лучшую точность для всех классифицируемых типов атак. Наиболее равномерную точность определения всех рассматриваемых типов атак дают классификаторы KNN и SVM с гауссовским ядром (rbf).

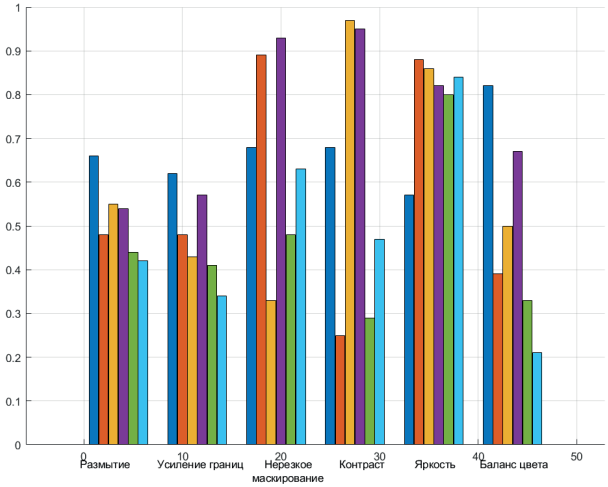


Рис. 1. Точность классификации набора атак для алгоритма внедрения LSB (типы классификаторов для каждой атаки слева направо: K-Nearest Neighbors, Support Vector Machine (SVM) with linear kernel, SVM with polynomial kernel, SVM with RBF kernel, Naive Bayes, Decision Tree Classifier)

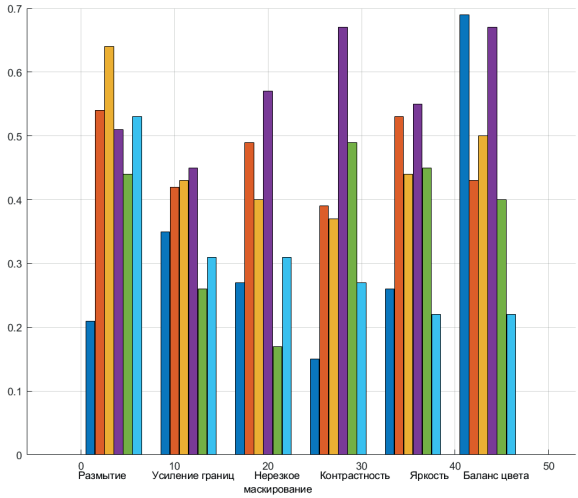


Рис. 2. Точность классификации набора атак для алгоритма внедрения QIM (типы классификаторов для каждой атаки слева направо: K-Nearest Neighbors, Support Vector Machine (SVM) with linear kernel, SVM with polynomial kernel, SVM with RBF kernel, Naive Bayes, Decision Tree Classifier)

Далее были проведены эксперименты с алгоритмом внедрения, основанном на псевдоквантовании (QIM). В ходе экспериментов для рассмотрения были оставлены следующие атаки: размытие, усиление границ, нерезкое маскирование, контрастность, яркость и баланс цвета.

Исходя из рис. 2, можно сделать вывод о том, что для метода внедрения QIM результаты классификации нельзя назвать удовлетворительными, так как точность обнаружения рассматриваемых атак едва ли превышает 0,5 для всех классификаторов.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что данный метод внедрения не пригоден для того, чтобы с его помощью можно было классифицировать типы атак таким способом. Если для методов внедрения LSB и псевдоквантования при проведении экспериментов был выбран одинаковый набор атак для классификации, то для алгоритма внедрения в коэффициенты ДКП набор атак получился другим: размытие, усиление границ, шум и яркость. В данном случае были получены неплохие результаты, практически все типы атак были определены классификаторами с высокой точностью. Лучше всех себя показали классификаторы линейный SVM (linear) и SVM с гауссовским ядром (rbf), а также классификатор NaiveBayes.

Таким образом, наиболее эффективным себя в задаче классификации показал метод внедрения ЦВЗ в коэффициенты ДКП, наименее эффективным – метод основанный на псевдоквантовании.

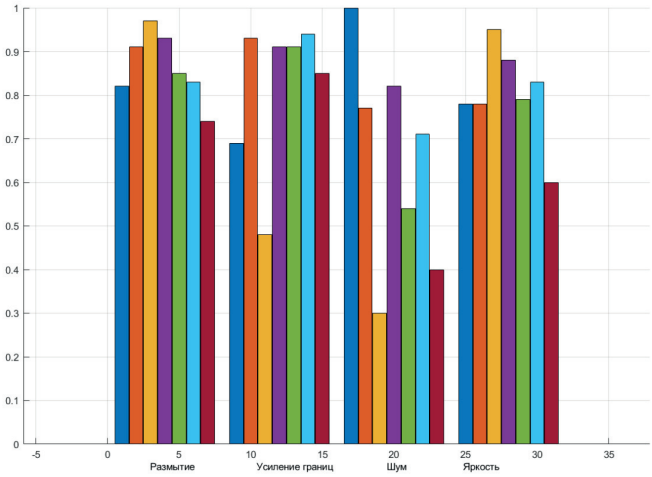


Рис. 3. Точность классификации набора атак для алгоритма внедрения в коэффициенты ДКП (типы классификаторов для каждой атаки слева направо: K-Nearest Neighbors, Support Vector Machine (SVM) with linear kernel, SVM with polynomial kernel, SVM with RBF kernel, SVM with sigma kernel, Naive Bayes, Decision Tree Classifier)

Заключение

По итогам результатов был сделан вывод о том, что различать между собой типы атак на основе полухрупких меток с использованием классификаторов – возможно. Особенностью данного метода является тот факт, что для определения типа атаки не используется оригинальное изображение, выводы делаются только на основе внедренной метки.

Для того, чтобы увеличить точность определения типов атак, можно попробовать настроить параметры классификаторов, для внедрения брать другие метки, увеличить размер внедряемой метки. Возможно, следует изменить структуру входных данных для классификаторов, т. е. изменить набор признаков. Например, в качестве входа использовать не двоичный вектор, а вектор с вероятностью ошибок или усреднять вектора по нескольким изображениям.

Библиографический список

1. Федосеев В.А. Цифровые водяные знаки и стеганография: учебное пособие с заданиями для практических и лабораторных работ / В.А. Федосеев.Электрон. текстовые и граф. дан. Самара: СГАУ, 2015. 128 с. 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

2. Cox I.J. Digital watermarking and steganography / M. Miller, J. Bloom, J.Fridrich. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishing, 2008. 624 p.

3. Lin, E.T. Detection of image alterations using semifragile watermarks / E.T. Lin, C.I. Podilchuk, E.J. Delp // Security and Watermarking of Multimedia Contents II. 2000. Vol.3971. P. 152–164.

4. Егорова А.А. Классификация и сравнительное исследование систем аутентификации JPEG-изображений, основанных на встраивании полухрупких водяных знаков / А.А. Егорова, В.А. Федосеев; Компьютерная оптика, Том 43. 2019. № 3. С.419–433.

5. Грибунин В.Г. Цифровая стеганография / В.Г. Грибунин, И.Н. Оков, И.В. Туринцев; М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2009. 272 с.

6. Глумов Н.И. Алгоритм встраивания полухрупких цифровых водяных знаков для задач аутентификации изображений и скрытой передачи информации / Н.И.Глумов, В.А. Митенкин; Компьютерная оптика, Том 35. 2011. № 2. С. 262–267.

7. Гильмутдинов М.Р. Введение в цифровую обработку изображений. Методы фильтрации и сжатия изображений: учеб. пособие / М.Р. Гильмутдинов, А.И. Веселов, В.А. Ястребов, А.М. Тюрликов; СПб.: ГУАП, 2015. 76 с.

УДК 621.391

М. Н. Исаева*
ассистент
А. А. Овчинников*
кандидат технических наук, доцент
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения

О ПОСТРОЕНИИ БЛОЧНО-ПЕРЕСТАНОВОЧНЫХ НИЗКОПЛОТНОСТНЫХ КОДОВ ДЛЯ КАНАЛОВ С ПАМЯТЬЮ

В данной статье рассматривается задача построения блочно-перестановочных низкоплотностных кодов для исправления пакетов ошибок. Рассматриваются блочно-перестановочные конструкции с наложенными нулевыми масками. Проанализирован подход, состоящий из двух этапов: поиск расположения нулевых блоков и поиск базовой матрицы. Приведены эксперименты, анализирующие корректирующую способность рассматриваемых кодов в канале с памятью.
Ключевые слова: низкоплотностные коды, блочно-перестановочные конструкции, корректирующая способность кода.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № FSRF-2020-0004, "Научные основы построения архитектур и систем связи бортовых информационно-вычислительных комплексов нового поколения для авиационных, космических систем и беспилотных транспортных средств".

M. N. Isaeva*
Assistant
A. A. Ovchinnikov*
PhD, Tech., Associate professor
*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

ABOUT CONSTRUCTING BLOCK PERMUTATION LDPC CODES FOR CHANNELS WITH MEMORY

This article discusses the task of constructing block permutation low density codes to correct error burst. Block permutation constructions with superimposed zero masks are considered. We analyzed the approach consisting of two stages: finding the location of zero blocks and finding the base matrix. Experiments analyzing corrective capacity of the considered codes in the channel with memory are presented.
Keywords: Low-density codes (LDPC-codes), block-permutation construction, burst error correction

Введение

В современном мире ежедневно огромный объем информации передается по различным каналам связи. Информация стала неотъемлемой частью практически всех сфер нашей жизнедеятельности: мобильная связь, интернет вещей, спутниковые системы и т. д. При передаче сигналов от источника к приемнику, могут возникнуть помехи, которые приводят к ошибкам в передаваемой после-

довательности [1]. Для решения данной проблемы используются помехоустойчивые коды, в том числе низкоплотностные коды, обеспечивающие малую вероятность ошибки при невысокой сложности процедур кодирования и декодирования.

Большинство реальных каналов связи обладают памятью, которая не учитывается в современных телекоммуникационных стандартах. Известно, что низкоплотностные коды могут применяться в каналах с памятью, однако, задача построения таких кодов остается открытой и актуальной. В данной статье рассматривается блочно-перестановочная конструкция низкоплотностного кода, включающая нулевые блоки, и ее корректирующая способность.

Блочно-перестановочные конструкции низкоплотностных кодов

Низкоплотностные коды (LDPC-коды – low-density parity-check) – коды с малой плотностью проверок на четность, были предложены Р. Галлагером в 1962 году [2, 3]. Коды с малой плотностью проверок на четность могут быть заданы с помощью проверочной матрицы **H**. Эта матрица содержит в себе малое количество ненулевых элементов. Чаще всего для задания кодов используются блочно-перестановочные конструкции (БПК), например, они используются в стандарте 802.11 (Wi-Fi) [4], 5G [5]. Общий вид проверочной матрицы для блочно-перестановочной конструкции выглядит следующим образом:

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \mathbf{C}^{t_{11}} & \mathbf{C}^{t_{12}} & \dots & \mathbf{C}^{t_{1\rho}} \\ \mathbf{C}^{t_{21}} & \mathbf{C}^{t_{22}} & \dots & \mathbf{C}^{t_{2\rho}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mathbf{C}^{t_{\gamma 1}} & \mathbf{C}^{t_{\gamma 2}} & \dots & \mathbf{C}^{t_{\gamma\rho}} \end{bmatrix},$$

где $\mathbf{C}^{t_{ij}}$ – блоки, представляющие собой матрицы циклической перестановки в степени t_{ij} размером $m \times m$:

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \\ 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix},$$

а базовую матрицу в общем виде можно представить:

$$\mathbf{H}_{\text{base}} = \begin{bmatrix} t_{11} & \cdots & t_{1\rho} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{\gamma 1} & \cdots & t_{\gamma\rho} \end{bmatrix}.$$

Вероятность ошибки, обеспечиваемая известными декодерами LDPC-кодов в канале с независимыми ошибками, зависит от структуры так называе-

мого графа Таннера, для которого проверочная матрица **H** является матрицей инциденций. Известно, что эта структура обеспечивает меньшую вероятность ошибки, если в блочно-перестановочную матрицу добавлены нулевые блоки. Однако, влияние использования нулевых блоков не анализировалось для каналов с памятью.

Корректирующая способность блочно-перестановочных низкоплотностных кодов в канале с памятью

Влияние каналов связи на передаваемые данные может быть описано с помощью вектора, содержащего пакет ошибок [6]. Пакетом ошибок является вектор e длиной n, у которого первая единица и последняя единица расположены друг от друга не далее, чем на b позиций, обозначим его как подвектор e_b.

Пусть $\mathbf{H}_b$ – столбцы проверочной матрицы **H**, которые соответствуют расположению пакета. Если **y** – принятое слово, тогда для декодирования используется синдром: $\mathbf{S} = \mathbf{y}\mathbf{H}^{\mathrm{T}} = \mathbf{e}\mathbf{H}^{\mathrm{T}} = \mathbf{e}_b\mathbf{H}_b^{\mathrm{T}}$. Если существуют два таких пакета ошибок e_{b_1} и e_{b_2}, имеющих одинаковый синдром $e_{b_1}\mathbf{H}_{b_1}^T = e_{b_2}\mathbf{H}_{b_2}^T$, то исправление пакетов длиной b невозможно. Следовательно, максимальная длина исправляемого пакета в блочно-перестановочной конструкции не более, чем m–1, где m – размер блока циклической перестановки в матрице **H**, потому что сумма всех столбцов в пределах одного блока всегда дает единичный стол-бец [7]. В [8] показано, что определение максимальной длины пакета ошибок может быть выполнено за полиномиальное время.

Описание экспериментов

Как показано раннее, блочно-перестановочная конструкция без нулевых блоков не может исправлять пакеты ошибок длиной больше, чем m – 1. Построение блочно-перестановочных конструкций с нулевыми блоками может быть представлено как наложение некоторой маски на базовую матрицу. В этой маске единичные позиции соответствуют блокам, которые необходимо заменить на нулевые. В дальнейшем маска будет представлена в виде десятичного числа.

В работе используется следующая методика построения блочно-перестановочных конструкций для каналов с памятью:

1. Генерируется набор из x случайных базовых матриц $\mathbf{H}_{\mathrm{base}}$ размером $\gamma \times \rho$.
2. Для выбранной базовой матрицы генерируется N случайных двоичных масок. Для каждой маски вычисляется максимальная длина пакета $b_{\max}$.
3. Выбираются маски, дающие наибольший прирост длины исправляемого пакета.
4. Для найденного набора наилучших масок генерируются случайные базовые матрицы, для которых определяется их корректирующая способность.

Результаты экспериментов

В соответствии с методикой, описанной в предыдущем разделе, для случайной матрицы с параметрами $\gamma = 4$, $\rho = 7$, $m = 17$ было взято N =100000 случайных масок. В ходе эксперимента большинство масок (примерно 99%) не

дают максимальной длины пакета $b_{\max} > m$. Поэтому, для наглядности количество масок, дающих $b_{max} = 17$, не отображается на гистограмме (рис. 1).

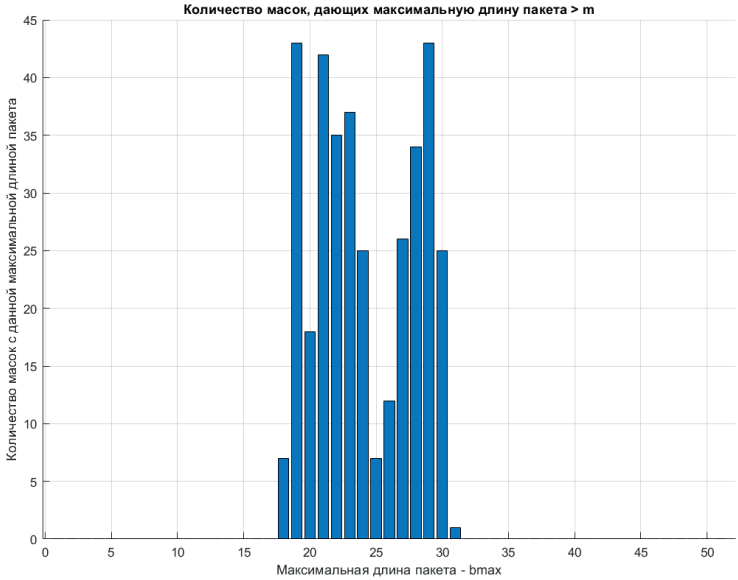


Рис. 1. Количество масок, дающих максимальную длину пакета $b_{max} > m$ для матрицы с параметрами $\gamma = 4$, $\rho = 7$, $m = 17$

На основе результатов, представленных на рис. 1 были выбраны маски, которые дают наибольший b_{max}. Возьмем две случайные маски из этого набора: 117938 и 391476.

Для каждой из масок сгенерируем $x = 10000$ случайных базовый матриц и определим их корректирующую способность. На рис. 2 и 3 представлены гистограммы корректирующей способности для двух разных масок.

Из рис. 2 и 3 можно сделать вывод о том, что при маске 117938 можно получить более сильный прирост максимальной длины пакета, тогда как для маски 391476 число БПК, у которых максимальная длина пакета близка к $2m - 1$, уменьшается. Далее будем применять маску 117938.

Сгенерируем $x = 100$ случайных матриц с параметрами $\gamma = 4$, $\rho = 7$, $m = 48$ и применим к каждой из них маску 117938. На рис. 4 представлена гистограмма, показывающая корректирующую способность БПК с маской.

В табл. 1 представлены некоторые базовые матрицы и значения максимальной длины исправляемого пакета $b_{\max}$ при использовании маски 117938.

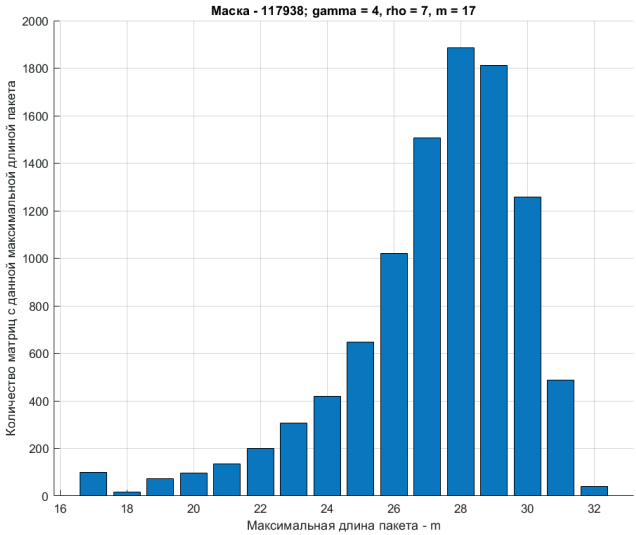


Рис. 2. Корректирующая способность при маске 117938 для матриц с параметрами γ = 4, ρ = 7, m = 17

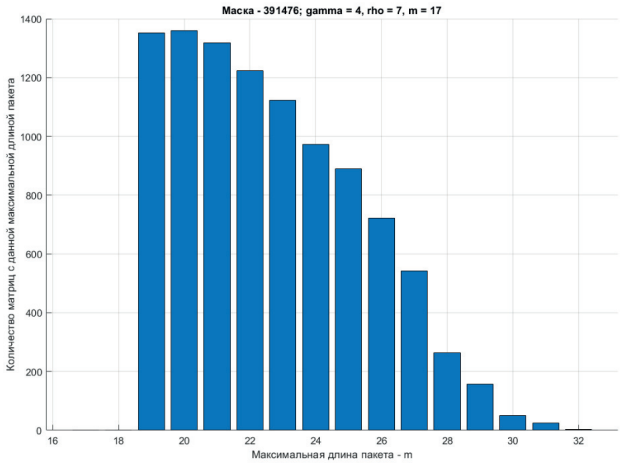


Рис. 3. Корректирующая способность при маске 391476 для матриц с параметрами γ = 4, ρ = 7, m = 17

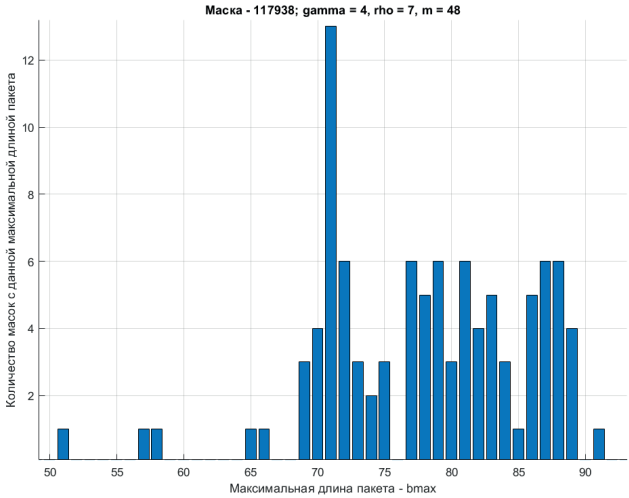


Рис. 4. Корректирующая способность при маске 117938 для матриц с параметрами $\gamma = 4$, $\rho = 7$, $m = 48$

Таблица 1

Базовые матрицы и их значения $b_{\max}$

Базовая матрица (параметры $\gamma = 4$, $\rho = 7$, $m = 48$)	$b_{\max}$	Базовая матрица (параметры $\gamma = 4$, $\rho = 7$, $m = 73$)	$b_{\max}$
17 1 40 17 46 12 16 27 24 7 44 39 37 41 0 6 3 35 31 2 17 14 28 18 30 2 31 44	85	66 24 20 32 56 58 12 3 11 70 48 8 29 62 19 57 62 1 13 34 3 18 67 31 33 27 32 23	136
Базовая матрица (параметры $\gamma = 4$, $\rho = 7$, $m = 48$)	$b_{\max}$	Базовая матрица (параметры $\gamma = 4$, $\rho = 7$, $m = 73$)	$b_{\max}$
33 26 20 0 0 6 2 4 13 2 5 41 38 35 29 14 26 29 29 14 11 26 29 16 35 7 47 11	91	42 38 50 69 65 3 33 51 9 12 8 14 24 26 9 4 36 7 26 46 2 65 0 58 72 50 70 22	115
39 22 34 38 32 0 7 27 20 44 41 40 41 13 12 45 28 37 11 12 46 40 10 24 32 16 9 15	88	70 26 25 46 0 6 42 62 50 16 62 57 36 55 46 72 35 25 48 56 52 0 35 46 45 41 42 12	111

По результатам, приведенным в табл. 1, можно сделать вывод о том, что при максимальной длине исправляемого пакета 47 и 72 без нулевых блоков путем использования масок, было получено увеличение $b_{\max}$ до 1,9m и 1,8m соответственно.

Заключение

В данной статье было рассмотрено построение блочно-перестановочных конструкций с использованием нулевых блоков. Рассмотрена методика, выбирающая маску для матрицы малого размера блока, которая для матрицы с большим размером блока позволяет увеличивать длину исправляемого пакета $b_{\max}$ примерно до 1,9m для матриц с параметрами $\gamma = 4$, $\rho = 7$, $m = 48$ и до 1,8m для матриц с параметрами $\gamma = 4$, $\rho = 7$, $m = 73$.

Библиографический список

1. Ryan, W., Lin, S.: Channel Codes: classical and modern. Cambridge university press (2009)

2. Gallager R. G. Low-Density Parity-Check Codes // IRE Transactions on Information Theory. Jan. 1962. Vol. 8. No. 1. P. 21-28.

3. Gallager R. G. Low Density Parity Check Codes. Cambridge, MA: MIT Press, 1963. 90 p.

4. IEEE 802.11n/d1.0 Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. Mar. 2006., https://www.techstreet.com/standards/ieee-802-11n-2009?product_id=1643007 (Дата последнего обращения 24.03.2021).

5. Chairman's Notes of Agenda Item 7.1.5 Channel Coding and Modulation, document R1-1613710, 3GPP, Nov. 2016. [Online] Avaible: https://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/WG1_RL1/TSGR1_87/Docs/ R1-1613710.zip (Дата последнего обращения 24.03.2021).

6. Вересова А.М., Овчинников А.А. Об одном алгоритме декодирования пакетов для блочно-перестановочных низкоплотностных кодов XXII международная научная конференция Волновая электроника и инфокоммуникационные системы. Сборник статей. 2019. Ч. 1. С. 154–159.

7. Бакай К.А., Ильина Д.В., Овчинников А.А. О пакетной корректирующей способности вероятностных ансамблей блочно-перестановочных низкоплотностных кодов // XXII международная научная конференция Волновая электроника и инфокоммуникационные системы. Сборник статей. 2019. Ч. 1. С. 124–128.

8. Козлов А.В., Крук Е.А., Овчинников А.А. Подход к построению блочно-перестановочных кодов с малой плотностью проверок на четность // Изв. Вузов. Приборостроение. 2013. Т.56. №8. с. 9-14.

УДК 004.056

В. С. Коломойцев*
кандидат технических наук, доцент
К. Р. Коломойцева**
магистрант
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения
**Университет ИТМО

КОНТРОЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ В СИСТЕМАХ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

Работа посвящена исследованию методов повышения качества построения эффективных систем защиты информации. В работе предлагается метод контроля за корректным применением средств защиты информации, которыми располагает система защиты информации. Для реализации метода используется алгоритм расчета хэш-сумм. Проведено сравнение эффективности работы систем, использующей предложенный метод и без него в вопросе вносимых задержек обслуживания для систем с поэтапным обслуживанием поступающих запросов в систему. Показано, что системы, использующие данный метод уступают во вносимых задержках обслуживания. Однако, при этом, метод позволяет повысить степень защищенности системы от сложных информационных атак, за счет контроля порядка применения средств защиты.
Ключевые слова: защита информации; вычислительные системы; средства защиты информации; схема безопасного доступа; информационная безопасность; контроль работы.

V. S. Kolomoitcev*
PhD, Tech., Associate Professor
K. R. Kolomoytseva**
Postgraduate Student
*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
**ITMO University

MONITORING THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF MEANS OF PROTECTION IN INFORMATION PROTECTION SYSTEMS

The work is devoted to the study of methods for improving the quality of designing effective information protection systems. The paper proposes a method for monitoring the correct use of means of information protection available to the information protection system. To implement the method, an algorithm for calculating hash sums is used. A comparison of the performance of information protection systems using the proposed method and without it in the issue of introduced service delays for systems with phased servicing of incoming requests to the system is made. It is shown that the systems using this method are inferior in the introduced service delays. At the same time, it allows you to increase the degree of protection of the system from sophisticated information attacks by controlling the order of application of means of protection.
Keywords: Information security; computer systems; means of information protection; pattern of secure access; information security; monitoring of operation.

Введение

В состав современных автоматизированных систем входит множество различных элементов, в том числе отвечающих за обеспечение информационной защищенности данных, обрабатываемых и хранящихся в ней. Путь данных поступающих на оконечные узлы автоматизированной системы лежит через эти элементы. От того, к какой категории можно отнести поступающие данные зависит какие средства, меры и методы защиты необходимо будет использовать системе защиты информации (СЗИ), чтобы обеспечить требуемый уровень информационной безопасности в системе. Таким образом, при построении эффективной СЗИ необходимо не только использовать наиболее совершенные решения в области защиты информации, но и также осуществлять контроль над тем, что данные решения действительно применяются при работе СЗИ и, более того, что они применяются в требуемом порядке.

В качестве объекта исследования возьмем СЗИ, построенную на распространенной в настоящее время схеме – «Связующий узел». В состав такой СЗИ входят: оконечные узлы (элемент системы, к которому необходимо обеспечить доступ); “связующие узлы” (вычислительные узлы на которых располагаются элементы защиты системы); маршрутизаторы (или любые другие устройства, необходимые для коммутации оконечных узлов со “связующими узлами” и “связующих узлов” с узлами не входящими в состав системы) [1], [2]. Будем считать, что на оконечных узлах системы либо нет никаких средств защиты, либо они не представляют серьезной угрозы для возможного нарушителя и, тем самым, при оценке системы ими можно пренебречь.

Метод подтверждения выполнения функций элементами системы защиты информации

Различных элементов, которые включены в состав СЗИ огромное множество. При этом для разных типов и видов данных необходимо применять разные методы и меры защиты, которыми располагает СЗИ. Более того, нередко бывает, что и порядок применение элементов защиты может играть существенную роль в обеспечении высоко уровня информационной защищенности системы. Предложим метод, позволяющий осуществить контроль над тем, какие средства, меры и методы защиты информации применялись и в каком порядке для конкретных данных (запросов), обрабатываемых в системе.

Работа метода контроля выглядит следующим образом.

1. Данные (запрос) перед тем, как попасть на оконечное устройство системы, направляются на анализ в СЗИ, включающей в себя некоторый набор элементов защиты. Попав на первый элемент защиты и успешно пройдя его, происходит вызов операции расчета хэш-суммы, на вход которой в качестве ключа подается уникальный идентификатор элемента защиты (серийный номер, код-слово обозначающее данный элемент, краткое описание элемента защиты или любая другая последовательность по которой можно однозначно определить элемент защиты среди всех остальных, входящих в состав СЗИ) и

сами данные (запрос). После успешного расчета хэш-суммы данные (запрос) поступают на следующий элемент защиты информации.

2. После того, как данные успешно прошли второй элемент защиты, происходит повторный расчет хэш-суммы. Однако в сравнении с расчетом хэш-суммы на первом этапе, в данном случае на вход алгоритма вместо самих данных будет подаваться ранее полученная хэш-сумма. В качестве ключа, как и на первом этапе, выступает идентификатор текущего элемента защиты.

3. Данный процесс (шаг 2) повторяется вплоть до момента, когда не закончатся все требуемые для анализа запроса элементы защиты (и таким образом, будет n-раз произведен расчет хэш-сумм, где n – количество задействованных в проверке элементов защиты).

4. По окончанию всех проверок элементами защиты, запрос покидает СЗИ и направляется на оконечный узел системы. Оконечный узел системы имеет информацию об идентификаторах элементов защиты и порядке (правильном) их применения для конкретных данных (запроса). Он производит повторный расчет хэш-суммы, с учетом известной ему информации по элементам защиты и полученным данным и, в случае совпадения полученной и повторно рассчитанной хэш-суммы, делает заключение о корректности примененных средств и методов защиты. Если совпадение не происходит то оконечный узел отбрасывает данный запрос, как неудовлетворяющий правилам информационной безопасности.

Простота внедрения данного метода контроля за корректностью работы средств защиты СЗИ, обусловлена возможностью его использования в виде программного компонента (службы) в составе СЗИ. Таким образом, операция расчета хэш-суммы может быть вызвана на вычислительном узле в любой требуемый момент. В свою очередь, так как все средства защиты располагаются также на вычислительном узле (входят в его состав), то получить информацию о состоянии их работы, а также их контрольные параметры (в том числе идентификаторы) – не представляется сложным.

Оценка влияния метода на работу вычислительной системы

Пусть СЗИ представляет из себя вычислительный узел, в состав которого входит набор средств защиты, реализуемых программно или аппаратно-программно. Средства защиты можно активировать последовательно (поэтапно) в любом порядке. Вычислительный узел представим в виде одноканальной системы массового обслуживания (СМО) с общей бесконечной очередью и поэтапным выполнением запросов [3].

Запрос, попавший в СЗИ, с вероятностью $(1 - P_i)$ попадает на каждый последующий этап обслуживания системы $(i + 1)$. В случае, когда элемент системы обнаруживает какую-либо угрозу в поступающем запросе, то с вероятностью P_i – данный запрос покидает систему и начинается обслуживание следующего запроса из очереди. На этапе R запрос покидает систему как в случае обнаружения угрозы, так и в ином случае. Время выполнения этапов будем считать распределенным по показательному закону [3].

СМО типа *M/G/1* является частным случаем СМО с поэтапным обслуживанием [3]. Используя формулу Полячика-Хинчина, учитывая, что в состав СЗИ входит *M*-систем, ведущих обслуживание поступающих запросов, среднее время пребывания запроса в системе *T*, можно определить как [3]:

$$T_S = \bar{x} + \frac{\lambda \cdot x^{(2)}}{2(M - \lambda\bar{x})}.$$

Здесь $\bar{x}$ – среднее время обслуживания запроса; $x^{(2)}$ – второй начальный момент; λ – интенсивность входного потока.

В случае, когда время обслуживания каждого этапа – случайная величина, распределенная по показательному закону для определения первого и второго начальных моментов можно воспользоваться следующей формулой [4]:

$$B(s) = \left(\frac{\mu_1}{s+\mu_1}\right)P_1 + \left(\sum_{i=2}^{R-1} P_i \left(\prod_{j=1}^{i=1}(1-P_j)\right) \cdot \prod_{j=1}^{i-1}\left(\frac{\mu_j}{s+\mu_j}\right)\right) + \prod_{i=1}^{R}\left(\frac{\mu_i}{s+\mu_i}\right) \cdot \left(\prod_{j=1}^{R-1}(1-P_j)\right), \quad (1)$$

где μ_i и P_i – интенсивность обслуживания и вероятность покидания системы запросом (устранение угрозы на *i*-м этапе обслуживания); *R* – количество этапов обслуживания (обнаружения и устранения угроз и/или расчета хэш-сумм). P_i – можно определить по формуле расчета вероятности обнаружения и устранения угрозы СЗИ, состоящей из *i*-элементов [2].

Используя формулу $\overline{X^n} = (-1)^n A^{*(n)}(0)$, можно вычислить *n*-ый начальный момент случайной величины [3]. Первая производная *B(s)* соответствует первому начальному моменту, а также математическому ожиданию, а вторая производная *B(s)* соответствует второму начальному моменту.

Таким образом, для СЗИ, включающей три элемента защиты информации, в конце работы которых происходит подтверждение их работы, путем расчета хэш-сумм (шесть этапов обслуживания) и, зная, что $\mu_i = V_i^{-1}$, а также приняв $s = 0$, получим среднее время обслуживания:

$$\begin{aligned}\bar{x} = V_1P_1 + (1-P_1)\cdot P_2 \cdot (V_0 + V_1 + V_2) + (1-P_1)\cdot(1-P_2)\cdot P_3 \cdot (2V_0 + V_1 + V_2 + V_3) + \\ +(1-P_1)\cdot(1-P_2)\cdot(1-P_3)\cdot(3V_0 + V_1 + V_2 + V_3),\end{aligned} \quad (2)$$

где V_i – среднее время обслуживания i-го средства ЗИ, V_0 – среднее время расчета хэш-суммы.

Зная, что $\mu_i = V_i^{-1}$ и приняв $s = 0$, получим второй начальный момент:

$$\begin{aligned}x^{(2)} = 2\cdot P_1 \cdot V_1^2 + (1-P_1)P_2 \cdot (2V_1^2 + 3V_0V_2 + 4V_0^2 + V_1 + V_2 + V_0V_1) + \\ +(1-P_1)(1-P_2)P_3 \cdot (4V_0V_1 + 4V_0V_2 + 4V_0V_3 + 6V_0^2 + 2V_1V_3 + 2V_2V_3 + \\ +2V_3^2 + 2V_2^2 + 2V_1^2 + 2V_1V_2) + (1-P_1)(1-P_2)(1-P_3)(8V_0V_1 + 4V_0V_2 + \\ +9V_0V_3 + 12V_0^2 + 2V_3^2 + 2V_1^2 + V_2V_3 + 2V_2^2 + 2V_1V_2).\end{aligned} \quad (3)$$

Для стандартного вида СЗИ (без использования предлагаемого метода подтверждения), получим, что математическое ожидание и второй начальный момент равны:

$$\bar{x} = V_1 P_1 + (1-P_1)P_2(V_1+V_2) + (1-P_1)(1-P_2)(V_1+V_2+V_3), \quad (4)$$

$$x^{(2)} = 2(V_1^2(P_1 + P_2(1-P_1)) + V_2^2 P_2(1-P_1) + V_1 V_2 P_2(1-P_1) + V_3^2(1-P_1)\times$$
$$\times(1-P_2)) + (V_1^2 + V_1V_2 + V_2^2)(1-P_1)(1-P_2) + 2V_3(V_1+V_2)(1-P_1)(1-P_2). \quad (5)$$

В результате среднее время обслуживания для СЗИ, использующей предлагаемый метод будет равно: $T = T_S + T_{check} = T_S + n \cdot V_0 / (1 - \lambda_{end} \cdot n \cdot V_0)$, где n – количество элементов защиты в СЗИ, подтверждение работы которых требуется провести; λ_{end} – интенсивность входного потока для оконечных узлов, $\lambda_{end} = \lambda \cdot (1 - P_R)$. Однако в зависимости от использованного алгоритма хэширования T_N может иметь существенно меньшее значение.

В рамках данного исследования, в качестве алгоритма хэширования, возьмем алгоритм SHA-3 (Keccak). Данный алгоритм является последней версией алгоритма семейства SHA и позволяет за крайне короткие сроки проводить операцию хэширования больших объемов данных. Также, что немаловажно при использовании предлагаемого метода контроля работы средств защиты, алгоритм имеет возможность сократить время расчета хэш-сумм при реализации процедуры проверки хэш-суммы (повторный расчет) [4].

Пусть элементы СЗИ имеют следующие параметры:

- Вероятности обнаружения и устранения угрозы информационной безопасности СЗИ: $P_1 = 0{,}01$ (1%), $P_2 = 0{,}5$ (5%), $P_3 = 0{,}1$ (10%) – после одного, двух, трех элементов защиты, соответственно. Иными словами, система выполняет свои функции в штатном режиме и подвергается некоторым атакам разного вида (часть запросов являются зловредными и система может с ними бороться).
- Среднее время обслуживания: $V_1 = 1$ мс, $V_2 = 2$ мс, $V_3 = 3$ мс, $V_0 = 0{,}01$ мс.
- Вероятность успешного расчета хэш-суммы (P_0) и проверки корректности расчета хэш-сумм (P_N) – будем считать равной 1 (100%).
- Кратность резервирования равна: $M = 5$.
- Длина идентификатора – 256 бит.
- Алгоритм хэширования – SHA-3 (256 бит).
- Интенсивность входного потока, поступающего на оконечные узлы: $\lambda_{end} = 0.9 \cdot \lambda$

Тогда для СЗИ, использующей метод подтверждения (T_1) и СЗИ без подтверждения (T_2), в состав которых входит три элемента защиты, получим зависимость показанную на рис. 1.

В табл. 1, представлены некоторые значения задержек обслуживания для рассмотренных методов, а также оценена разница в задержке обслуживания между ними.

Как видно из таблицы, задержки обслуживания в системе растут в зависимости от интенсивности входного потока. При этом разница между вариантами построения СЗИ становится более существенной с увеличением значения интенсивности входного потока.

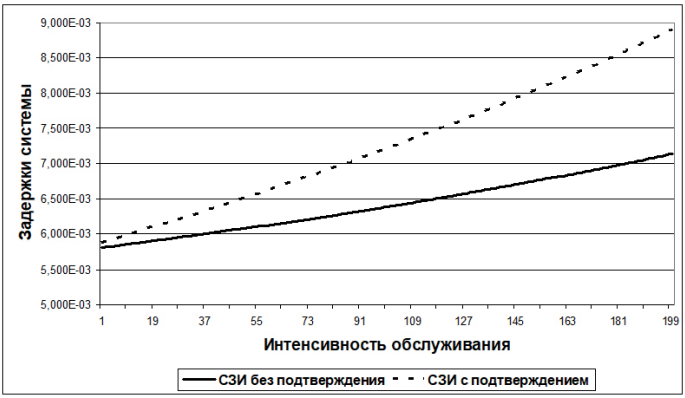


Рис. 1. Зависимость задержек обслуживания между способами построения СЗИ

Таблица 1

Выборочные значения задержек обслуживания

λ	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**	**90**	**100**	**160**	**170**	**180**	**190**	**200**
T_1, мс	5,85	5,9	5,96	6	6,07	6,13	6,19	6,26	6,31	6,38	6,81	6,89	6,97	7,05	7,14
T_2, мс	5,98	6,11	6,23	6,36	6,5	6,63	6,77	6,91	7,06	7,2	8,17	8,35	8,53	8,71	8,9
T_1 / T_2, %	2,2	3,4	4,6	5,7	6,9	8,12	9,3	10,5	11,7	12,8	20	21,1	22,3	23,5	24,7

С момента разработки и внедрения алгоритма хэширования SHA-3 было проведено несколько исследований по изучению влияния его работы на производительность вычислительных систем [5]. Проведенные исследования показали, что производительность систем в среднем снижается на 3-5%, с достижением скорости хэширования в 320 Мбит/сек. Учитывая данный факт и полученные результаты, показанные в Таблице 1, можно сказать, что разница во вносимых задержках обслуживания в СЗИ, использующих предлагаемый метод и без него, будет даже более существенной, чем показано в таблице. Вызвано это тем, что «потерянные» вычислительные ресурсы СЗИ может использовать на работу элементов защиты и, тем самым, используя предлагаемый метод, эффективность работы элементов защиты будет снижена. Стоит также учитывать, что при применении данного метода, помимо полезных данных, в канале будут присутствовать пакеты, содержащие хэш-суммы, что в некоторой степени будет снижать его пропускную способность.

Однако одним из важных факторов использования метода может стать то, что так как в случае нарушения порядка применения необходимых средств защиты итоговая хэш-сумма будет иной, то для злоумышленника снижается вероятность успешной реализации сложных атак, зависящих от анализа связанного набора данных (нескольких запросов) [6].

Заключение

В работе предложен метод контроля корректности применения методов и средств по защите информации в рамках системы защиты информации, использующей схему построения «Связующий узел», использующий алгоритм расчета хэш-сумм. Метод позволяет проконтролировать какие элементы защиты, имеющеюся в системе защиты информации были применены и в каком порядке.

Проведено исследование эффективности метода с точки зрения вносимых им задержек обслуживания в сравнении с типовым видом системы защиты информации. Показано, что система, использующая предложенный метод контроля обладает большими задержками обслуживания, чем типовая система. Также с ростом интенсивности входного потока разница между вариантами построения схем увеличивается.

Библиографический список

1. Kolomoitcev V. S. "Effectiveness of Options for Designing a Pattern of Secure Access ‘Connecting Node’," 2020 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF), Saint-Petersburg, Russia, 2020. P. 1-5, doi: 10.1109/WECONF48837.2020.9131509.

2. Коломойцев В. С., Богатырев В. А. Эффективность поэтапного применения средств защиты с пересечением областей обнаружения угроз // Программные продукты и системы. 2018. Т. 32. № 3. С. 557-564

3. Клейнрок Л. "Теория массового обслуживания", Пер. с англ./Пер. И.И.Грушко; ред. В.И.Нейман. М.:Машиностроение, 1979. 432 с.

4. Chang Shu-jen, Perlner Ray, Burr William E., Turan Meltem Sonmez, Kelsey John M. Third-Round Report of the SHA-3 Cryptographic Hash Algorithm Competition. NIST: National Institute of Standards and Technology. 2012. Режим доступа: https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ir/2012/NIST.IR.7896.pdf [Дата обращения 22.03.21]

5. San Jose C.C.G. "Comparative and security performance analysis of SHA-3", Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. Volume 11, Issue 11 Special Issue, 2019, Pages 960-966

6. Shterenberg, S.I., Poltavtseva, M.A. A Distributed Intrusion Detection System with Protection from an Internal Intruder. Aut. Control Comp. Sci. 52, 945–953 (2018).

УДК 612.843, 721

О. И. Красильникова*
кандидат технических наук, доцент
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОСПРОИЗВОДИМЫХ В СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОМ ИЗОБРАЖЕНИИ ИНТЕРВАЛОВ ГЛУБИНЫ ПРОСТРАНСТВА

На основе выполненных расчетов показано, какая глубина пространства может быть обеспечена при выборе конкретных угловых значений положительного и отрицательного экранных параллаксов на заданных расстояниях наблюдения. Полученные данные сопоставлены с результатами экспериментальных исследований, выполненных различными авторами.
Ключевые слова: глубина пространства в стереоскопическом изображении, критические значения экранных параллаксов.

O. I. Krasilnikova*
PhD, Tech., Associate Professor
*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

DETERMINATION OF THE SPACE DEPTH INTERVALS REPRODUCED IN A STEREOSCOPIC IMAGE

Based on the performed calculations, it is shown what depth of space can be provided when choosing specific angular values of positive and negative screen parallaxes at given observation distances. The obtained data are compared with the results of experimental studies carried out by various authors.
Keywords: depth of space in a stereoscopic image, critical values of screen parallaxes.

Введение

В данной статье рассмотрена проблема определения воспроизводимых в стереоскопическом изображении интервалов глубины пространства.

Необходимость воспроизведения достаточной глубины пространства в стереоскопическом изображении при сохранении для зрителя условий комфортного просмотра 3D-графики и фильмов стимулирует проведение все новых исследований в данной области. Важное место среди этих работ безусловно занимают фундаментальные исследования, целью которых является изучение особенностей зрительного восприятия человеком стереоскопических изображений и на этой основе разработка практических методов и рекомендаций, ориентированных на устранение целого ряда проблем. К таким проблемам относятся как проблемы, связанные с дискомфортом и усталостью [1–3], нередко возникающими у зрителя при просмотре 3D-контента, так и проблемы недостаточно реалистического восприятия 3D-сцен, обусловленного целым рядом факторов, среди которых большую роль играет ограниченность глубины сцены в восприятии зрителя [4, 5].

Расчет интервалов глубины пространства в стереоскопическом изображении

Для расчета интервалов глубины пространства в стереоскопическом изображении необходимо определять расстояния до видимых на изображении объектов. Как известно [1], расстояние до мнимого изображения объекта на стереоскопическом изображении d_{ob} может быть рассчитано следующим образом:

$$d_{ob} = bd_{sc} / (b - p), \tag{1}$$

где p – экранный параллакс, b – расстояние между зрачками глаз зрителя, d_{sc} – расстояние от зрителя до экрана, на котором представлено изображение. Введенные обозначения поясняются рис. 1. Точками Л и П показаны места на экране, через которые проходят вертикальные световые границы правого и левого компонентов стереоскопического изображения.

Анализ формулы (1) позволяет сделать выводы о возможных путях увеличения видимой глубины пространства в стереоскопическом изображении: за счет увеличения расстояния, с которого производится наблюдение, а также за счет увеличения абсолютных значений положительного и отрицательного экранных параллаксов. Рассмотрим это подробнее.

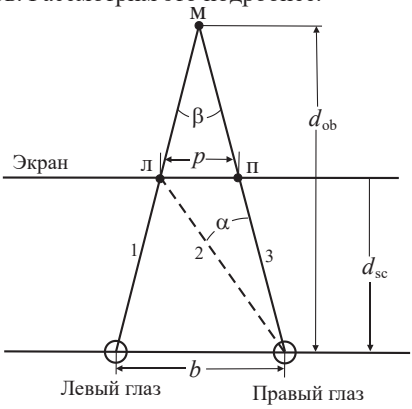


Рис. 1. Схема, поясняющая наблюдение стереоскопического изображения

То, что в домашних условиях просмотр 3D-фильмов не обеспечивает желаемого эффекта трехмерности, поскольку наблюдение стереоскопических изображений осуществляется с небольших расстояний (2–3 метра), является хорошо известным фактом. Просмотр 3D-фильмов в условиях кинотеатров обеспечивает существенно большую видимую глубину пространства. Стремление еще больше увеличить интервалы глубины влечет за собой необходимость увеличения абсолютных значений положительного и отрицательного экранных параллаксов, что в конечном итоге приводит к возникновению у зрителей ощущения дискомфорта и эффекта двоения изображения. В связи с этим весьма ак-

туальной задачей стала необходимость определения критических значений положительного и отрицательного экранных параллаксов, после превышения которых у зрителя возникают отмеченные нежелательные явления.

Учитывая, что критическое значение положительного параллакса обеспечивает максимальную глубину ($d_{\text{ob max}}$), а критическое значение отрицательного параллакса – минимальную глубину ($d_{\text{ob min}}$), которые могут быть воспроизведены на стереоскопическом изображении без его “двоения” и ощущения дискомфорта, путем несложных преобразований формулы (1) можно найти выражения для определения этих значений [1]:

$$d_{\text{ob max}} = d_{\text{sc}} \Big/ \left(1 - d_{\text{sc}} \text{tg} \left|\overline{\alpha_{\text{cr}}}\right| / b\right) , \tag{2}$$

$$d_{\text{ob min}} = d_{\text{sc}} \Big/ \left(1 + d_{\text{sc}} \text{tg} \left|\overline{\alpha_{\text{cr}}}\right| / b\right) , \tag{3}$$

где $\left|\overline{\alpha_{\text{cr}}}\right|$ – абсолютная величина среднего критического значения углового размера экранного параллакса.

Для выполнения расчетов максимальной и минимальной глубины для наблюдения в условиях кинотеатра было принято, что b=65 мм, размер экрана 14×7 метров, расстояние наблюдения из среднего ряда 6,45 метра. Для значения $\left|\overline{\alpha_{\text{cr}}}\right|$ =17’ были получены показанные на рис. 2 графики зависимости максимальной $d_{\text{ob max}}$ (кривая 1) и минимальной $d_{\text{ob min}}$ (кривая 2) глубин на стереоскопическом изображении от расстояния наблюдения d_{sc} без возникновения у зрителя нежелательных явлений [1].

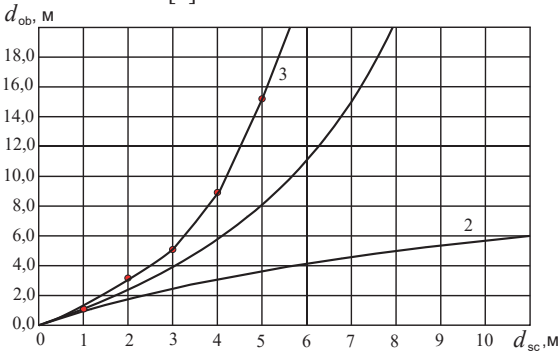


Рис. 2 Графики зависимости максимальной $d_{ob\ max}$ (кривая 1) и минимальной $d_{ob\ min}$ (кривая 2) глубин на стереоскопическом изображении от расстояния наблюдения d_{sc} при $\left|\overline{\alpha_{\text{cr}}}\right|$=17’. Кривая (3) соответствует зависимости $d_{ob\ max}$ от d_{sc} при $\left|\overline{\alpha_{\text{cr}}}\right|$=30’

Обратим внимание на то, что в расчетах максимальной и минимальной глубины было принято одинаковое среднее абсолютное критическое значение углового размера экранного параллакса, полученное в предположении, что аб-

солютные величины критических значений положительных и отрицательных экранных параллаксов примерно равны. Основанием для такого решения послужили выполненные нами эксперименты, подробно описанные в [2], в которых приняли участие 11 испытуемых, а общее количество выполненных измерений превысило 1500. На самом деле критическое значение углового размера положительного экранного параллакса на специальных тестовых изображениях в среднем несколько превысило значение углового размера положительного экранного параллакса, но разница оказалась небольшой, она составила примерно 10%. При проведении экспериментов на специальных тестовых изображениях были получены значения $\overline{|\alpha_{cr}|}$, не превышающие 10’, а на сюжетных изображениях и положительные, и отрицательные угловые критические значения экранного параллакса приближались к одному градусу, а иногда и превышали его [2]. Кроме того, при выполнении этой работы были также приняты во внимание данные из статьи [3]. В ней указывается, что угловое значение экранного параллакса, при котором отсутствует эффект “двоения” изображения, равен 60’…70’. Однако заметим, что эксперименты, описанные в [1, 2] позволили сделать вывод, что ощущение дискомфорта появляется у зрителей задолго до возникновения эффекта “двоения” изображения, что обусловило выбор для расчетов существенно меньшего значения. Было также учтено, что комфортным для кинотеатров считается среднее значение отрицательного параллакса, равное -0.5% от ширины экрана. Пересчет приведенной величины в угловое значение экранного параллакса для кинотеатра «Аврора» при просмотре из среднего ряда дал значение равное 15‘ [1]. В то же время известно [6], что среднее значение положительного параллакса для комфортного просмотра равняется 1% от ширины экрана, а это создает предпосылки для расчета величин $d_{ob\ max}$ и $d_{ob\ min}$ пользоваться не одинаковым средним значением $\overline{|\alpha_{cr}|}$, а использовать для расчетов положительное критическое значение углового размера экранного параллакса вдвое большее, чем отрицательное, т. е. $\overline{|\alpha_{cr+}|} = 2\overline{|\alpha_{cr-}|}$. Эти расчеты были выполнены и представлены на рис. 2 в виде кривой 3, показывающей зависимость максимальной глубины ($d_{ob\ max}$) на стереоскопическом изображении без его двоения и ощущения дискомфорта от расстояния наблюдения d_{sc} при α_{cr+}=30’.

Анализ результатов

Анализ хода кривых, представленных на графике (рис. 2), показывает, что с увеличением расстояния, на котором находится зритель от экрана, интервал глубины, не сопровождающийся даже ощущением дискомфорта для зрителя, существенно возрастает. При этом расстояние в сторону больших дальностей увеличивается существенно быстрее. Для графиков, полученных для углового размера экранного параллакса $\overline{|\alpha_{cr}|}$=17’ уже на расстоянии от экрана в 8 метров интервал дальностей, при воспроизведении которых у зрителя не появляется ощущение дискомфорта, составляет примерно 15 метров.

Полученные новые данные, соответствующие случаю, когда для положительных значений параллакса принимается критическое значение углового размера экранного параллакса α_{cr+}=30’ (кривая 3), показывают, что такой же интервал дальностей в 15 м может быть получен уже при расстоянии наблюдения в 5,5 м, что является важным для условий показа 3D-фильмов в условиях кинотеатров.

Представленные результаты интересно сопоставить с результатами, полученными нами ранее в ходе экспериментальных исследований, описанных в [2]. Эти эксперименты были посвящены измерению максимальных значений угловых значений экранных параллаксов, которые имеют место в известных 3D-фильмах, различающихся как технологией изготовления, так и жанром. Фильмы “Сталинград” (2013 г.) и “Хранитель времени” (2011 г.) были сняты в версии 3D посредством стереокамеры, версия 3D-фильма “Титаник” (2012 г.) была получена путем конвертации из 2D-формата, особенностью фильма “Шрек” (2003 г.) является то, что это анимационный фильм, созданный на основе использования технологий компьютерной графики. Из этих фильмов были отобраны 60 кадров. В каждом из кадров производилось измерение одного максимального положительного и одного максимального отрицательного параллаксов. На основе полученных при измерениях значений параллаксов в пикселях были рассчитаны угловые значения экранных параллаксов. Это позволило учесть размер изображения и расстояние от зрителя до экрана для типичного 3D-кинотеатра. По результатам измерений была рассчитана гистограмма распределения угловых значений экранных параллаксов α, представленная на рис. 3.

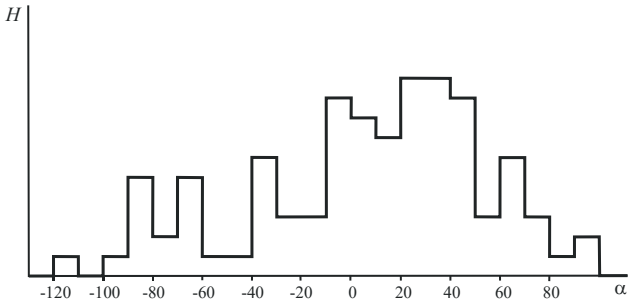


Рис. 3. Гистограмма распределения угловых значений экранных параллаксов

Анализ полученных данных показал, что в выбранных для экспериментов фильмах в основном преобладали положительные параллаксы, составляющие 2/3 от общего количества. Величина углового размера экранного параллакса чаще всего не превышала установленных критических значений, хотя наблюдалось и немало случаев, когда угловой размер экранного параллакса превосходил 1,5 градуса, что вызывало негативные явления у зрителей. Кроме того, хорошо видно, что создателями 3D-фильмов игнорировался факт, что для ком-

фортного просмотра в кинотеатрах допустимые значения отрицательных параллаксов должны быть примерно вдвое меньше положительных. Видимо, сыграло роль стремление создать эффект от перенесения объектов в пространство зрительного зала. В то же время следует сказать, что желание не потерять зрительскую аудиторию из-за появления дискомфорта и двоения изображений побуждало производителей кинопродукции все-таки сдерживать стремление повышать эффект от просмотра 3D-фильмов за счет увеличения параллакса. Более того, на основе экспериментальных исследований [5] было установлено, что видимая глубина сцен в фильмах на протяжении целого ряда лет неуклонно уменьшалась. За некоторую точку отсчета и уровень для сравнения был взят вышедший на экраны в 2009 г. фильм «Аватар». Финансовый успех этого фильма вполне понятным образом стимулировали бурный рост кинопроизводства 3D-фильмов, следствием чего стало появление немалого числа фильмов невысокого качества, значительно уступающих фильму «Аватар» по целому ряду параметров, и, в первую очередь, по создаваемому ощущению глубины сцен. Данные, полученные авторами статьи [5], касаются тенденций изменения технического качества стереокино и были получены на основе анализа более 100 как отснятых, так и конвертированных стереофильмов по 10 метрикам качества. Анализ данных, представленных на графиках этой статьи, показывает, что видимая глубина фильмов плавно уменьшалась до весны 2012 года. Авторы статьи связывают это, в первую очередь, с большим количеством исков к кинотеатрам и студиям из-за головной боли, возникающей у зрителя при просмотре 3D-фильмов, что подчеркивает важность обсуждаемой в нашей работе проблемы. После 2012 г. видимая глубина фильмов начала возрастать, но очень незначительно. В этом, по-видимому, сыграл свою роль накопленный в процессе стереосъемки и конвертации из 2D в 3D опыт.

Заключение

В данной работе получены значения воспроизводимых в стереоскопическом изображении интервалов дальностей при заданных расстояниях наблюдения и выборе допустимых значений как положительного, так и отрицательного экранного параллакса в условиях, когда у зрителя не появляется не только двоение изображения, но и ощущение дискомфорта. Сопоставление полученных в данной работе и в ряде других работ теоретических результатов с накопленными данными экспериментальных исследований позволяет делать обоснованные рекомендации к выбору параметров при создании 3D-контента как методом стереосъемки, так и путем конвертации из 2D, а также в процессе редактирования полученного материала [7].

Библиографический список

1. Красильников Н.Н. Влияние расстояния наблюдения на глубину пространства воспроизводимую стереоскопическим изображением // Оптический журнал. 2016. Т83. № 8. С. 68–76.

2. Красильников Н.Н., Красильникова О.И. Исследование критического значения экранного параллакса // Информационно-управляющие системы. 2016. № 2. С. 19–25.

3. Федоров С. Природа объема // Журнал «625». 2010. №3. С.20–25.

4. Красильников Н.Н., Красильникова О.И. Исследование восприятия 3D–объектов зрительной системой человека для разработки методов конвертации 2D- изображений в стереоскопические изображения // Оптический журнал. 2015. Т. 82. № 10. С. 1–8.

5. Ватолин Д.С., Боков А.А., Федоров А.А. Тенденции изменения технического качества стереокино –5 лет после «Аватара»// Мир техники кино. 2015. Т. 9. № 3(37). С. 17–28.

6. Почему от 3D болит голова / Часть 4: Параллакс. URL: https://habr.com/ru/post/378387/ (дата обращения 12.03.2021).

7. Красильников Н.Н., Красильникова О.И. Проблемы редактирования 3D-изображений и видео // Оптический журнал. 2018. Т. 85. № 5. С. 1–8.

УДК 004.738.5

М. А. Миронов*
студент
А. С. Петров*
студент
К. В. Аникин*
студент
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения

АНАЛИЗ СОЕДИНЕНИЯ УСТРОЙСТВ В СЕТИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

В статье анализируется различные сетевые соединения и протоколы используемые в сети интернета вещей, и определяется какие из вариантов являются наиболее подходящими для повседневного использования.
Ключевые слова: интернет вещей, технологии, умный дом, устройства, принципы.

M. A. Mironov*
Student
A. S. Petrov*
Student
K. V. Anikin*
Student
*St. Petersburg University of Aerospace Instrumentation

THE NEED TO USE THE INTERNET OF THINGS IN THE DEVELOPMENT OF RADIO EQUIPMENT

The article analyzes various network connections and protocols used in the Internet of Things network, and determines which of the options are most suitable for everyday use.
Keywords: internet of things, technologies, smart home, device, principles.

Введение

Интернет вещей – словосочетание, подразумевающее концепцию соединения большого количества вещей в единую общую сеть. Радиотехническая устройства обмениваются данными через Интернет, передавая информацию и обрабатывая ее, собирая данные об окружающей среде, о состоянии здоровья, устройства обрабатывают данные и предлагают, например, обратиться к врачу, по какому маршруту быстрее всего добраться до места назначения, включите или выключите свет. Интернет – это глобальная сеть, построенная на известных стандартах: например, WWW, но нет никаких препятствий для подключения к ней сети вещей или устройств.

Сеть вещей

Интернет состоит из различных сетей, которые решают конкретные задачи, практически не связанные друг с другом. Например: система умного дома,

которая может контролировать подачу электроэнергии, следить за чистотой и температурой воздуха; система контроля работы двигателя автомобиля, контролирует подачу топлива, воздуха и количество масла. С точки зрения инфокоммуникаций Интернет вещей можно записать в виде формулы:

Интернет вещей = датчики + данные + сети + услуги [1].

Концепция IoT – важная отрасль для дальнейшего развития индустрии инфокоммуникаций, что подтверждается позицией ITU (Международного союза электросвязи).

Основы технологии

Основные принципы Интернета вещей основаны на трех вещах: повсеместное распространение инфраструктуры связи; идентификация каждого объекта; связь объектов через персональную сеть или Интернет, к которому они подключены. Разница между Интернетом людей и Интернетом вещей проявляется как таковая: сосредоточение внимания на вещах, а не на людях; количество подключенных объектов значительно больше; значительно меньшие объекты и низкая скорость передачи данных; сосредоточьтесь не на аспектах общения, а на чтении информации; создание альтернативных стандартов и как следствие – новой инфраструктуры. Если вы посмотрите на определение из Рекомендации МСЭ-Т Y.2060, IoT – это глобальная инфраструктура информационного общества, которая предоставляет расширенные услуги путем организации связи между вещами, которые существуют и развиваются в совместных коммуникационных и информационных технологиях, где вещи являются физическими или физическими. виртуальный объект, который можно объединить и идентифицировать через сети связи; устройство – это часть оборудования с коммуникационными возможностями и дополнительными возможностями для обнаружения, активации вещи, сбора, хранения и обработки данных [2].

Способы соединения, применяемые для интернета вещей

Сетевые соединения могут быть организованы с использованием различных технологий связи, таких как: сети разных поколений (1-5G), спутниковая связь (VSAT), LPWAN.

VSAT – это технология спутниковой связи, основанная на небольших спутниковых станциях. Сети построены на основе геостационарных спутников-ретрансляторов, что позволяет упростить конструкцию абонентских терминалов и снабдить их простыми фиксированными антеннами без системы спутникового слежения, которая должна принимать сигнал от земной станции, усиливать его и отправлять. Обратно на землю. Важными характеристиками спутника являются мощность бортовых передатчиков и количество радиочастотных каналов.

LPWAN – это коммуникационный подход, используемый для устройств и больших беспроводных телеметрических сетей. Его особенность – низкое энергопотребление и широкий территориальный охват. В настоящее время технологии беспроводной передачи имеют три характеристики: дальность действия, скорость и энергоэффективность.

Из упомянутых выше технологий связи наиболее популярная LPWAN в отличии от VSAT имеет меньшую энергозатратность одного заряда может хватить до 10 лет и достаточную дальность до 10 км, при этом стоимость достаточно низкая. Выбор VSAT подходит только тогда, когда отсутствуют другие способы получить интернет-доступ.

Сеть вещей является частью IoT, она обеспечивает взаимодействие различных интеллектуальных объектов с использованием унифицированного идентификатора ресурса (URI), HTTP (протокол передачи гипертекста), REST (передача репрезентативного состояния) и других.

Протоколы соединения между устройствами

Основным фактором для выбора устройства является его энергопотребление затраченное для коммуникации между объектами. Чем меньше потребляет энергии устройство, тем дольше прибор сможет оставаться без обслуживания.

В большинстве случаев интерфейс выполнен в виде веб-ресурса с графическим интерфейсом. Для доступа в Интернет устройство должно иметь встроенный RESTful API. Недостатком является фиксированный сетевой адрес, зависящий от провайдера.[3] Другой – ограничение количества подключений к устройству из-за низкого качества связи и слабых вычислительных ресурсов. В этом случае, конечно, можно будет внедрить высокопроизводительное оборудование, но это повлечет за собой увеличение энергопотребления и заставит пользователей подключать свои устройства к постоянным источникам электроэнергии.

Доступ к шлюзу используется, если вещи не имеют встроенной поддержки протоколов IP и HTTP, но поддерживают проприетарные протоколы ZigBee, Bluetooth и Z-Wave.

Wi-Fi – надежное беспроводное решение имеющее повсеместную доступность инфраструктуры, высокую скорость и является глобальным стандартом связи, однако он не подходит для подключения множества устройств так как имеет топологию «звезда», из-за чего подход создаёт единую точку отказа.

Основные параметры, а именно диапазон покрытия и скорость, различаются в зависимости стандарт 802.11 и в большинстве случаев одного устройства достаточно, чтобы обеспечить небольшую квартиру.

Множества устройств, внушительная скорость не является важным параметром, для передачи данных с устройств выдающих сигналы смены состояния или результаты измерений. Как сказано выше, топология является важным недостатком. Как только маршрутизатор выходит из строя, вся сеть сразу перестаёт взаимодействовать с другими элементами. Например связь между ноутбуком и телефоном через Wi-Fi так же не является прямой, информация с одного устройства передается сначала на маршрутизатор, а только потом на второе устройство.

ZigBee – протокол который широко используется в беспроводных коммуникационных технологиях современности. Он использует mesh-сеть и является открытым стандартом беспроводной связи, что выглядит привлекательным с

точки зрения разработчиков. Особенностью так же является ориентация на бюджетных потребителей, и низкое энергопотребление, отдельные устройства могут проработать до двух лет без замены элемента питания. Протокол способен поддерживать до 65 тысяч узлов. Данный протокол плохо справляется при условиях сильных помех создаваемых другими устройствами. Протокол имеет широкий спектр расширенных мер для обеспечения защиты данных при взаимодействии устройств, но производители устройств не обязаны их внедрять полностью, что позволяет злоумышленникам красть информацию, передающуюся между устройствами. Так же как и Wi-Fi, ZigBee работает на частоте 2.4 МГц который и так занят другими устройствами, и с каждым годом ситуация не будет становиться лучше.

Почти 20 лет на рынке существует протокол под названием Z-Wave имеющий беспроводное соединение и ультранизкое энергопотребление. В отличие от ZigBee который использует маршрутизацию от адресата Z-Wave доставляет пакеты, к отдельным узлам сети используя схему маршрутизации от источника сообщений. У каждой сети есть свой основной контроллер, который подключает новые устройства и удаляет старые, составляет карты маршрутизации и обеспечивает безопасное подключение. Так же протокол является закрытым для разработчиков, однако и здесь есть плюс, протокол единственный на рынке домашней автоматизации, который может гарантировать обратную взаимосовместимость используемых устройств вне зависимости от производителя. Для снижения нагрузки на сеть существует ограничение на использование промежуточных узлов. Z-Wave работает в нелинцензируемой частоте диапазона 800-900 Мгц, что увеличивает способность сигнала преодолевать различные преграды.

Главным и почти единственным недостатком является различные частоты работы в разных странах. Для России это 869 МГц, а в США 908,42 МГц что означает, что устройства могут быть несовместимы с устройствами из разных стран.

Заключение

Исходя из всего, что описано выше лучшим вариантом подключения устройств будет происходить через соединение LPWAN, используя протокол Z-Wave. Такое соединение обеспечит высокую скорость и большую зону покрытия даже с преградами, при низких энергозатратах, с большим количеством возможных устройств для подключения. В условиях невозможности использования LPWAN существует возможность замены на спутниковую связь VSAT или мобильную сеть, увеличивая стоимость. При меньшем бюджете стоит рассмотреть устройства поддерживающие протокол ZigBee, либо Wi-Fi, позволяющие уменьшить количество дополнительных устройств, либо исключить их вовсе, при этом сделав сеть более шаткой.

Библиографический список

1. Маркеева А.В. интернет вещей возможности и угрозы для современных организация// СМИ и массовые коммуникации 2016 С. 3-5.

2. А.В. Росляков, С.В. Ваняшин, А.Ю. Гребешков. Интернет вещей: учеб. пособие. Самара: ПГУТИ, 2015. 200 с.

3. Интернет вещей управляй устройствами через интернет http://wiki.amperka.ru/_media/iot:iot-yodo.pdf. (дата обращения 24.03.2021).

4. Z-Wave – новый стандарт в беспроводном дистанционном управлении. Https://www.z-wave.ru/o-z-wave/chto-takoe-z-wave/novyj-standart.html (дата обращения: 24.03.2021).

5. Богданова И.Ф., Богданова Н.Ф. Интернет вещей возможности и угрозы для современных организация // Социология науки и технологий 2016. С. 2-4.

УДК 621.391

А. А. Овчинников*
кандидат технических наук, доцент
А. А. Фоминых*
магистрант
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения

О НЕКОТОРЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯХ ИРРЕГУЛЯРНЫХ НИЗКОПЛОТНОСТНЫХ КОДОВ В КАНАЛАХ С ДВУМЯ СОСТОЯНИЯМИ

В работе рассматривается задача декодирования низкоплотностных кодов в каналах с памятью. Приводятся весовые распределения низкоплотностных кодов для ряда наборов параметров канала Гилберта-Эллиота и канала Гилберта. Представлены результаты декодирования кодов, построенных по полученным распределениям, в канале Гилберта-Эллиота.
Ключевые слова: низкоплотностные коды, канал Гилберта-Эллиота, оценочное декодирование.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № FSRF-2020-0004, «Научные основы построения архитектур и систем связи бортовых информационно-вычислительных комплексов нового поколения для авиационных, космических систем и беспилотных транспортных средств».

A. A. Ovchinnikov*
PhD, Tech., Associate professor
A. A. Fominykh*
Postgraduate Student
*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

ABOUT SOME IRREGULAR DEGREE DISTRIBUTIONS OF LDPC CODES IN TWO-STATE CHANNELS

The paper examines the decoding of low-density parity-check codes in channels with memory. Exact degree distributions for several parameters of Gilbert-Elliott channel and Gilbert channel are given. The decoding performance of low-density parity-check codes constructed for received distributions are presented under belief propagation decoding over Gilbert-Elliott channel.
Keywords: low-density parity-check codes, Gilbert-Elliott channel, density evolution.

Введение

При рассмотрении математических моделей каналов зачастую считается, что возникающие в них ошибки являются независимыми, но в реальных каналах связи ошибки, появляющиеся при передаче, не являются независимыми, то есть в канале наблюдается так называемый эффект группирования ошибок, который обычно называют «памятью». Исправление пакетов ошибок является давно известным направлением рамках теории кодирования, однако оно разработано гораздо слабее методов борьбы с независимыми ошибками. Но тот факт,

что использование эффекта памяти позволяет достичь большей пропускной способности, наталкивает ученых на новые исследования в области исправления пакетов ошибок. Типичным подходом для исправления ошибок в случае их группирования является декорреляция канала связи искусственным образом, однако такой подход снижает эффективность использования избыточности, вносимой кодом. В работах [1-3] предлагается иной способ, связанный с оценкой состояний канала в процессе декодирования, позволяющий использовать эффект группирования ошибок для уменьшения вероятности ошибки. В работе будут приведены весовые распределения для низкоплотностных кодов [4], оптимизированные под некоторые наборы параметров каналов Гилберта и Гилберта-Эллиота. Приведены графики вероятности ошибки для кодов, построенных по полученным весовым распределениям [4].

Каналы с памятью

Пусть $X = \{x_1, \ldots, x_N\}$ и $Y = \{y_1, \ldots, y_N\}$ представляют собой множества входных и выходных сообщений, соответственно. Будем рассматривать только дискретные по времени каналы, т. е. считать, что в момент времени i передается сообщение x_i, и принимается сообщение y_i, где i – целое число. Чтобы задать вероятностную модель канала связи, необходимо для любых сообщений $x \in X$, $y \in Y$ задать так называемую переходную вероятность $p(y|x)$. Канал, в котором выходное значение символа в любой момент времени зависит только от значения входного символа в этот же момент времени, называется каналом без памяти, то есть символы канала независимы:

$$p(\mathbf{y} \mid \mathbf{x}) = \prod_{i=1}^{N} p(y_i \mid x_i).$$

Соответственно, в случае наличия такой зависимости, канал называется каналом с памятью. Важной характеристикой канала связи является пропускная способность C, характеризующая возможность надёжной передачи, то есть обеспечения сколь угодно малой вероятности ошибки. Доказательство существования пропускной способности является важнейшим результатом работ К.Шеннона [5]. К. Шенноном было показано, что при скоростях передачи, меньших пропускной способности, существует код, обеспечивающий надёжную передачу (и более того – существует такой код со скоростью, сколь угодно близкой к C). При скоростях, больших пропускной способности канала, надёжная связь невозможна. Таким образом, в теории помехоустойчивого кодирования ставится задача построения кодов с максимально возможной скоростью, при этом обеспечивающих наименьшую вероятность ошибки.

Канал Гилберта-Эллиота

Как было сказано ранее, при передаче информации по реальным каналам связи на сигнал воздействуют эффекты, которые могут быть описаны математической вероятностной моделью, в которой искажения отельных символов не являются независимыми событиями. Простейшая модель – канал с конечным

числом состояний с двумя состояниями [6]. В рамках этой модели могут рассматриваться марковская модель [7], модели Гилберта [8] и Гилберта-Эллиота [9].

Модель Гилберта-Эллиота является одной из наиболее ранних моделей каналов с памятью. Модель была предложена Е. Эллиотом в 1963 г. и является общим случаем модели Гилберта, представленной в 1960 г. Модель Гилберта-Эллиота описывает дискретный канал с памятью, в котором состояние канала зависит от предыдущего состояния. Канал описывается двумя состояниями: «хорошим» – G и «плохим» – B. В «хорошем» состоянии вероятность битовой ошибки в канале равна p_G, в «плохом» состоянии – p_B. В модели Гилберта предполагается, что $p_G = 0$. Вероятность перехода из «хорошего» состояния в «плохое» – P_{GB}, а вероятность перехода из «плохого» состояния в «хорошее» – P_{BG}. В любой момент времени канал может перейти из одного состояния в другое, при этом вероятности перехода могут быть отличны друг от друга. Безусловные вероятности нахождения в состояниях B и G:

$$P_B = \frac{P_{GB}}{P_{GB} + P_{BG}},$$

$$P_G = \frac{P_{BG}}{P_{GB} + P_{BG}}.$$

Пропускная способность канала Гилберта-Эллиота может быть вычислена как в случае идеального знания сторонней информации о состояниях канала, так и без этого знания. Если последовательность состояний канала во время передачи в точности известна (предположим, в виде сторонней информации от некоторого оракула), пропускная способность канала может быть вычислена как

$$C^*_{ГЭ} = P_G C_{ДСК}(p_G) + P_B C_{ДСК}(p_B) = \\ = P_G(1 - \mathcal{H}(p_G)) + P_B(1 - \mathcal{H}(p_B)).$$

Вероятность $P(1)$ того, что в канале в произвольно выбранный момент времени произойдет битовая ошибка, может быть выражена как $P(1) = p_G P_G + p_B P_B$. Эквивалентный канал, декоррелированный перемежением и без учёта памяти канала будет иметь пропускную способность $C^{ДСК}_{ГЭ} = 1 - \mathcal{H}(P(1))$. Пропускная способность канала Гилберта-Эллиота без знания информации о состояниях была получена в [10] как

$$C_{ГЭ} = 1 - \lim_{k \to \infty} (\mathrm{M}[\mathcal{H}(q_k)]),$$

где $q_k = \Pr(e_k = 1 | \mathbf{e}^{k-1})$ – вероятность того, что k-й символ ошибки e_k, генерируемый каналом, будет равен единице. В табл. 1 приведены пропускные способности для канала Гилберта-Эллиота с различными параметрами. Как уже было сказано ранее, учет памяти приводит к увеличению пропускной способности.

Таблица 1

Параметры и весовые распределения для канала Гилберта-Эллиота

$C_{ГЭ}^{ДСК}$	$C_{ГЭ}$	$C_{ГЭ}^{*}$	$(P_{GB}, P_{BG}, p_B, p_G)$	$\lambda(x)$
0.5153	0.5663	0.5986	(0.01,0.01,0.2,0.01)	λ_2=0.2657, λ_3=0.4002, λ_7=0.1554, λ_9=0.1787
0.3777	0.4771	0.5189	(0.01,0.01,0.3,0.01)	λ_2=0.2224, λ_5=0.3615, λ_{11}=0.3912, λ_{14}=0.0249
0.6946	0.8229	0.8356	(0.001,0.01,0.5,0.01)	λ_2=0.1829, λ_4=0.2653, λ_8=0.0711, λ_{12}=0.4807
0.7332	0.8976	–	(0.001,0.01,0.5,0)	λ_2=0.2753, λ_4=0.0030, λ_8=0.0416, λ_{12}=0.6819
0.8885	0.9082	0.9101	(0.0001,0.01,0.5,0.01)	λ_2=0.2617, λ_4=0.2647, λ_6=0.3061, λ_7=0.1675
0.9549	0.9885	–	(0.0001,0.01,0.5,0)	λ_2=0.2525, λ_4=0.2556, λ_6=0.3044, λ_8=0.1875

Низкоплотностные коды

Линейным (n, k)-кодом называется k-мерное подпространство n-мерного пространства двоичных последовательностей. Линейный код называется низкоплотностным или кодом с малой плотностью проверок на четность (low-density parity-check code, LDPC code) [4], если его проверочная матрица обладает свойством разреженности, то есть матрица содержит мало ненулевых позиций по сравнению с размерностью матрицы. Код с малой плотностью проверок на четность задается проверочной матрицей **H**, а также может быть представлен в виде двудольного графа (графа Таннера), в котором узлы делятся на два множества: символьные, советующие столбцам **H**, и проверочные, советующие строкам **H**. Ненулевые позиции в **H** указывают на наличие ребер между советующими символьными и проверочными узлами [4]. Ансамбль низкоплотностных кодов характеризуется весовым распределением ($\lambda(x)$, $\rho(x)$), где $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_{v_{\max}})$, в котором λ_j это вероятность того, что случайно выбранное ребро будет соединено с символьным узлом степени i, $v_{\max}$ – максимальная степень символьного узла. Таким же образом, $\rho = (\rho_1, \rho_2, \ldots, \rho_{c_{\max}})$, где ρ_j это вероятность того, что случайно выбранное ребро соединено с проверочным узлом степени j, $c_{\max}$ – максимальная степень проверочного узла. Для весового распределения должно выполняться условие нормировки

$$\sum_{j=1}^{v_{\max}} \lambda_j = 1 \text{ и } \sum_{j=1}^{c_{\max}} \rho_j = 1.$$

Если $\rho_{c_{\max}} = \lambda_{v_{\max}} = 1$, то код называется регулярным, иначе нерегулярным.

Алгоритм эволюции плотностей

Для ансамбля низкоплотностных кодов существует величина, называемая порогом и связываемая с некоторым параметром канала, в качестве которого обычно рассматривают величину, рост которой ухудшает канал, то есть понижает его пропускную способность. В работе [11] приводится процедура, которая позволяет вычислять порог для некоторых каналов, а также определять такие весовые распределения (γ, ρ) (или ($\lambda(x)$, $\rho(x)$), для нерегулярных кодов), которые максимизируют значение порога. Это позволяет находить весовые распределения, обеспечивающие хорошее качество кода, особенно при передаче в канале с параметром, близким к порогу (то есть, например, на низких отношениях сигнал/шум в АБГШ). Данная процедура получила название «эволюция плотностей» («density evolution»), так как вычисляет изменение плотности вероятности числа ошибочных сообщений с ростом числа итераций декодирования.

В работе [1] была предложена методика вычисления порога для канала Гилберта-Эллиота при использовании низкоплотностных кодов. Данная процедура состоит в итеративной пересылке сообщений между двумя подграфами, графом канала и графом Таннера (рис. 2). В общем случае, последовательность передачи сообщений может быть различной, в данной работе рассматривается передача сообщений по следующему плану. На первом шаге, K раз выполняется передача сообщений между состояниями канала s_i от начального до конечного – α и обратно – β. Сообщения α и β представляют собой вероятности нахождения канала в плохом, либо хорошем состоянии и являются функциями от значения предыдущего состояния канала и соответствующего сообщения χ, полученного из графа Таннера. Далее каждому символьному узлу в графе Таннера отправляется сформированное в графа канала сообщение ζ. В свою очередь, в графе Таннера применяется алгоритм эволюции плотностей с использованием весового распределения кода и принятого сообщения из канала ζ.

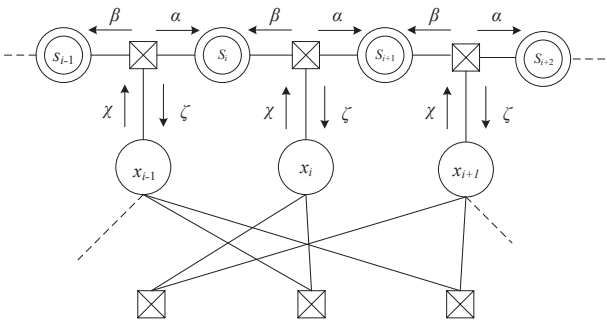


Рис. 1. Совместный граф низкоплотностного кода и канала, описываемого марковской моделью

Результаты моделирования

В работах [1–3] получены оптимизированные весовые распределения для некоторых параметров канала Гилберта-Эллиота. В данном разделе приведены оптимизированные весовые распределения низкоплотностных кодов для дополнительных параметров моделей каналов Гилберта и Гилберта-Эллиота, представленных в таблице 1, а также представлены результаты декодирования кодов длиной 1000, построенных по данным весовым распределениям с помощью процедуры PEG (progressive-edge growth) [12], при передаче в канале Гилберта-Эллиота и двоично-симметричном канале (ДСК) с соответствующей вероятностью ошибки $p_e = (p_G P_{BG} + p_B P_{GB})/(P_{GB} + P_{BG})$. Декодирование в канале ДСК выполняется с помощью алгоритма распространения доверия (BP) с 30 итерациями, при моделировании в канале Гилберта-Эллиота декодер содержит дополнительный этап оценки состояний канала (BP*) [2]. На рис. 2 и рис. 3 приводятся кривые вероятности ошибки для кодов, построенных по оптимизированным распределениям, при моделировании передачи в канале Гилберта-Эллиота (GE) с $P_{GG} = 0.999$ и $P_{GG} = 0.9999$, соответственно. По полученным результатам можно заключить, что с помощью кодов, построенных по оптимизированным распределениям, в канале Гилберта-Эллиота возможно получить меньшую вероятность ошибки, чем в соответствующем декоррелированном канале.

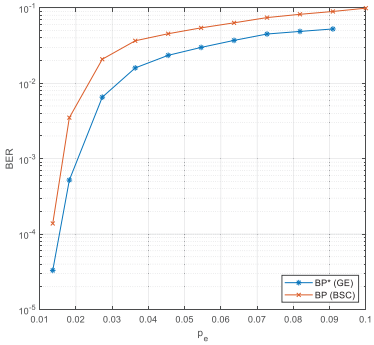


Рис. 2. BER для $P_{GG} = 0.999$

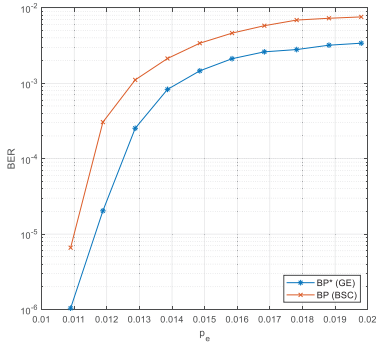


Рис. 3. BER для $P_{GG} = 0.9999$

Заключение

В данной работе рассматривается задача декодирования низкоплотностных кодов в каналах с памятью. Приводятся весовые распределения низкоплотностных кодов для ряда наборов параметров канала Гилберта-Эллиота и канала Гилберта. Представлены результаты декодирования кодов, построенных по полученным распределениям, в канале Гилберта-Эллиота.

Библиографический список

1. Eckford, A. W, Kschischang F. R., Pasupathy S. Designing very good low-density parity-check codes for the Gilbert-Elliott channel // Proc. 8th Canadian Workshop on Information Theory. 2003.

2. Eckford, A. W, Kschischang F. R., Pasupathy S. On designing good LDPC codes for Markov channels // IEEE Transactions on Information Theory. 2006. Т. 53. №. 1. С. 5–21.

3. Eckford, A. W, Kschischang F. R., Pasupathy S. Analysis of low-density parity-check codes for the Gilbert-Elliott channel // IEEE Transactions on Information Theory. 2005. Т. 51. №. 11. С. 3872–3889.

4. Gallager R. G. Low-density parity-check codes // IRE Transactions on Information Theory. 1962. Vol. 8. № 1. С. 21–28.

5. Shannon, C. E. A mathematical theory of communication // Bell System Technical Journal. 1948. Vol. 27. С. 379–423.

6. Gallager, R.G.: Information Theory and Reliable Communication. John Wiley and Sons, 1968. 608 с.

7. Proakis, J. G., Salehi M. Digital Communications // M.: McGraw-Hill, New York. 2007. 1150 с.

8. Gilbert, E. N. Capacity of a burst-noise channel // Bell system technical journal. 1960. Т. 39. №. 5. С. 1253–1265.

9. Elliott, E. O. Estimates of error rates for codes on burst-noise channels // The Bell System Technical Journal. 1963. Vol. 42. №. 5. С. 1977–1997.

10. Mushkin, M. Capacity and coding for the Gilbert-Elliott channels // IEEE Transactions on Information Theory. 1989. Vol. 35. № 6. С. 1277–1290.

11. Richardson, T. J., Shokrollahi M. A., Urbanke R. L. Design of capacity-approaching irregular low-density parity-check codes // IEEE transactions on information theory. 2001. Т. 47. №. 2. С. 619–637.

12. MacKay, D. J. C. Good error-correcting codes based on very sparse matrices // IEEE transactions on Information Theory. 1999. Т. 45. №. 2. С. 399–431.

УДК 621.396

И. А. Пастушок*
кандидат технических наук, доцент
Н. А. Янковский*
студент
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения

О ЗАВИСИМЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯХ ПОЯВЛЕНИЯ И ОБСЛУЖИВАНИЯ ЗАЯВОК В СИСТЕМЕ M/M/1

Мы занимаемся анализом распределения времени ожидания в очереди M / M / 1, в которой время между прибытием между n-ой и (n – 1)-й заявками и время обслуживания n-й заявки являются коррелированными случайными величинами.
Ключевые слова: M/M/1, коррелированная очередь, зависимые распределения, интервалы обслуживания, интервалы появления заявок.

Работа выполнена при поддержке гранта МК-1326.2021.1.6 Исследование алгоритмов доступа к ресурсам радиоканала для систем индустриального интернета вещей.

I. A. Pastushok*
PhD, Tech., Associate Professor
N. A. Yankovskii*
Student
* St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

ON DEPENDENT DISTRIBUTIONS OF APPEARANCE AND SERVICING OF CLAIMS IN THE M / M / 1 SYSTEM

We are analyzing the distribution of the waiting time in the M / M / 1 queue, in which the time between arrival between the nth and (n – 1)th customers and the service time of the nth customer are correlated random variables.
Keywords: M/M/1, correlated queue, correlated queue, dependent distributions, service intervals, order appearance intervals.

Введение

Мы рассматриваем вариант системы массового обслуживания M/M/1 в которой время обслуживания заявки зависит от длины интервала между приходом данного и предыдущего сообщения. Входящий поток заявок соответствует Пуассоновскому процессу, а время обслуживания является линейно зависимой величиной от времени между появлением сообщений.

Существует несколько работ, рассматривающих схожие модели системы с зависимостями между процессами прихода новых сообщений и времени обслуживания. Так, в работе [1] было показано, что такая модель приводит к резкому снижению среднего времени нахождения заявки в системе, а также его дисперсии, по сравнению с традиционной системой M/M/1. В работах [2, 3] было получено значительное количество результатов аналитического характера

относительно этих саморегулирующихся систем. Их результаты позволяют провести точный анализ многих аспектов системы массового обслуживания, которые мы представляем в этой заметке. А в работе [4] рассматривалась подобная поблема для систем M/G/1, в которой скорость поступления зависит от времени обслуживания предыдущего клиента.

Нами будет представлен способ расчета времени нахождения заявки в такой системе, а также приведены численные результаты.

Описание системы

В отличие от традиционной системы M/M/1 в нашей модели время обслуживания заявки будет линейно зависеть от времени с прихода предыдущей заявки. Так как входной поток является Пуассоновским процессом, то время между приходами заявок в систему имеет экспоненциальное распределение и с помощью метода обратного преобразования может генерироваться из базовой случайной величины.

Анализ распределения времени ожидания

Обозначим время нахождения в системе заявки с индексом i как T_i.

Существует 2 варианта, когда новая заявка может появиться в системе (рис. 1):

1) обслуживание предыдущей заявки еще не закончилось;
2) предыдущая заявка уже была обслужена.

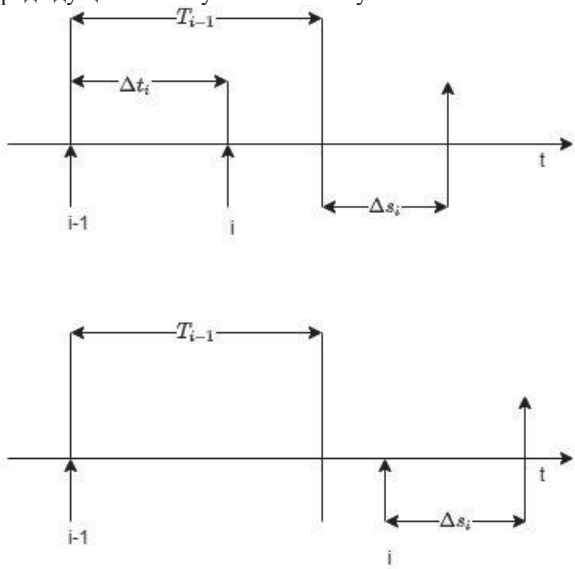


Рис. 1. Варианты появления заявки в системе

Для первого случая, заявка, попав в систему должна прождать время до окончания нахождения в системе предыдущей заявки, а также время своего обслуживания на сервере. В свою очередь, время, которое заявка ждет до начала обслуживания можно выразить как разницу между временем нахождения в системе предыдущей заявки и времени до появления текущей. Тогда общее время нахождения заявки в системе для первого случая можно выразить следующим образом:

$$T_i = (T_{i-1} - \Delta t_i) + \Delta s_i, \tag{1}$$

где Δt_i – время между приходом заявки i–1 и текущей заявки, Δs_i – время обслуживания текущей заявки.

Если заявка попадает в пустую систему, то общее время нахождения заявки в системе равно времени обслуживания этой заявки:

$$T_i = \Delta s_i. \tag{2}$$

Формулы 1 и 2 можно объединить в одну формулу

$$T_i = \max(T_{i-1} - \Delta t_i, 0) + \Delta s_i. \tag{3}$$

Следующим шагом можно внести Δs_i в функцию максимума:

$$T_i = \max(T_{i-1} + \Delta s_i - \Delta t_i, \Delta s_i). \tag{4}$$

Обозначим $\Delta s_i - \Delta t_i$ как V_i, тогда формула 4 принимает следующий вид:

$$T_i = max(T_{i-1} + V_i, \Delta s_i) \tag{5}$$

Рекурсивно развернув данную формулу, получаем следующее выражения для расчета среднего времени нахождения в системе:

$$T_i = \max(\Delta s_1 + \sum_{j=2}^{i} V_i, \Delta s_2 + \sum_{j=2}^{i} V_i, \Delta s_3 + \sum_{j=4}^{i} V_i, ..., \Delta s_i). \tag{6}$$

Раскрыв формулу, для V получаем:

$$V_i = \Delta s_i - \Delta t_i = -\left(\frac{1}{\mu} - \frac{1}{\lambda}\right)\ln(X), \tag{7}$$

где X – равномерно распределенная случайная величина на интервале [0, 1].

Пусть $c = -\left(\frac{1}{\mu} - \frac{1}{\lambda}\right)$, так как для рассматриваемой системы должно выполняться неравенство $\mu > \lambda$, то $c > 0 \mu > \lambda$, то $c<0$. Рассмотрим величину $Y_i = -V_i = c\ln(X)$. Пусть $a = -c$, тогда $Y_i = -a\ln(X)$. Второй сомножитель данного выражения – случайная величина, распределенная по закону Г(1,1) тогда Y~Г(1, а). В данном случае Г(1,1) – случайная величина, распределенная по целочисленному Гамма рапределению.

Введем следующее обозначение: $Z_{k,\theta} \sim \Gamma(k,\theta)$. Тогда формулу (6) можно представить в следующем виде:

$$T_i = max(Z_{1,1/\mu} - Z_{i-1,a}, Z_{1,1/\mu} - Z_{i-2,a}, Z_{1,1/\mu} - Z_{i-3,a}, ..., Z_{1,1/\mu}). \qquad (8)$$

Так как каждый аргумент функции максимума является разностью двух независимых случайных величин, то можно найти функцию плотности распределения итоговой случайной величины используя формулу

$$f(y) = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(x) f_2(x-y) dx. \qquad (9)$$

Первая функция представляет собой функцию распределения экспоненциального распределения, а вторая – функцию распределения для целочисленного гамма-распределения:

$$f_1(x) = \mu e^{-\mu x}, \qquad (10)$$

$$f_2(x,k) = x^{k-1} \frac{e^{-x/a}}{(k-1)!a^k}. \qquad (11)$$

В свою очередь, чтобы получить функцию распределения максимума нескольких случайных величин, необходимо перемножить функции распределения ее аргументов:

$$\xi(x,n) = F_1(y)F_2(y)...F_n(y) = (1-e^{-\mu x})\prod_{j=1}^{n} F_2(y, n-j). \qquad (12)$$

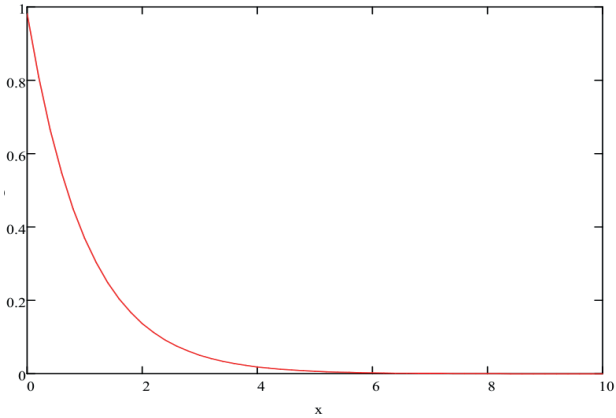


Рис. 2. График функции плотности распределения времени нахождения заявки в системе

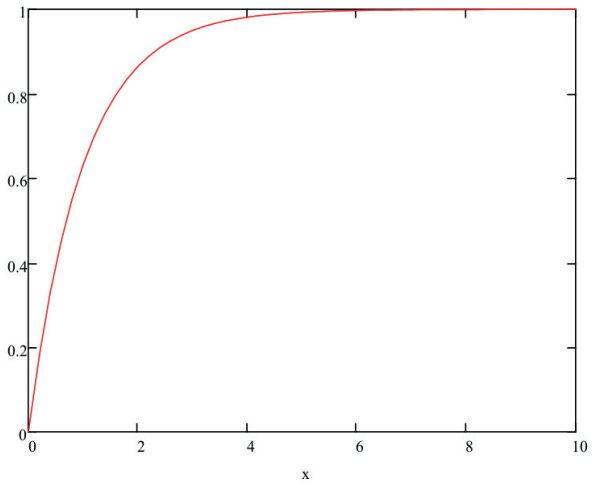


Рис. 3. График функции распределения времени нахождения заявки в системе

На рис. 4 представлены график зависимости среднего времени нахождения заявки в системе от отношения λ / μ, полученные с помощью имитационного моделирования, и теоретического расчета с использованием формулы (12).

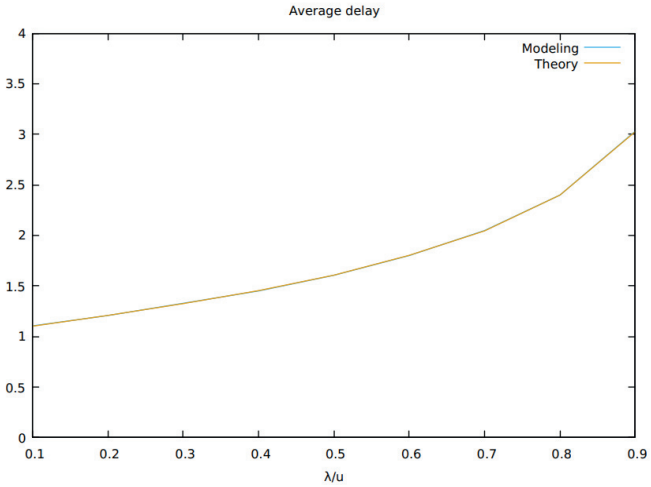


Рис. 4. График зависимости среднего времени нахождения заявки в системе от отношения λ / μ

Таким образом, формула (12) дает функцию распределения вероятностей для значения T_n, и при $n \to \infty$ T_n является математическим ожиданием времени нахождения заявки в системе. На рис. 2–3 представлены графики функции плотности вероятностей и функции распределения времени нахождения заявки системе для параметров $\lambda = 0.5, \mu = 1$.

Библиографический список

1. Conolly B. W. "The Waiting Time Process for a Certain Correlated Queue," Operations Research, 16, 1006-1015 (1968).

2. Conolly B. W., and Choo Q. H. "The Waiting Time Process for a Generalized Correlated Queue with Exponential Demand and Service," submitted for publication (1977).

3. Conolly B. W. and Choo Q. H. "A Partially Correlated Queue," Research Report 77t1, Mathematics Department, Chelsea College, University of London, London, England.

4. Boxma O. J., Perry D. A queueing model with dependence between service and interarrival times, European Journal of Operational Research, Vol. 128, Issue 3, 2001, P. 611–624.

УДК 004.07

Е. Д. Пойманова*
кандидат технических наук, доцент
Т. М. Татарникова*
доктор технических наук, доцент
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения

МИГРАЦИЯ ДАННЫХ ВНУТРИ ФИЗИЧЕСКОГО ХРАНИЛИЩА ПО ПРИНЦИПУ РАВНОМЕРНОСТИ ОБРАЩЕНИЯ К ДАННЫМ

В статье предложен механизм миграции данных внутри физического хранилища системы хранения, основанный на принципе равномерности обращения пользователей к ячейкам матрицы хранения.
Ключевые слова: системы хранения данных, матрица хранения, физическое хранилище, распределение, частота обращения в данным.

E. D. Poymanova*
PhD, Tech., Associate Professor
T. M. Tatarnikova*
Dr. Sc., Tech., Associate Professor
* St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

PHYSICAL STORAGE DATA MIGRATION BASED ON THE PRINCIPLE OF UNIFORM DATA ACCESS

The article proposes a mechanism for data migration within the physical storage of the storage system, based on the principle of uniformity of user access to the cells of the storage matrix.
Keywords: storage systems, storage matrix, physical storage, distribution, data access frequency.

Введение

Рост объемов данных ставит сложные задачи обеспечения хранения данных не только перед корпорациями или государственными структурами, но и отдельными предприятиями.

Организации в настоящее время стремятся к формированию собственных инфраструктур хранения данных, в том числе с использованием технологий виртуализации [1,2]. Поэтому многие организации используют облачные технологии для хранения данных. Например, возможности IaaS (Infrastructure as a Service) – инфраструктура как услуга – это возможность аутсорсинга вычислительных мощностей и ресурсов для хранения данных, таких как серверы, сетевые устройства, дисковые массивы и других.

Структура хранилища данных

Инфраструктура хранения данных интегрируется из носителей разной физической природы. Вместе они образуют систему хранения данных с единым управлением.

Представим физическое хранилище данных в виде матричной структуры (рис. 1), где каждой ее ячейке соответствует носитель/том данных со своими характеристиками емкости – заполненной файлами и свободной от них.

Уровневые RAID-массивы	ТОМ 1	ТОМ2	…	ТОМn
Автоматизированные библиотеки	Носи-тель1	Носитель 2	…	Носитель n
Долговременное хра-нение	Носи-тель1	Носитель 2	…	Носитель n

Рис. 1. Структура хранилища данных в виде матрицы

В работе [3] СХД представлена как система управления физическим хранилищем (рис. 2). Управление реализует три механизма:

– запись файла на соответствующий уровень физического хранилища в зависимости от типа и/или размера файла;

– перемещение (миграцию) файлов между уровнями хранилища в зависимости от частоты обращения (популярности) файлов;

– прогнозирование своевременного наращивания емкости хранилища. Механизм распределения данных и модель прогноза наращивания емкости подробно описаны в работах [4, 5].

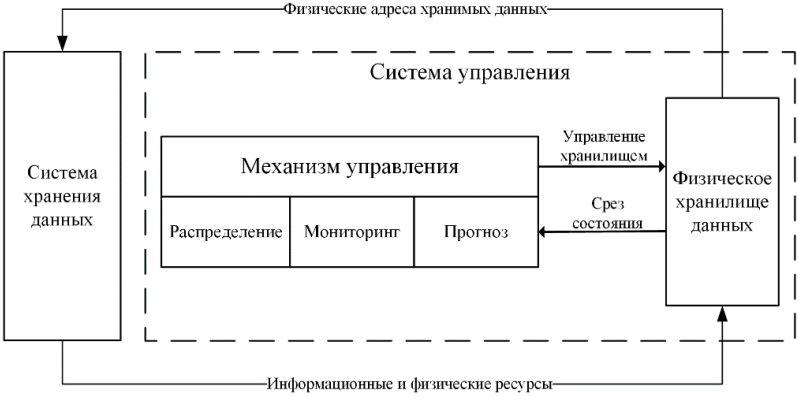


Рис. 2. Система управления хранилищем

Аппаратная реализация управления – программируемый логический контроллер, реализующий указанные механизмы (рис. 3).

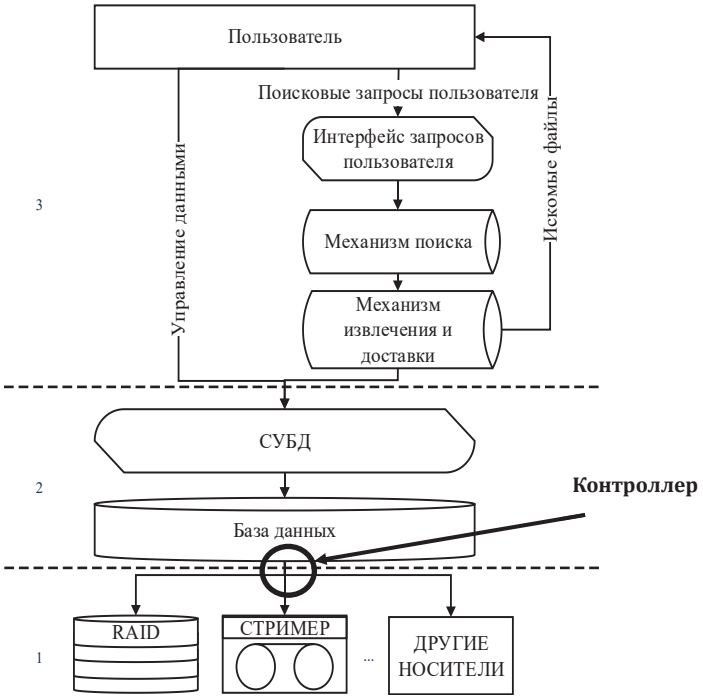


Рис. 3. Структура СХД с контроллером

Авторами разработано программное обеспечение, осуществляющее прогноз расходования емкости физического хранилища данных с целью принятия решения о своевременном подключении носителей, предоставляющих ресурс хранения.

Миграция данных

Ранее предлагалось осуществлять миграцию данных по уровням физического хранилища в зависимости от частоты обращения к ним [6].

При этом, не учитывалось, что система хранения данных является многопользовательской системой, и, следовательно, для повышения производительности хранилища важным фактором также является равномерное использование ячеек матрицы хранения, то есть носителей данных. Стоит также учитывать, что ряд пользователей использует одни и те же данные.

Таким образом, необходимо распределять данные по ячейкам так, чтобы обеспечить равномерность использования носителей физического хранилища данных, расположенных на одном уровне [7].

Использование ячейки матрицы хранения в данном случае – это операции записи, редактирования, удаления и другие, то есть любое обращение к ячейке матрицы (носителю данных).

Встает вопрос о времени доступа пользователей к ячейкам матрицы хранения. Очевидно, что время доступа пользователей к любой ячейке не должно превышать заданной величины.

Определим критерий эффективности рассматриваемой задачи. Им будет критерий максимума вероятности того, что время ожидания доступа к запрашиваемому носителю данных не превысит допустимого времени ожидания. Решение поставленной задачи возможно при равновероятной частоте запросов всеми N источниками любого информационного ресурса, т. е.

$$p_{i1} = p_{i2} = ... = p_{im} = ... = p_{iM} = \frac{1}{M}; \quad i = \overline{1, N}. \tag{1}$$

Запишем задачу размещения файлов данных в СХД в следующем виде: найти значения элементов матрицы B для $m=\overline{1, M}$, $j = \overline{1, R}$, где R – информационные ресурсы (данные), таким образом, чтобы для всех $i = \overline{1, N}$:

$$\sum_{j=1}^{R} \xi_{mj} \lambda_{ji} - \frac{\lambda_i}{M} \to \min, \tag{2}$$

где $\xi_{mj} = \dfrac{b_{mj}}{b_j}$, b_{mj} – количество информации ресурса b_j, распределенное в m-ю ячейку матрицы хранения (при этом b_j – это блок информации фиксированного размера); λ_i – интенсивность запросов в физическое хранилище i-м источником. Значения λ_i определяются на основе статистических данных об обращении пользователя к СХД; λ_{ji} – интенсивность запросов i-м источником j-го ресурса. Значения λ_{ji} вычисляются по формулам,

Поскольку

$$\sum_{m=1}^{M} \sum_{j=1}^{R} \xi_{mj} \lambda_{ji} = \lambda_i, \tag{4}$$

заменим выражение (2) для i-го источника на следующее

$$\Delta_i(B) = \sum_{j=1}^{R} \xi_{mj} \lambda_{ji} - \sum_{j=1}^{R} \xi_{kj} \lambda_{ji}; \quad m, k = \overline{1, M}, \tag{5}$$

и для всех источников запроса информационного ресурса запишем:

$$\max_i \Delta_i(B) \to \min_B. \tag{6}$$

Рассматриваемая задача не сводится к известным типам задач дискретного программирования. Решение этой задачи методом полного перебора потребует рассмотрения M^R вариантов.

Применим метод последовательного приближения, который позволяет сократить число рассматриваемых вариантов до $N(R-M+1)$. Рассмотрим метод для одного из источников запроса информационных ресурсов, например первого.

Упорядочим частоту запроса любого информационного ресурса для первого источника запросов λ_{j1}, $j=\overline{1,R}$ в порядке убывания:

$$\lambda_{11} \geq \ldots \geq \lambda_{j1} \geq \lambda_{j+1,1} \geq \ldots \geq \lambda_{R,1}. \tag{7}$$

Считаем, что количество информационных ресурсов больше, чем ячеек матрицы хранения, то есть формально $R>M$. Разместим первые M ресурсов по M ячейкам матрицы хранения так, чтобы в каждой ячейке располагалось по одному ресурсу. Для $m=\overline{1,M}$ находим

$$D_{m1}^{(1)} = \sum_{j=1}^{R} \xi_{mj}^{(1)} \lambda_{j1}, \tag{8}$$

где индекс (1) указывает на номер шага формирования матрицы B. На втором шаге $M+1$ ресурс распределяем в ту ячейку, для которой

$$D_{m1}^{(1)} = \min_{m}, \tag{9}$$

и продолжаем до тех пор, пока не будут размещены все информационные ресурсы. На k-м шаге размещения требуют $M+K+1$ ресурс, $k=\overline{1,R-M+1}$ $k=1,R-M+1$ в ту ячейку матрицы **B**, для которой

$$D_{m1}^{(k)} = \min_{m}. \tag{10}$$

Для формирования матрицы **B**(1) для первого источника запросов и информационных ресурсов для которых $\lambda_{j1}\neq 0$, $i=\overline{1,N}$ потребуется (R-M+1) шагов. Информационные ресурсы для которых $\lambda_{j1}=0$ также должны быть распределены в соответствии с критерием (10) с использованием рассмотренной выше процедуры. После распределения всех информационных ресурсов выбирается максимальное значение из $\Delta_i\{\mathbf{B}(1)\}, i=\overline{1,N}$.

Аналогично первому источнику описанная процедура реализуется и для всех остальных источников запросов информационных ресурсов и вычисляются $\max_i\{\mathbf{B}(k)\}$ для всех $k=\overline{1,N}$.

Согласно выражению (10) выбираем

$$\min_k \max_i \Delta_i\{B(k)\}, \tag{11}$$

где $B(k)$ – матрица B, полученная на последнем шаге последоватеьного распределения информационных ресурсов по M ячейкам.

Заключение

Предлагаемый программно-аппаратный комплекс решает целый спектр задач управления хранением данных. Одной из основных задач управления является организация миграции данных внутри системы хранения данных в зависимости от частоты использования информационного ресурса. В то же время распределение информационных ресурсов должно осуществляться не только по критерию заполняемости носителей данных, но и времени доступа к ним, поскольку время доступа ограничивается показателями качества обслуживания клиентов. Равномерное распределение информационных ресурсов в физическом хранилище по критерию частоты запроса ресурсов позволяет обеспечить заданное время доступа к ячейкам физического хранилища (носителям) в такой многопользовательской системе как система хранения данных.

Таким образом, совокупность указанных функций позволяет эффективно управлять хранением данных и максимально использовать имеющиеся в СХД ресурсы.

Библиографический список

1. The SNIA Shared Storage Model https://www.snia.org/sites/default/files/SharedStorageModel_v2.pdf.

2. Bogatyrev, V.A. Fault Tolerance of Clusters Configurations with Direct Connection of Storage Devices // Automatic Control and Computer Sciences – 2011, Vol. 45. No. 6. P. 330-337.

3. Sovetov B.Ya., Tatarnikova T.M., Poymanova E.D. Organization of multilevel data storage // Information & Control Systems / Informazionno-Upravlyaushie Sistemy. 2019, Vol. 99 Issue 2, P. 68-75 (Q3).

4. Tatiana M. Tatarnikova, Ekaterina D. Poymanova. Algorithms for Placing Files in Tiered Storage Using Kohonen Map // Selected Papers of the IV All-Russian scientific and practical conference with international participation "Information Systems and Technologies in Modeling and Control" (ISTMC’2019) Yalta, Crimea, May 21-23, 2019. P. 193-202.

5. Tatrnikova T.M., Poymanova E.D. Differentiated capacity extension method for system of data storage with multilevel structure // Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics, 2020, 20(1). P. 66–73.

6. Poymanova E.D., Tatrnikova T.M. // Applying machine learning methods for forecasting // 2020 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF) 1-5 June 2020 10.1109/WECONF48837.2020.9131480.

7. Bogatyrev V.A. Protocols for dynamic distribution of requests through a bus with variable logic ring for reception authority transfer /Automatic Control and Computer Sciences / 1999. v33(1). P. 57-63.

УДК 004.032.26

И. Д. Попов*
ассистент
* Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА В НЕЙРОСЕТЕВОЙ СИСТЕМЕ ОБНАРУЖЕНИЯ СЕТЕВЫХ АТАК

Рассматриваются существующие модели нейронных сетей, использующих наиболее популярные «датасеты» в области обнаружения сетевых атак. Представлена матричная форма операций в многослойной ИНС. Предложены варианты использования генетического алгоритма для обучения ИНС для обнаружения сетевых атак.
Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, генетический алгоритм, система обнаружения атак, компьютерная сеть.

I. D. Popov*
Assistant
*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF THE GENETIC ALGORITHM IN A NEURAL NETWORK ATTACK DETECTION SYSTEM

Existing models of neural networks using the most popular «datasets» in the field of network attack detection are considered. The matrix form of operations in a multilayer ANN is presented. Variants of using the genetic algorithm for training ANN to detect network attacks are proposed.
Keywords: neural network, genetic algorithm, IDS, computer network.

Введение

В области обнаружения сетевых атак используются различные методы, в т.ч. нейросетевые. Существуют готовые «датасеты», на основе которых можно обучить свою искусственную нейронную сеть ИНС. Самым старым и популярным «датасетом» является KDD Cup ’99, на котором проверяют построенные ИНС. Во многих работах достигаются высокие результаты, но для обучения используют отличные от генетического алгоритма методы, поэтому было решено проверить данный алгоритм обучения для нейросетевой системы обнаружения сетевых атак.

Существующие модели нейронной сети

Многие работы, например, [1, 2], в которых проводятся исследования нейросетевых методов обнаружения сетевых атак, используются готовые «датасеты». Самыми популярными из них являются KDD Cup ’99, NSL-KDD и KYOTO 2006+. Описание этих «датасетов» приведено в [3]. KDD Cup ’99 считается устаревшим, но его все еще можно встретить в работах, изучающих алгоритмы, связанные с нейросетевыми системами обнаружения атак, так как набор обладает достаточно большим количеством размеченных данных.

В работе [1] удалось достичь около 96% обнаружения атак с использованием многослойной ИНС и KDD Cup ’99. Нейронная сеть состояла из входного, выходного и одного скрытого слоев. Размеры слоев определялись исходя из данных, находящихся в «датасете». Таким образом, входной и выходной слои имели по 41 нейрону, а скрытый слой подбирался экспериментально, но не более 39 из-за высокого риска переобучения ИНС.

В работе [2] также рассматривается метод ИНС, используя KDD Cup ‘99 в качестве обучающей и тестовой выборок. Результаты показали, что ИНС способна распознавать 94% атак.

Обзоры других исследований, связанных с данной тематикой, приведены в [4, 5]. В работе рассмотрены результаты различных методов машинного обучения с указанием качества работы алгоритмов.

NSL-KDD является доработанной версией KDD Cup ’99 с исправленными ошибками, поэтому в данной работе он будет использоваться в качестве обучающих и тестовых данных для рассматриваемой системы.

Матричное представление многослойной ИНС

Для дальнейшего удобства описания обучения многослойной ИНС с помощью генетического алгоритма операции, проводимые в ИНС, необходимо представить в матричном виде. Структура искусственного нейрона и операции с ним не приводятся, так как об этом написано во многих других работах, связанных с ИНС, например, в [6].

На рис. 1 приведен пример полносвязной многослойной ИНС, т. е. каждый нейрон одного слоя связан с каждым нейроном следующего слоя.

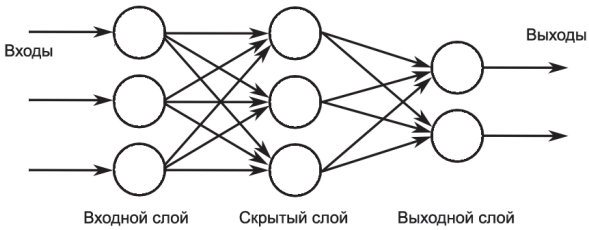


Рис. 1. Пример полносвязной многослойной ИНС

На рис. 2 показаны обозначения нейронов и весов между ними, которые будут применяться дальше.

Например, вычисление y_1 можно представить в виде формулы

$$y_1 = f\left(y_1'\right) = f(x_1 \cdot w_{1,1} + x_2 \cdot w_{2,1} + x_3 \cdot w_{3,1}) \tag{1}$$

Стоит отметить, что y перед записью в нейрон необходимо пропустить через функцию активации [7]. В дальнейшем для удобства в формулах и на ри-

сунках будут указаны значения без применения функции активации, но будет подразумеваться необходимость ее применения.

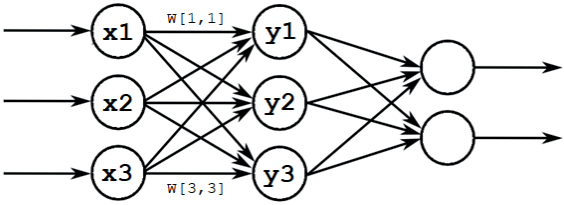


Рис. 2. Связь нейронов и весов между двумя слоями

Аналогично можно получить выражения для других нейронов. Объединив их, представим результат в матричном виде. Так как x_1, x_2, x_3 и y_1, y_2, y_3 можно представить в виде векторов, а W – в виде матрицы весов, то получается следующее выражение:

$$\begin{pmatrix} y_1' & y_2' & y_3' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} w_{1,1} & w_{1,2} & w_{1,3} \\ w_{2,1} & w_{2,2} & w_{2,3} \\ w_{3,1} & w_{3,2} & w_{3,3} \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Матрицу W можно транспонировать при необходимости, тогда X и Y' будут являться векторами-столбцами, и W будет умножаться на X.

Часто в похожих схемах присутствует также нейрон смещения (рис. 3).

В этом случае к результату каждого нейрона добавляется еще одно слагаемое – bias. Значение b на рис. 3 можно присвоить 1, а результирующее смещение – регулировать соответствующими весами.

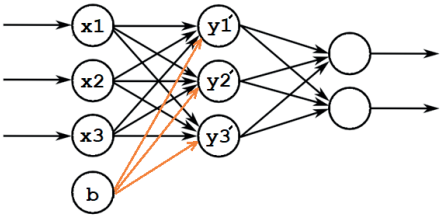


Рис. 3. Схема ИНС с нейроном смещения

Таким образом получаем следующее выражение в матричном виде:

$$\begin{pmatrix} y_1' & y_2' & y_3' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} w_{1,1} & w_{1,2} & w_{1,3} \\ w_{2,1} & w_{2,2} & w_{2,3} \\ w_{3,1} & w_{3,2} & w_{3,3} \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Данная формула применима только к двуслойным ИНС, но аналогично ее можно применить для большего количества слоев. На рис. 4 показаны обозначения для ИНС с тремя слоями. Далее для этого случая будет построена формула в матричном виде.

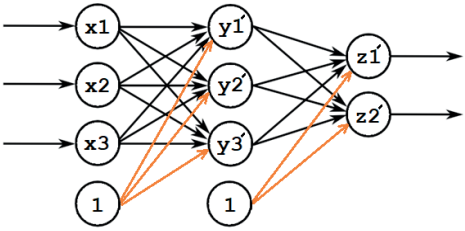


Рис. 4. Добавление нового слоя в вычисления

Формула для получения вектора *z'*

$$\begin{pmatrix} z_1' & z_2' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_1 & y_2 & y_3 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} w_{1,1} & w_{1,2} \\ w_{2,1} & w_{2,2} \\ w_{3,1} & w_{3,2} \\ b_1 & b_2 \end{pmatrix}, \tag{4}$$

где y_1, y_2, y_3 – результат функции активации на предыдущем слое, а $w[i, j]$ и $b[i]$ – весовые коэффициенты, которые не связаны с коэффициентами на предыдущем слое.

Итоговая формула выглядит следующим образом

$$\begin{pmatrix} z_1 & z_2 \end{pmatrix} = f\left[f\left[\begin{pmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} w_{1,1}^{(1)} & w_{1,2}^{(1)} & w_{1,3}^{(1)} \\ w_{2,1}^{(1)} & w_{2,2}^{(1)} & w_{2,3}^{(1)} \\ w_{3,1}^{(1)} & w_{3,2}^{(1)} & w_{3,3}^{(1)} \\ b_1^{(1)} & b_2^{(1)} & b_3^{(1)} \end{pmatrix} \right] \cdot \begin{pmatrix} w_{1,1}^{(2)} & w_{1,2}^{(2)} \\ w_{2,1}^{(2)} & w_{2,2}^{(2)} \\ w_{3,1}^{(2)} & w_{3,2}^{(2)} \\ b_1^{(2)} & b_2^{(2)} \end{pmatrix} \right]. \tag{5}$$

С помощью f[…] обозначено применение функции активации к каждому элементу результирующего вектора.

Таким образом получилось, что прохождение сигналов через ИНС можно представить в матричном виде, и оно представляет собой последовательное умножение входного вектора на матрицы весов соответствующего слоя.

Применение генетического алгоритма для обучения ИНС

Генетический алгоритм применим для различных областей. В данной задаче этот алгоритм позволяет найти оптимальные веса для ИНС. Хотя этот алгоритм не самый эффективный, но он является достаточно прост в реализации.

Алгоритм состоит из нескольких шагов:

1. Генерация начальной популяции.

Случайным образом генерируются N матриц весов (также можно встретить термин «особь» для некоторого решения) для каждого слоя. Следует добиться разнообразия всех «особей». После этого на каждом наборе матриц весов проверяются обучающие данные.

2. Оценка приспособленности.

Определяются наиболее эффективные «особи». Их эффективность может быть определена путем подсчета правильных ответов. Необходимо отобрать «особи», которые дали наибольшее количество правильных ответов. Остальные «особи» в дальнейшем процессе участвовать не будут.

Если «особь» выдала практически все правильные ответы на обучающих данных, то можно проверить ее на тестовых данных. Если результат на тестовых данных не устраивает, то необходимо сгенерировать новое поколение на основе имеющихся «особей». Варианты получения нового поколения описаны в п. 3.

3. Генерация нового поколения.

Для генетического алгоритма часто применяется термин «ген». Ген – элемент искомого набора данных. Для данной задачи искомый набор данных – это матрицы весов, а ген – элемент каждой матрицы.

Для генерации нового поколения выбираются наиболее приспособленные «особи». «Особей» с одинаковым набором генов следует отбросить, оставив только одну копию.

3.1.Операция скрещивания

Для данной операции обычно берутся две «особи» (родители – А и В), которые скрещиваются, и в результате получаются две новые «особи» (потомки – П1 и П2). Скрещивание может быть одноточечным (рис. 5) или многоточечным (рис. 6).

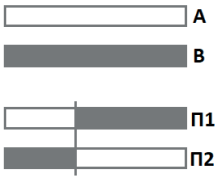


Рис. 5. Одноточечное скрещивание

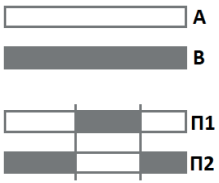


Рис. 6. Многоточечное скрещивание

Для исследуемой задачи используется матричное представление «особей», поэтому будет удобнее использовать метод скрещивания с маской (рис. 7). Маска показывает, какие гены одного родителя необходимо передать первому и второму потомку. Маска может быть сгенерирована случайным образом, либо можно использовать третью «особь» в качестве маски.

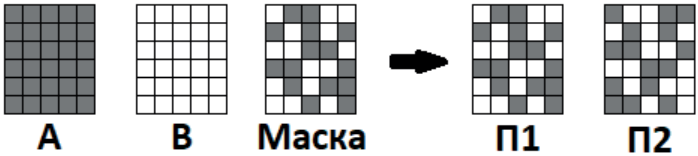


Рис. 7. Скрещивание с маской

Если рассматривать пример на рис.7, получается, что первая «особь» совпадает с маской, а вторая – является «инверсией», т. е. для нее взяты противопо-ложные гены.

3.2. Операция мутации

Данная операция позволяет вносит новую произвольную информацию в популяцию. Например, если использовать только операцию скрещивания, то может получиться так, что через несколько поколений все «особи» будут принадлежать одной области, т. е. находится у одного локального экстремума. Мутация же позволяет «переместить» случайным образом «особи» в область другого экстремума, где, возможно, найдется более эффективное решение. Мутация может быть незначительной. На рис. 8 приведены примеры мутаций.

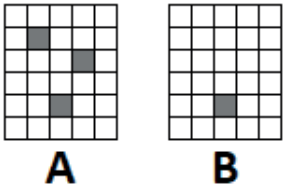


Рис. 8. Примеры мутаций в матрице весов

Касаемо исследуемой задачи, мутация может представлять из себя прибавление случайного числа к произвольному элементу (или нескольким) матрицы весов.

Таким образом, применяя операции скрещивания и мутации к матрицам весов, можно попытаться найти решение задачи.

Заключение

В данной работе рассмотрено применение генетического алгоритма для нейросетевой системы обнаружения атак при использовании матричного представления операций в ИНС. Считается, что для определенных задач при равных условиях специально предназначенный для этого алгоритм будет работать лучше, чем генетический, который обладает признаками случайности, но иногда за ограниченное время он справляется лучше других [8].

Следующим этапом исследования является экспериментальная проверка нейросетевого метода обнаружения сетевых атак с применением генетического алгоритма.

Библиографический список

1. Большев, А.К. Применение нейронных сетей для обнаружения вторжений в компьютерные сети [Текст] / А.К. Большев, В.В. Яновский // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2010. № 10. С. 129-135.

2. Жигулин, П.В. Анализ сетевого трафика с помощью нейронных сетей [Текст] / П.В. Жигулин, Д.Э. Подворчан // Электронные средства и системы управления. 2013. No2. С. 44-48.

3. Датасеты по ИБ для машинного обучения [Электронный ресурс]/ SecurityLab.ru URL: https://www.securitylab.ru/blog/personal/Business_without_danger/345789.php (дата обращения: 01.03.2021).

4. Бахарева, Н.Ф. Выявление атак в корпоративных сетях с помощью методов машинного обучения [Текст] / Н.Ф. Бахарева, В.Н. Тарасов, А.Е. Шухмани др.// Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2018. № 3. С. 626-632.

5. Браницкий, А. А. Обнаружение сетевых атак на основе комплексирования нейронных, иммунных и нейронечетких классификаторов [Текст] / А.А. Браницкий, И.В. Котенко // Информационно-управляющие системы. 2015. № 4. С. 69-77.

6. Поляков С.В., Королева И.Ю., Авдеюк Д.Н., Павлова Е.С., Лемешкина И.Г. Представление нейронной сети матрицей оператора // ИВД. 2019. №1 (52) –URL: https://cyberleninka.ru/article/n/predstavlenie-neyronnoy-seti-matritsey-operatora (дата обращения: 01.03.2021).

7. Соснин, А.С. Функции активации нейросети: сигмоида, линейная, ступенчатая, relu, tahn [Текст]/ А.С. Соснин, И.А. Суслова // Новые информационные технологии в образовании и науке НИТО 2019: сб. науч. тр. / Российский государственный профессионально-педагогический университет. Екатеринбург, 2019. С. 237-246.

8. John H. Holland Building Blocks, Cohort Genetic Algorithms, and Hyperplane-Defined Functions // Генетические алгоритмы URL: http://qai.narod.ru/Papers/holland_2000.html (дата обращения: 02.03.2021).

УДК 623.746.-519

П. В. Попок*
студент
Д. А. Аблязов*
студент
Н. А. Овчинникова*
кандидат технических наук, доцент
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения

МОДЕРНИЗАЦИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМ, ПРЕДУПРЕЖДАЮЩИХ СТОЛКНОВЕНИЯ САМОЛЕТОВ

В данной статье рассмотрена система TCAS (Traffic-alert and Collision Avoidance System), а также возможность модернизации беспилотного летательного аппарата роторного типа системой предупреждающе столкновения с препятствиями.
Ключевые слова: TCAS, транспондер, беспилотные летальный аппарат, модернизация, воздушное пространство.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-29-06047 мк.

P. V. Popok*
Student
D. A. Ablyazov*
Student
N. A. Ovchinnikova*
PhD, Tech., Associate Professor
*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

UPGRADING UNMANNED AERIAL VEHICLES WITH AIRCRAFT COLLISION AVOIDANCE SYSTEMS

This article discusses the TCAS (Traffic-alert and Collision Avoidance System) system, as well as the possible modernization of a rotary-type unmanned aerial vehicle with an obstacle warning system.
Keywords: TCAS, transponder, unmanned aerial vehicle, modernization, airspace.

Введение

Проблема столкновений летательных аппаратов возникла с самого зарождения авиации. И хотя использование пространства имеет четкую организацию и контроль, в небе по-прежнему происходят различные инциденты, которые могут привести к столкновению летательных аппаратов.

В представленной статье рассмотрена система, предупреждающая столкновения в воздушном пространстве.

TCAS

Основную роль в области предотвращения столкновений играют авиадиспетчеры, именно они следят за всеми бортами в пространстве и дают указания кому и куда лететь, однако существует такое понятие как человеческий фактор, поэтому для избегания столкновений была разработана система предупреждения столкновений TCAS. Принцип ее работы, довольно простой, на каждый самолет гражданской авиации устанавливают специальное устройство, называемое самолетным ответчиком. В случае возникновения опасности столкновение система указывает на то, какие действия нужно предпринять. Одному борту система рекомендует снизиться, а другому, наоборот, набрать высоту.

Основой системы является процессор TCAS, который соединяется с двумя антеннами, одна из которых установлена сверху, а другая снизу фюзеляжа воздушного судна. Процессор передает запросы через эти антенны на ответчики других воздушных судов. Система считывает показания высоты, скорости, и местоположение воздушного судна, затем это устройство передает информацию другим бортам в воздухе посредством радиосигнала, получив аналогичным способом от других бортов. На дисплее в кабине пилотов отображается весь трафик в радиусе до 148 км в горизонтали, до 3 км по вертикали и до 56 км с левого и правого бортов.

Если система, анализируя ситуацию за бортом, обнаруживает вариант возникновения опасного сближения или столкновения, то она определяет необходимый маневр для того, чтобы обеспечить безопасное вертикальное эшелонирование самолетов, т. е. обеспечивает их безопасное расхождение. Оборудование в кабине пилота состоит из индикаторов рекомендации движения, рекомендации по разрешению конфликтов и комбинированной панели управления TCAS

Прибор вертикальной скорости, является главным индикатором, по избеганию столкновений выполняемых TCAS. Он является стандартным прибором вертикальной скорости и оснащен святящимися красными и зелеными секторами по периметру шкалы. Красный сектор указывает область запрещенной вертикальной скорости, в то время зеленые сектора показывают необходимую вертикальную скорость самолета для предотвращения столкновения (рис. 1).

Рис. 1. Индикаторы и символы

TCAS выдает не только пассивную информацию о воздушной обстановке, но и четкие указания по устранению опасной ситуации. TCAS одновременно может отслеживать до 30 летательных аппаратов и для трех одновременно выдавать указания по устранению конфликтной ситуации.

БЛА роторного типа и их модернизация

Для беспилотных аппаратов роторного типа, данная модернизация становится актуальнее с каждым днем. Опасные случаи сближения беспилотников с воздушными судами или другими дронами могут происходить на больших скоростях, за пределами зоны прямой видимости и полагаться на средства визуального контроля либо крайне ненадежно, либо просто невозможно.

Возможная модернизация БЛА реализуется путем установки аналога системы TCAS. Наличие на беспилотных летательных аппаратах системы предупреждения о столкновении в воздухе позволит аппаратам безопасно перемещаться в воздухе даже в случае перебоев связи с оператором.

Такая система позволила бы обнаружить в воздухе другие самолеты, оснащенные TCAS, рассчитывать их пространственное положение и выдать пилотам рекомендации по изменению текущей траектории полета таким образом, чтобы избежать столкновения. Эта же система при обнаружении на курсе другого самолета рассчитывает и дает пилоту информацию о времени до предполагаемого столкновения. Для этого необходима установка приемоответчика режима S и процессора обработки данных на беспилотнике, которая позволяет взаимодействовать с другими летательными аппаратами.

Также необходимо учесть, что беспилотные аппараты роторного типа преимущественно используются в городской местности. Для того чтобы избежать столкновений с посторонними объектами, необходимо установить радиолокационные датчики, которые бы позволили оператору знать о препятствии: дерево, дорожный знак, вышка электропередач или столкновения с другим дроном.

Вывод

Подводя итоги, можно сказать, что современная авиация, проникшая во все сферы жизнедеятельности человека, ещё имеет области для развития, которые требуется решить, если мы действительно планируем в дальнейшем использовать беспилотные летательные аппараты. С каждым днем появляется все больше летательных аппаратов. Человечество должно всерьёз заняться разработкой дополнительных систем помощи пилотам, которые всегда смогут определить как своё место положение в пространстве, так и других объектов.

Библиографический список

1. Система TCAS. Предупреждение столкновений самолетов в воздухе. http://avia-simply.ru/sistema-tcas/(дата обращения 04.04.2021).

2. Радионавигация – Системы предотвращения столкновений. https://www.flight-mechanic.com/radio-navigation-collision-avoidance-systems/ (дата обращения 04.04.2021).

3. Система DAA, и как она помогает дронам. https://habr.com/ru/post/460695/(дата обращения 04.04.2021).

УДК 004.052.42

Е. В. Потапов*
студент
Ю. А. Половнёва*
студент
А. А. Скитев*
старший преподаватель
А. Н. Хайлов**
генеральный директор
*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
**ООО «Оу Эйч Ти»

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ UVM-ДРАЙВЕРА АНАЛОГОВОГО ТВ-СИГНАЛА

Рассмотрены используемые в современном мире стандарты аналогового телевидения. Разработана архитектура драйвера ТВ-сигнала с использованием методологии UVM. Предложена методика упрощённого расчёта значения сигнала в заданный момент времени. Разработаны классы, задающие сегмент и строку изображения. Реализован алгоритм вывода ТВ-сигнала с произвольной частотой дискретизации и шириной интерфейса. Разработан конфигурационный класс, хранящий параметры сигнала. Проведено тестирование полученного UVM-драйвера.
Ключевые слова: аналоговое телевидение, PAL, SECAM, NTSC, драйвер, верификация, UVM.

E. V. Potapov*
Student
Yu. A. Polovneva*
Student
A. A. Skitev*
Senior Lecturer
A. N. Hailov**
General Manager
*National Research Nuclear University «MEPhI»
**LLC «OHT»

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF UVM-DRIVER FOR ANALOG TV SIGNAL

The analog television standards used in the modern world are considered. The architecture of the TV signal driver was developed using the UVM methodology. A technique is proposed for the simplified calculation of the signal value at a given moment in time. Classes have been developed that define the segment and line of the image. An algorithm for outputting a TV signal with an arbitrary sampling rate and interface width has been implemented. A configuration class has been developed that stores signal parameters and timings. The resulting UVM driver was tested.
Keywords: analog TV, PAL, SECAM, NTSC, driver, verification, UVM.

Введение

Аналоговое телевидение существует с 50-х годов прошлого века. За время его использования в различных странах были приняты 3 основных стандарта – PAL (Европа), NTSC (США), и SECAM (Россия), каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Несмотря на то, что многие страны уже перешли на цифровое телевидение, аналоговые устройства всё ещё используются. Для совместимости с устаревшими источниками аналогового сигнала необходимы декодеры, позволяющие при помощи аналогового-цифровых преобразователей получать цифровой видеопоток из аналогового сигнала. Тем не менее, при разработке устройств для оцифровки сигнала практически отсутствует возможность функциональной верификации: из-за низкой популярности аналоговых стандартов не существует верификационных IP блоков, подающих аналоговый видеопоток с данными из тестового окружения. Приходится прибегать к дополнительным преобразованиям сигнала, что увеличивает вероятность ошибки.

Обзор существующих стандартов аналогового ТВ

ТВ-стандарты существенно различаются как характеристиками изображения (частота кадров и строк, разрешение изображения), так и параметрами сигнала (частота, модуляция).

Основное отличие, помимо временных параметров, заключается в способе и особенностях кодирования цвета. В аналоговом ТВ информацию об уровне яркости и цветах необходимо кодировать внутри одного аналогового сигнала. Это достигается наложением на сигнал яркости «поднесущей» – синусоидального сигнала, содержащего информацию о цветах.

Перечислим основы аналогового ТВ-сигнала. Каждый кадр разделён на 2 поля. Поля передаются по каналу последовательно и объединяются на устройстве при помощи чересстрочной развёртки. Первое поле содержит нечётные строки кадра, второе – чётные (исключение – NTSC). Первая и последняя строка теряет часть содержащихся данных, поскольку передаётся только половина строки. Зрителю это не видно, поскольку края кадра не отображаются на принимающем устройстве.

Структура кадра и строки различных форматов подробно изложена в стандарте [1]. Рассмотрим особенности отдельных стандартов, которые должны быть учтены при разработке драйвера сигнала:

1) NTSC. В этом стандарте используется амплитудная модуляция (AM) поднесущей – с изменением модулирующего сигнала цветности меняется амплитуда синусоиды. Для получения модулирующего сигнала вычисляются сигнал яркости E_Y и цветоразностные сигналы E_I, E_Q в соответствии с моделью YIQ [2]. Передаётся информация о красном и синем цвете; зелёный может быть восстановлен исходя из известных значений яркости и других цветов. Для передачи обоих цветоразностных сигналов используется квадратурная модуляция: начальные фазы поднесущих сдвигаются относительно друг друга на $\pi/2$, после

чего используется их сумма. Из-за использования цветовой модели YIQ оба сигнала дополнительно сдвигаются по фазе на 33°.

2) PAL. Данный стандарт разработан как замена NTSC, поэтому унаследовал большинство особенностей от него. В отличие от NTSC, в PAL используется цветовая модель YUV. Кроме того, кадр имеет больший размер, поэтому структура полей немного отличается.

3) SECAM. Несмотря на сходство с PAL по размеру кадра, временным характеристикам строк и структуре полей, в SECAM используется частотная модуляция поднесущей. Амплитуда фиксирована и не превышает 25% от размаха сигнала яркости. Важной особенностью является передача в каждой строке только одного цветоразностного сигнала из двух (R-Y или B-Y).

Архитектура драйвера и его окружения

Драйвер ТВ-сигнала разработан с использованием методологии UVM. Библиотека классов UVM предоставляет множество инструментов для создания верификационного окружения на основе транзакций (TLM) [3]. Внешний генератор изображения загружает данные из файла или создаёт изображение случайным образом. Изображение разбивается на пиксели, которые поступают на последовательный порт драйвера. Каждый из пикселей содержит информацию о своём местоположении, номере кадра, и данные в одном из форматов передачи цвета (RGB, YUV и др.). Настройки драйвера, такие, как временные параметры работы или выбор режима, хранятся в конфигурационном объекте, загружающем эти значения из файла.

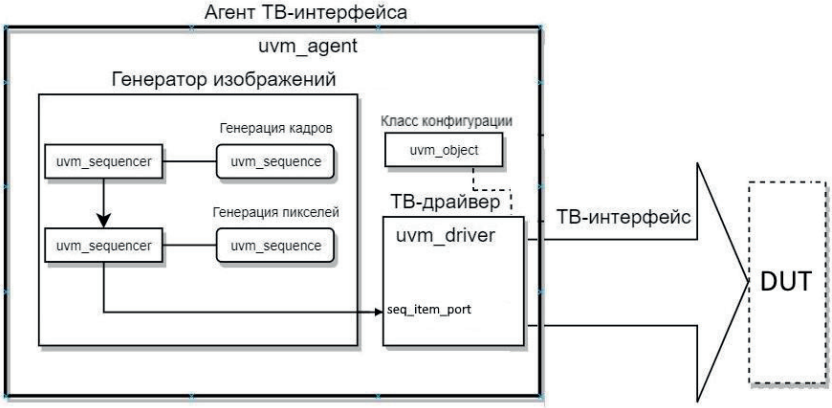


Рис. 1. Подключение драйвера ТВ-сигнала

Единственным выводом драйвера является 10-битное значение уровня аналогового сигнала, обновляемое с произвольной частотой. Это значение может быть подано на цифро-аналоговый преобразователь или напрямую на верифицируемый ТВ-декодер. Второй вариант позволяет избежать помех, возни-

кающих при обратном преобразовании. Поскольку драйвер должен быть совместим с разными устройствами, разрядность выходного сигнала, а также частота его дискретизации являются изменяемыми параметрами и могут быть выставлены на усмотрение пользователя. Пример подключения ТВ-драйвера приведён на рис. 1.

Особенности формирования выходного сигнала

Поскольку аналоговый ТВ-сигнал является непрерывным, для его адаптации под синхронный интерфейс величина сигнала вычисляется на каждом синхроимпульсе исходя из текущего времени, информации из полученных пикселей, а также части строки. Таким образом, появляется возможность менять детализацию сигнала, увеличивая или уменьшая частоту синхроимпульсов.

В стандартах аналогового телевещания [1] приведены уравнения, позволяющие вычислить текущее значение сигнала для амплитудной и частотной модуляции. Тем не менее, такой способ вывода требует запоминания всей выведенной строки, что требует более сложных расчётов и негативно влияет на скорость моделирования. Вместо этого был выбран другой подход. При изучении структуры строки и кадра было установлено, что любой участок видеосигнала можно описать суммой монотонных, монотонно возрастающих/убывающих, а также синусообразных сигналов с установленными амплитудой, периодом и продолжительностью. На сигнале, показанном на рис. 2, сегменты 1 и 7 являются монотонными; 0,2,4,6 – линейно возрастающими/убывающими, 3 и 5 – сумма монотонного и синусоидального сигналов. Центральная часть строки на рисунке сжата для того, чтобы было лучше видно фронты и спады, находящиеся в интервале горизонтального гашения.

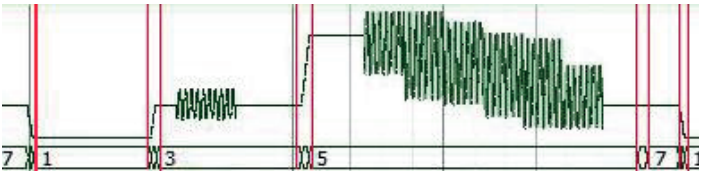


Рис. 2. Сегментация строки

Был разработан тип, задающий сегмент произвольной формы. Для каждого сегмента можно задать начальное значение, амплитуду, полярность, длительность сегмента, а также период и начальную фазу для сигналов синусоидальной формы. Примеры сегментов приведены на рис. 3.

В случае амплитудной модуляции величину сигнала можно выразить как сумму монотонного (для каждого пикселя) сигнала яркости и синусоиды-«поднесущей» с переменной амплитудой. Модуляция сигнала происходит путём изменения амплитуды. Поскольку для вычисления текущей фазы синусоидального сигнала в качестве точки отсчёта используется начало строки, при частотной модуляции цветовых сигналов после каждой смене частоты фаза бы

неконтролируемо менялась, приводя к «рывкам». Разработанный класс позволяет решить эту проблему путём одновременной замены периода сигнала на новое значение, начальной фазы на текущую (рассчитанную с использованием старой частоты), а точки отсчёта времени на текущее время. Пример приведён на рис. 4.

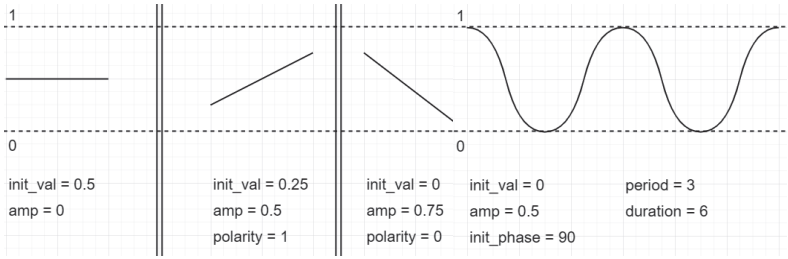


Рис. 3. Примеры сегментов сигнала

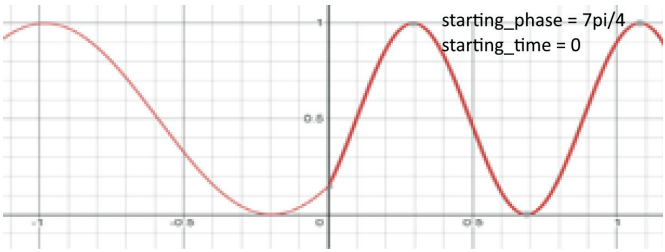


Рис. 4. Изменение фазы при частотной модуляции

Каждая строка состоит из нескольких последовательно идущих линейных сегментов. Поднесущая подаётся отдельно – таким образом имитируется отдельное получение сигналов яркости и цветности, с последующим наложением. Для сегментов и строк реализована функция, позволяющая получить текущее значение сигнала, исходя из момента времени и значений для яркости / модуляции цвета (если она включена на определённом сегменте).

Алгоритм работы драйвера

Общий алгоритм работы драйвера приведён на рис. 5. В начале каждого кадра драйвер загружает настройки из файла, обновляя временные параметры и проверяя их соответствие выбранному стандарту. С использованием новых параметров заново инициализируются сегменты строк, а также сами строки. Для некоторых сегментов строки устанавливаются флаги, позволяющие при расчёте значения изменить величину или амплитуду сигнала.

В случае, если пиксели подаются через последовательной порт в режиме прогрессивной (а не чересстрочной) развёртки, драйвер загружает кадр цели-

ком и разбивает его на 2 очереди, содержащих пиксели 1-го и 2-го поля соответственно.

Во время работы в драйвере запускаются два параллельных процесса. Первый, исходя из установленных временных параметров, устанавливает флаги, разрешающие наложение поднесущей на сигнал яркости (как во время вспышек поднесущих в начале строки, так и во время вывода информации изображения), а также периодически загружает новые пиксели из последовательного порта или очереди, сохраняя их информацию. Второй процесс запускается на каждом фронте синхроимпульса и выводит на интерфейс рассчитанные значения составного видеосигнала (CVBS), используя установленные первым процессом флаги.

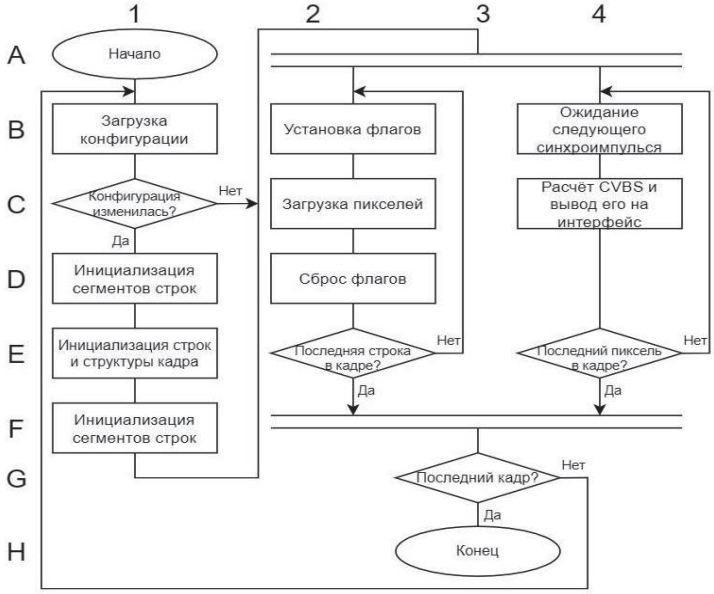


Рис. 5. Алгоритм функционирования драйвера

Результаты

Разработанный драйвер ТВ-сигнала совместим с любым из трёх используемых стандартов аналогового телевещания. Благодаря возможности гибкой настройки временных параметров, пороговых значений сигнала (уровни синхронизации, чёрного и белого), установки произвольной ширины выходного интерфейса и совместимости с любой частотой дискретизации сигнала, он может использоваться для верификации любых устройств, использующих связанных с декодированием ТВ-сигнала.

Диаграммы, демонстрирующие вывод строки с тестовым изображением в различных форматах (сверху вниз: PAL, NTSC, SECAM), приведены на рис. 6.

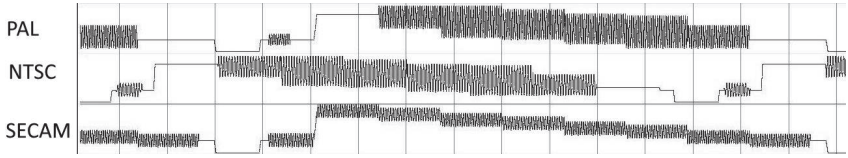


Рис. 6. Начало строки в различных режимах драйвера

Заключение

Несмотря на то, что аналоговое телевидение практически полностью заменено цифровым, устройства, использующие устаревший стандарт для конвертации в цифровой формат или в качестве альтернативного источника данных, всё ещё используются. Разработанный драйвер предоставляет возможность облегчить отладку и верификацию таких устройств, подавая произвольное изображение в виде аналогового ТВ-сигнала.

Библиографический список

1. SMPTE. 170M-1999 Composite Analog Video Signal – NTSC for Studio Applications, 1999. URL: http://www.dxdlw.com/bbsupfile/2012%5C02%5C10%5C1733099024%5CSMPTE%20170M-1999%20Television%20Composite%20Analog%20Video%20Signal%20NTSC%20for%20Studio%20Applications.PDF (дата обращения: 15.04.2020).

2. International Telecommunication Union. Recommendation BT.1700-0, 2005. URL: https://www.itu.int/rec/R-REC-BT.1700-0-200502-I/en (дата обращения: 15.04.2020).

3. IEEE 1800.2-2017 Universal Verification Methodology. URL: https://standards.ieee.org/standard/1800_2-2017.html (дата обращения: 15.04.2020).

4. ГОСТ7845-92. Основные параметры. Методы измерений. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200016362 (дата обращения: 15.04.2020).

УДК 004.89

В. А. Рындюк*
кандидат технических наук, доцент
Я. С. Варакин**
магистрант
Е. А. Писаренко**
кандидат педагогических наук, доцент
Е. Н. Пронченко**
кандидат педагогических наук, доцент
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения
**Пятигорский государственный университет

НОВАЯ АРХИТЕКТУРА ДИАЛОГОВОГО АГЕНТА ДЛЯ ПРИКЛАДНОЙ ГЕНЕРАЦИИ ДИАЛОГОВ

В работе предложена новая архитектура нейронной сети для создания чат-бота, который может использоваться как интеллектуальный информационный продукт для туризма. Описанный механизм позволяет выстраивать и поддерживать личность диалогового агента, создавая имитацию естественного поведения, что дает клиенту ощущение беседы с реальным человеком. Результаты, полученные после обучения системы, показали принципиальную возможность использования нейросети новой архитектуры для генерации реплик, близких к естественным, в беседе с пользователем. Также рассмотрены возможные варианты использования подобных нейросетевых диалоговых агентов для создания информационной составляющей туристических продуктов, нацеленных на развитие как внутреннего, так и въездного туризма, а также на обеспечение информационной безопасности туристов. Предложенная технология и способы ее реализации и использования могут рассматриваться в контексте подготовки бакалавров по направлениям 09.03.03 «Прикладная информатика» и 10.03.01 «Информационная безопасность».
Ключевые слова: нейронные сети, технология Self-Attention, диалоговый агент, социотехнические аспекты информационной безопасности, информационные технологии в туризме.

V. A. Ryndyuk*
PhD, Tech., Associate Professor
Y. S. Varakin**
Postgraduate Student
E. A. Pisarenko**
PhD Pedagogy, Associate Professor
E. N. Pronchenko**
PhD Pedagogy, Associate Professor
*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
**Pyatigorsk State University

NEW DIALOGUE AGENT ARCHITECTURE FOR APPLIED DIALOGUE GENERATION

In the paper, we propose a new neural network architecture for applied chatbots that can be used as an intelligent information provider for tourists. The described mechanism allows building and main-

taining the personality of the dialogue agent, creating a partial imitation of natural human behavior, which gives the clients the feeling of a conversation with a real person which eventually eases interaction. The results obtained after training the system showed the fundamental possibility of using the neural network of this new architecture to generate responses close to human-generated ones in a conversation with the user. We consider that using these neural network dialogue agents to create smart assistants for tourists. Aiming to develop both domestic and inbound tourism products, as well as integrated routines that can help ensure tourist's security by integrating it with emergency departments phone lines and by also providing recommended places where local workers will be able to resolve hypothetical tourist's problems. The proposed technology and methods of its implementation and use can be considered in the context of bachelor's degree training in the areas of 09.03.03 "Applied Informatics" and 10.03.01 "Information Security".
Keywords: neural networks, Self-Attention technology, information security, information technologies in tourism.

Введение

Рекуррентные нейронные сети (RNN) используются в задачах обработки естественного языка (распознавание речи, генерация текстов, машинный перевод) и задачах распознавания образов [1]. Сети HRED (Hierarchical Recurrent Encoder Decoder) были основной архитектурой сетей для диалоговых агентов до недавнего времени [2]. Однако RNN имеют серьезные недостатки, такие как трудности в оптимизации и обучении, высокая ресурсоемкость.

Поэтому на смену рекуррентным сетям пришли сети-трансформеры (также называемые SAN – Self-Attention Networks). Они позволяют строить модели с большим числом параметров благодаря более полному использованию параллелизма GPU. Трансформеры значительно легче оптимизируются, так как в них отсутствует проблема взрывающихся и угасающих градиентов. Такие сети характеризуются большей биологической правдоподобностью и способны давать State-of-the-art результаты. Сети-трансформеры реализуют механизм Self-attention, что позволяет использовать их для языкового моделирования и решения задач вопросно-ответного характера.

Проблемой традиционной архитектуры RNN/LSTM является отсутствие у агента внутренней памяти о предыдущих ходах диалога, что может провоцировать в некоторых случаях некогерентность реплик агента. Для устранения этого дефекта предлагалось использовать сеть, которая включала в себя не только энкодер текущей реплики, но и энкодер контекста [2]. Однако рекуррентные нейросети, лежащие в основе HRED, плохо поддаются оптимизации градиентными методами и плохо параллелизуются из-за необходимости в последовательном вычислении временных ступеней (процесс BPTT, Bacpropagation Through Time). Поэтому их использование приводит к снижению эффективности работы аппаратных ресурсов.

Мы предлагаем новую архитектуру нейронной сети – HTED (Hierarchical Transformer Encoder Decoder). Ее особенность заключается в разделении обрабатываемого потока на две ветви, одна из которых хранит историю диалога с более низким уровнем гранулярности, чем другая. В первой ветви кодирование осуществляется из расчета один вектор на одно слово, а во второй – один вектор на одну реплику.

Методология

В отличие от агентов HRED, все подсети HTED базируются на механизме Self-Attention с минимальными изменениями относительно оригинальной архитектуры, описанной в работе «Attention is all you need» [4]. В качестве обучающей выборки использовался набор данных конкурса ConvAI2. В качестве энкодера использовался предобученный BERT Encoder с целью улучшения результатов с помощью трансдуктивного обучения.

Предлагаемые изменения в архитектуре классического трансформера, обучаемого в режиме Seq2Seq, заключаются в предоставлении декодеру доступа к информации об истории диалога. Такая схема должна привести к улучшению результатов относительно классической архитектуры нейросети.

Для обучения использовался оптимизатор Adam с фиксированным параметром скорости обучения – 0,00001. Для оценки результатов были вычислены метрики Macro F1, Perplexity, BLEU на основе предсказаний на тестовом подмножестве набора данных ConvAI2. Это связано с крайне ограниченными аппаратными возможностями доступного оборудования и соответственной невозможностью обучать версии архитектур с высоким числом параметров и высокоразмерными векторами семантики.

Архитектура сети. Для решения вышеописанных проблем была выбрана архитектура, в которой присутствует энкодер контекста, а декодер остается общим и получает данные одновременно и о контексте, и о текущей реплике. Кроме того, в энкодер контекста всегда поступает неизменная реплика, текст которой составляет т.н. persona, или детали личности агента (рис. 1).

Для векторизации контекста использовалась предобученная версия USE (Universal Sentence Encoder) [3]. Такое предобучение было выбрано в силу удобства реализации и проводилось для улучшения производительности нейронной сети. В качестве средства токенизации использовался алгоритм BPE (Byte-Pair Encoding).

Предлагаемая диалоговая модель состоит из четырех подсетей.

Первая подсеть (USE Block) – $f1_{01}(R)$, где R – тензор истории диалога. Эта подсеть построена на основе DAN (Deep Averaging Network). Тензор, подаваемый на вход, составлен первым фиксированным элементом – личностью агента и дальнейшими ходами диалога. Эта подсеть на выходе дает вектор $H \epsilon R^{512}$, являющийся вектором истории диалога. Подсеть предобучена и выведена из процесса дальнейшей оптимизации.

Вторая подсеть (Transformer Encoder Block) $f2_{012}(r)$, где r – вектор токенизированной текущей реплики пользователя. Эта подсеть построена на классической архитектуре Self-attention encoder. На выход она выдает тензор скрытого состояния, то есть закодированное внутреннее представление реплики диалога.

Третья подсеть (Modified-Transformer Encoder Block) $f3_{03}(H)$, где H – тензор истории диалога, поданный подсетью $f1_{01}(R)$.Она принимает на ввод тензор истории диалога и выдает на выход тензор скрытого состояния истории диалога $H \epsilon R^{512}$. Эта подсеть построена на основе модифицированной архитектуры Self-attention encoder. Модификация заключалась в удалении слоев усреднения.

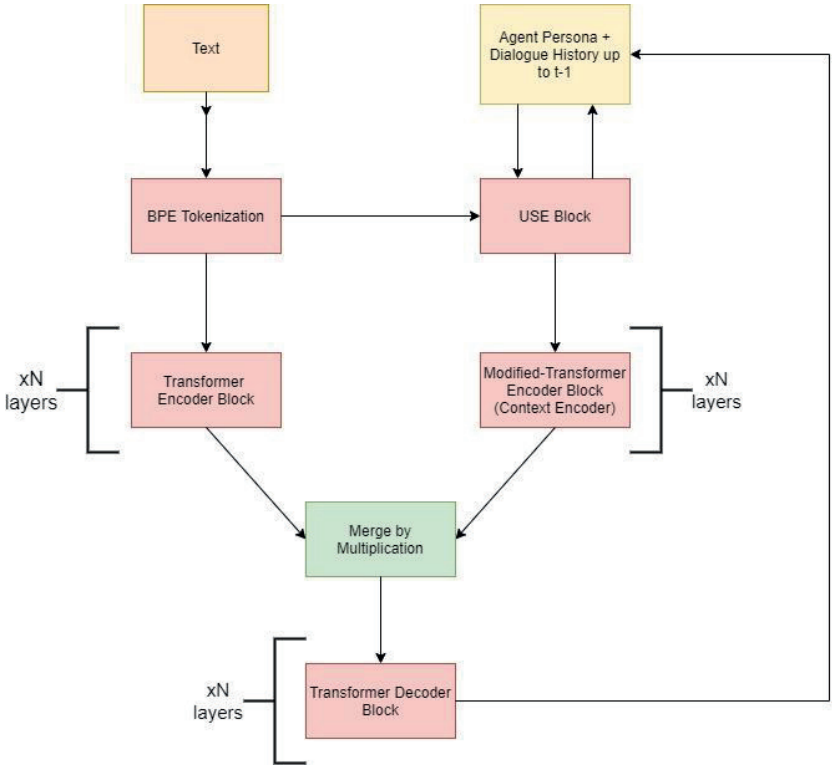


Рис. 1. Архитектура диалогового агента

Четвертая подсеть-декодер (Transformer Decoder Block) $f4_{04}(H\times H)$ – произведение тензоров скрытых состояний. Она возвращает тензор вероятностей токенов посредством классического слоя классификации с функцией активации Softmax. Эта сеть построена на основе классической архитектуры Self-attention decoder.

Параметры подсетей $f2_{012}(r)$, $f3_{03}(H)$, $f4_{04}(H\times H)$ оптимизируются методом градиентного спуска, так, чтобы минимизировать loss-функцию Sparse Categorical Cross-entropy.

С точки зрения нейрофизиологии такая модель гораздо точнее имитирует работу мозга человека, чем обычные сети трансформеры, так как в некоторой степени воспроизводит функционирование рабочей памяти, в которой хранятся данные за некоторый период времени. Наличие такой памяти является одной из важнейших функций человеческого мозга, она обладает первостепенной значимостью для сознания и восприятия, в случае дисфункции рабочей памяти возникает делирий либо иные состояния психотического спектра.

Результаты автоматических метрик и прямого семплирования ответов из сети

После обучения в течении 10 эпох система показывала Macro f1 в 0,41 и Perplexity score в 2,54. На тестовых данных система показывала Macro f1 в 19,33 и Perplexity score в 19,45. Сеть показывает способности к прямому zero-shot и few-shot обучению на основе словесных описаний задачи, не требуя дополнительных градиентных обновлений весов.

Обсуждение результатов и возможности их использования

Все большую популярность в мире приобретает самодеятельный туризм, когда человек не покупает готовый тур у туристической фирмы, а выбирает и организует свой маршрут самостоятельно. Однако, попадая в незнакомое место, человек иногда тяжело адаптируется к новой для себя среде и нуждается в доброжелательном и знающем гиде, которого можно в любой момент спросить о чем угодно и получить грамотный и понятный ответ. В некоторых местностях такого гида крайне сложно найти, особенно, если турист не владеет местным языком. Иногда на помощь приходят аудиогиды или туристические интернет-сервисы [5], но в случае непредвиденных ситуаций они практически бесполезны. В таких случаях на помощь может прийти диалоговый агент, созданный на основе нейроных сетей – чат-бот. Это нейросеть, обученная на соответствующей выборке, которая может меняться в зависимости от поставленных задач с технологией самовнимания (Self-Attention). Существующая сейчас архитектура таких сетей дает довольно грубый диалог, в котором человек хорошо чувствует и понимает, что разговаривает с программой. При использовании новой архитектуры HTED можно получить полную иллюзию, что собеседником также является человек. При наличии соответствующего небольшого набора данных такой агент сможет вести естественный диалог с пользователем, причем на любом языке, на котором проходило обучение. Предложенный механизм позволяет выстраивать и поддерживать личность диалогового агента, создавая имитацию естественного поведения, что дает клиенту полное ощущение беседы с реальным человеком. Кроме непосредственно туристической информации, такой чат-бот может при необходимости помочь быстро обратиться за помощью в медицинские или страховые учреждения, найти точную достоверную информацию о местных официальных службах, дать советы по существующим в данной местности правилам, порядкам и обычаям. Таким образом, предложенная архитектура нейронной сети может использоваться для создания информационной составляющей туристических продуктов, нацеленных на развитие как внутреннего, так и въездного туризма, а также на обеспечение информационной и личной безопасности туристов.

Заключение

Данная система показывает перспективы в качестве нового диалогового агента, но для дальнейших выводов требуется тестирование системы с участием выборки людей, а не только с помощью автоматизированных метрик. В

дальнейшем планируются также некоторые усовершенствования системы, которые позволят уменьшить аппаратные требования, а также эксперименты с другими родственными моделями. В настоящее время диалоговые агенты уже широко используются в области умных ассистентов, таких как Google Assistant, Apple Siri и Amazon Alexa, но в туристической сфере использование подобных чат-ботов пока только предполагается.

Библиографический список

1. Lipton Z. C., Berkowitz J., Elkan Ch. A (2015) Critical Review of Recurrent Neural Networks for Sequence Learning. arXiv preprint arXiv:1506.00019.

2. Cer D., Yang Y., Kong Sh., Hua N., Limtiaco N., John R. St., Constant N., Guajardo-Cespedes M., Yuan S., Tar Ch.s, Sung Y., Strope B., Kurzweil R. (2018) Universal Sentence Encoder. arXiv preprint arXiv:1803.11175.

3. Vaswani A., Shazeer N., Parmar N., Uszkoreit J., Jones L., Gomez A. N., Kaiser L., Polosukhin I. (2017) Attention Is All You Need. arXiv preprint arXiv:1706.03762.

4. Nan R. K., Zolna K., Sordoni A., Lin Z., Trischler A., Bengio Y., Pineau J., Charlin L., Pal C. (2018) Focused Hierarchical RNNs for Conditional Sequence Processing. arXiv preprint arXiv:1806.04342.

5. Pisarenko E.A., Kotlyarevskaya I.Y.(2019) Web-tools for Integrating the Resorts of the Kavminvody Region in the Online Environment of Inter-cultural Recreational Communications. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2019. V. 726. P. 733-740.

УДК 621.391

А. Б. Сергиенко*
кандидат технических наук, профессор
П. В. Апалина*
студент
*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

НЕКОГЕРЕНТНЫЙ ПРИЕМ СИГНАЛОВ В РЭЛЕЕВСКОМ КАНАЛЕ С БЫСТРЫМИ ЗАМИРАНИЯМИ НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕННОГО ОТНОШЕНИЯ ПРАВДОПОДОБИЯ

Предложен метод некогерентного приема сигналов в канале с быстрыми замираниями. Алгоритм не требует оценивания состояния канала связи и реализует метод обобщенного отношения правдоподобия для рэлеевской модели канала связи с корреляционными свойствами, известными на приемной стороне. Итоговая структура приемника требует вычисления нескольких корреляций для каждого возможного переданного сигнала с последующим объединением результатов. Компьютерное моделирование показало, что предложенный алгоритм позволяет работать в условиях быстрых замираний, существенно снижая чувствительность приемника к доплеровскому разбросу.
Ключевые слова: некогерентный прием, рэлеевский канал связи, быстрые замирания, обобщенное отношение правдоподобия.

A. B. Sergienko*
PhD, Tech., Professor
P. V. Apalina*
Student
*Saint-Petersburg Electrotechnical University «LETI»

NONCOHERENT RECEPTION OF SIGNALS IN FAST FADING RAYLEIGH CHANNEL USING GENERALIZED LIKELIHOOD RATIO TEST

A method for noncoherent reception of signals in a fast fading channel is proposed. The algorithm does not require channel state estimation, it implements generalized likelihood ratio test for the case of Rayleigh channel with correlation properties known at the receiving side. The resulting receiver structure requires calculating several correlations for each possible transmitted signal and then combining the results. Computer simulations have shown that the proposed algorithm can work in fast fading conditions, significantly reducing receiver sensitivity to Doppler spread.
Keywords: noncoherent reception, Rayleigh channel, fast fading, generalized likelihood ratio test.

Введение

Схемы модуляции, пригодные для некогерентного приема, не требуют оценки состояния канала приемником, что может быть важным достоинством при решении ряда прикладных задач. К наиболее широко известным схемам модуляции этого класса относятся частотная манипуляция и дифференциальная фазовая манипуляция (ФМ) [1]. Возможна также дифференциальная амплитуд-

но-фазовая манипуляция (АФМ) [2], имеются публикации об оптимизации используемых ансамблей сигналов [3].

Алгоритмы приема перечисленных сигналов обычно предполагают постоянство коэффициента передачи канала связи на всей длине фрагмента сигнала, обрабатываемого приемником в процессе демодуляции. Это соответствует каналу с аддитивным белым гауссовым шумом (АБГШ) либо каналу с медленными замираниями. В последнем случае допустимая скорость замираний определяется длиной фрагмента сигнала, анализируемого приемником, так как коэффициент передачи канала связи в пределах этого фрагмента должен оставаться примерно постоянным. Для дифференциальной ФМ некогерентные решения могут быть получены по паре соседних символов [1] (хотя анализ более длинных фрагментов позволяет повысить помехоустойчивость [4]), но для дифференциальной АФМ требуется кодирование, и принимаемые последовательности не могут быть очень короткими (в [2] рассматриваются последовательности из 6 символов). Требование примерного постоянства коэффициента передачи канала связи на длине сигнала резко ограничивает возможности использования таких схем модуляции в каналах с быстрыми замираниями. Использование алгоритмов приема, предполагающих постоянство состояния канала, в условиях быстрых замираний ведет к появлению несократимой ошибки. Методика теоретического расчета этой деградации помехоустойчивости описана, например, в [5].

В данной работе предлагается алгоритм некогерентного приема, учитывающий корреляционные свойства коэффициента передачи канала связи и за счет этого повышающий устойчивость приема к наличию быстрых замираний.

1. Модели сигнала и канала связи

В данной статье рассматривается некогерентная передача по рэлеевскому каналу связи с быстрыми замираниями. Под некогерентным приемом подразумевается отсутствие на приемной стороне информации о текущем состоянии канала связи.

Передаваемое сообщение содержит k бит данных и представляется одним из $M = 2^k$ сигналов, состоящих из n комплексных отсчетов $\{x_i\}$, $i = 1, 2, \ldots, n$. Набор всех M возможных сигналов называется *кодовой книгой*. Рассматриваются кодовые книги с равной энергией всех сигналов, так что средняя мощность отсчетов сигнала равна единице: $(1/n)\sum_{i=1}^{n}|x_i|^2 = 1$.

Принятые отсчеты r_i имеют вид

$$r_i = h_i x_i + w_i, \quad i = 1, 2, \ldots, n, \tag{1}$$

где h_i – комплексный коэффициент передачи канала связи (разный для разных отсчетов сигнала), w_i – отсчеты комплексного белого гауссова шума со средней мощностью P_n.

Для канала связи используется рэлеевская модель, так что коэффициенты передачи канала h_i являются комплексными гауссовыми случайными величи-

нами с нулевым средним значением. Совместная плотность вероятности (ПВ) этих значений имеет вид

$$p_h(\mathbf{h}) = C_h \exp\left(-\mathbf{h}^{\mathrm{H}}\mathbf{R}_h^{-1}\mathbf{h}\right), \tag{2}$$

где C_h – нормировочная константа, $\mathbf{h} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & \dots & h_n \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$ – вектор-столбец значений коэффициента передачи канала, $(\cdot)^{\mathrm{H}}$ обозначает эрмитово сопряжение, $\mathbf{R}_h = E\{\mathbf{h}\mathbf{h}^{\mathrm{H}}\}$ – корреляционная матрица коэффициентов передачи канала, оператор $E\{\cdot\}$ обозначает статистические усреднение. Средний коэффициент передачи канала связи по мощности принят равным единице: $E\{|h_i|^2\} = 1$. Корреляционная матрица канала $\mathbf{R}_h$ и мощность шума P_n считаются известными на приемной стороне.

Модель принятого сигнала (1) предполагает отсутствие мультипликативных искажений у сигнальных посылок, с использованием которых отсчеты x_i передаются по каналу связи. Это можно приближенно считать справедливым только при достаточно медленном изменении состояния канала. Количественная проверка этого предположения будет произведена при представлении результатов моделирования.

2. Метод обобщенного отношения правдоподобия

Основная идея метода обобщенного отношения правдоподобия (Generalized Likelihood Ratio Test, GLRT) состоит в совместной оценке канала и переданных данных [2]. Это означает, что для каждой из гипотез о переданном сигнале рассчитывается максимально правдоподобная (МП) оценка состояния канала связи и определяется соответствующее этой оценке значение совместной ПВ для набора принятых отсчетов сигнала. В качестве GLRT-решения выдается гипотеза, для которой эта ПВ оказывается максимальной.

В случае АБГШ-канала данный подход приводит к необходимости максимизации модуля коэффициента корреляции между принятым сигналом и возможными переданными сигналами:

$$\hat{\mathbf{x}} = \arg\max_{\mathbf{x}\in\{\mathbf{x}_m\}} \left(\left|\mathbf{r}^{\mathrm{H}}\mathbf{x}\right| \Big/ \sqrt{\mathbf{x}^{\mathrm{H}}\mathbf{x}} \right), \tag{3}$$

где $\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_n \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$ – вектор-столбец отсчетов сигнала, $\{\mathbf{x}_m\}$ – кодовая книга из M сигналов, $\hat{\mathbf{x}}$ – GLRT-оценка переданного сигнала.

При одинаковых энергиях всех передаваемых сигналов правило (3) превращается в описание работы обычного некогерентного корреляционного приемника: $\hat{\mathbf{x}} = \arg\max_{\mathbf{x}\in\{\mathbf{x}_m\}} \left|\mathbf{r}^{\mathrm{H}}\mathbf{x}\right|$.

В рассматриваемом случае рэлеевского канала с быстрыми замираниями и АБГШ ПВ для принятого вектора $\mathbf{r}$ при условии, что был передан сигнал $\mathbf{x}$ и вектор коэффициентов передачи канала был равен $\mathbf{h}$, с учетом (2) равна

$$p_{\mathbf{r}}(\mathbf{r}\,|\,\mathbf{x},\mathbf{h}) = \frac{1}{(\pi P_n)^n}\exp\left(-\frac{1}{P_n}(\mathbf{r}-\mathbf{X}\mathbf{h})^{\mathrm{H}}(\mathbf{r}-\mathbf{X}\mathbf{h})\right)C_h\exp\left(-\mathbf{h}^{\mathrm{H}}\mathbf{R}_h^{-1}\mathbf{h}\right), \quad (4)$$

где $\mathbf{X} = \mathrm{diag}(\mathbf{x})$ (оператор diag преобразует вектор в диагональную матрицу).

Для получения МП-оценки вектора коэффициентов передачи канала связи $\mathbf{h}$ необходимо максимизировать (4) по данному параметру, в результате получаем

$$\hat{\mathbf{h}} = \arg\max_{\mathbf{h}} p_r(\mathbf{r}\,|\,\mathbf{x},\mathbf{h}) = \left(\mathbf{X}^{\mathrm{H}}\mathbf{X} + P_n\mathbf{R}_h^{-1}\right)^{-1}\mathbf{X}^{\mathrm{H}}\mathbf{r}. \quad (5)$$

Подстановка (5) в (4) дает

$$p_{\mathbf{r}}(\mathbf{r}\,|\,\mathbf{x}) = \max_{\mathbf{h}} p_r(\mathbf{r}\,|\,\mathbf{x},\mathbf{h}) =$$
$$= \frac{C_h}{(\pi P_n)^n}\exp\left(-\frac{1}{P_n}\left(\mathbf{r}^{\mathrm{H}}\mathbf{r} - \mathbf{r}^{\mathrm{H}}\mathbf{X}\left(\mathbf{X}^{\mathrm{H}}\mathbf{X} + P_n\mathbf{R}_h^{-1}\right)^{-1}\mathbf{X}^{\mathrm{H}}\mathbf{r}\right)\right). \quad (6)$$

Теперь для получения GLRT-оценки необходимо найти такой возможный переданный сигнал $\mathbf{x} \in \{\mathbf{x}_m\}$, для которого (6) окажется максимальным:

$$\hat{\mathbf{x}} = \arg\max_{\mathbf{x}\in\{\mathbf{x}_m\}} p_r(\mathbf{r}\,|\,\mathbf{x}) = \arg\max_{\mathbf{x}\in\{\mathbf{x}_m\}}\left(\mathbf{r}^{\mathrm{H}}\mathbf{X}\left(\mathbf{X}^{\mathrm{H}}\mathbf{X} + P_n\mathbf{R}_h^{-1}\right)^{-1}\mathbf{X}^{\mathrm{H}}\mathbf{r}\right). \quad (7)$$

Введем обозначение $\mathbf{U}_{\mathbf{x}} = \mathbf{X}\left(\mathbf{X}^{\mathrm{H}}\mathbf{X} + P_n\mathbf{R}_h^{-1}\right)^{-1}\mathbf{X}^{\mathrm{H}}$ и выполним спектральное разложение этой матрицы: $\mathbf{U}_{\mathbf{x}} = \mathbf{Q}_{\mathbf{x}}\mathbf{\Lambda}_{\mathbf{x}}\mathbf{Q}_{\mathbf{x}}^{\mathrm{H}}$, где $\mathbf{Q}_{\mathbf{x}}$ – унитарная матрица, столбцы которой являются собственными векторами матрицы $\mathbf{U}_{\mathbf{x}}$, а $\mathbf{\Lambda}_{\mathbf{x}}$ – диагональная матрица собственных чисел матрицы $\mathbf{U}_{\mathbf{x}}$. Тогда, введя обозначение $\mathbf{V}_{\mathbf{x}} = \mathbf{Q}_{\mathbf{x}}\sqrt{\mathbf{\Lambda}_{\mathbf{x}}}$, можно записать

$$\hat{\mathbf{x}} = \arg\max_{\mathbf{x}\in\{\mathbf{x}_m\}}\left(\mathbf{r}^{\mathrm{H}}\mathbf{Q}_{\mathbf{x}}\mathbf{\Lambda}_{\mathbf{x}}\mathbf{Q}_{\mathbf{x}}^{\mathrm{H}}\mathbf{r}\right) = \arg\max_{\mathbf{x}\in\{\mathbf{x}_m\}}\left(\left(\mathbf{V}_{\mathbf{x}}^{\mathrm{H}}\mathbf{r}\right)^{\mathrm{H}}\mathbf{V}_{\mathbf{x}}^{\mathrm{H}}\mathbf{r}\right), \quad (8)$$

Рассмотрим смысл формулы (8) подробнее. Умножение матрицы $\mathbf{V}_{\mathbf{x}}^{\mathrm{H}}$ на вектор принятых отсчетов $\mathbf{r}$ означает вычисление n комплексных корреляций, опорными сигналами этих корреляторов являются столбцы матрицы $\mathbf{V}_{\mathbf{x}}$. Далее в (8) вычисляется сумма квадратов модулей для всех полученных корреляций. Это выполняется поочередно для всех M возможных переданных сигналов, и в качестве GLRT-решения выбирается тот из них, для которого сумма квадратов модулей корреляций оказалась максимальной.

Таким образом, полученный алгоритм фактически представляет собой некогерентный корреляционный приемник, но для каждого возможного сигнала вычисляется не одна, а n корреляций. Опорные сигналы корреляторов, помимо возможных переданных сигналов, зависят от корреляционных свойств канала

связи и от мощности АБГШ. Вычислительная сложность такого алгоритма в n раз больше, чем у обычного корреляционного приемника.

3. Результаты моделирования

Для оценки качества работы GLRT-приемника в условиях рэлеевского канала было выполнено моделирование передачи данных. Использовались кодовые книги, состоящие из символов ФМ-2 или ФМ-4 с добавлением одного пилот-символа. Для задания корреляционных свойств канала применялась стандартная модель Джейкса:

$$E\{h_i h_{i-\Delta i}^*\} = J_0(2\pi f_\mathrm{d} T \Delta i),$$

где $J_0(\cdot)$ – функция Бесселя первого рода нулевого порядка, f_d – доплеровский разброс частоты, T – интервал между отсчетами сигнала x_i.

Чтобы проанализировать влияние величины доплеровского разброса на помехоустойчивость при разных методах приема, на рис. 1 показана зависимость вероятности блоковой ошибки (BLER) от $f_\mathrm{d}\,T$ при отношении сигнал-шум (ОСШ) на бит 30 дБ.

Видно, что при малых $f_\mathrm{d}\,T$ коррелятор (3) и GLRT-приемник (8) показывают идентичные результаты. С ростом длины сигналов выигрыш в области средних значений $f_\mathrm{d}\,T$ (около 0.1), получаемый с помощью предложенного метода, увеличивается, в то время как помехоустойчивость коррелятора ухудшается. При $n = 2$ кривые для обоих методов приема совпадают для всех значений $f_\mathrm{d}\,T$, за исключением области $0.4 < f_\mathrm{d}\,T < 1$, где GLRT позволяет получить более низкие значения BLER.

Зависимость BLER от ОСШ на бит можно оценить по рис. 2, где построены кривые помехоустойчивости для обоих методов приема при постоянном $f_\mathrm{d}\,T = 0.1$.

Видно, что с ростом ОСШ при использовании коррелятора вероятность ошибки быстро перестает убывать, в то время как кривая для метода GLRT продолжает падать. С увеличением n коррелятор демонстрирует ухудшение помехоустойчивости, а кривые для GLRT-приемника стремятся к меньшим значениям BLER. Графики при $n = 2$ для обоих методов совпадают, как и на предыдущем рисунке.

Для подтверждения предположения о малости мультипликативных искажений сигнальных посылок при достаточно медленном изменении состояния канала на рис. 3 приведены зависимости BLER от $f_\mathrm{d}\,T$ для GLRT-приемника при ОСШ на бит 30 дБ без учета и с учетом формы сигнальных посылок. Сигнальные посылки формировались с помощью rcos-фильтра с коэффициентом сглаживания 0.5. Видно, что кривые, полученные без учета и с учетом формы сигнальных посылок, отличаются только при $0.4 < f_\mathrm{d}\,T < 1$, причем с увеличением длины сигналов разница снижается.

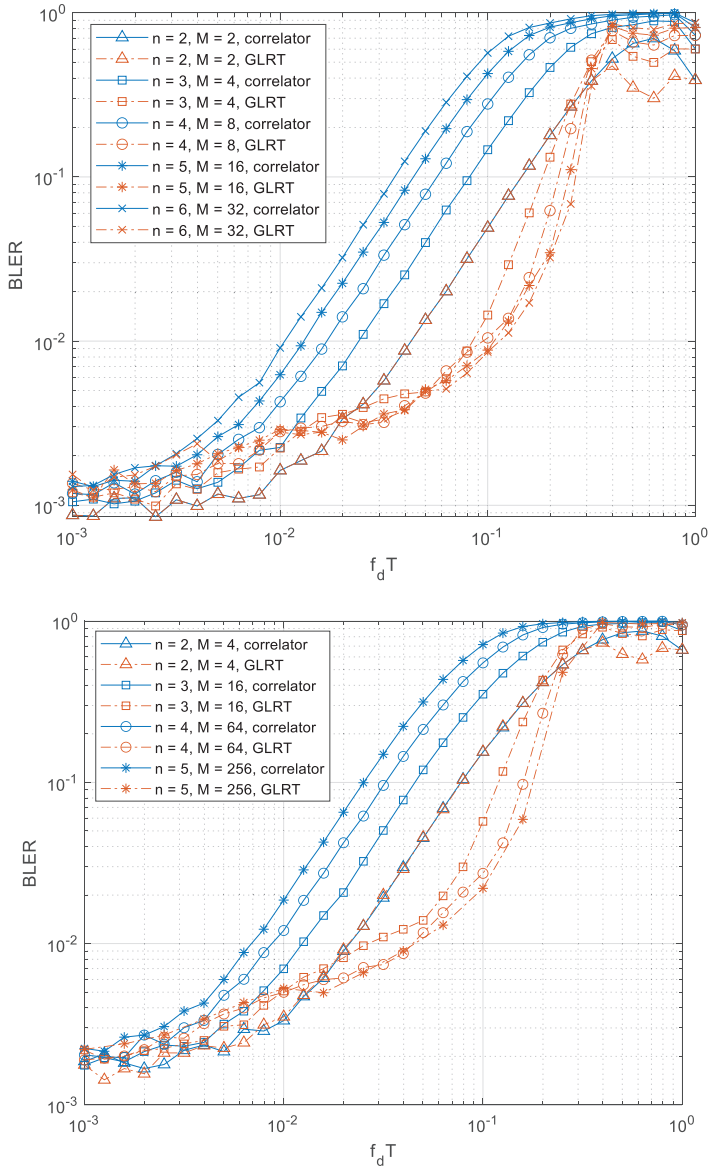


Рис. 1. Зависимость BLER от f_d T для ФМ-2 (слева) и ФМ-4 (справа)

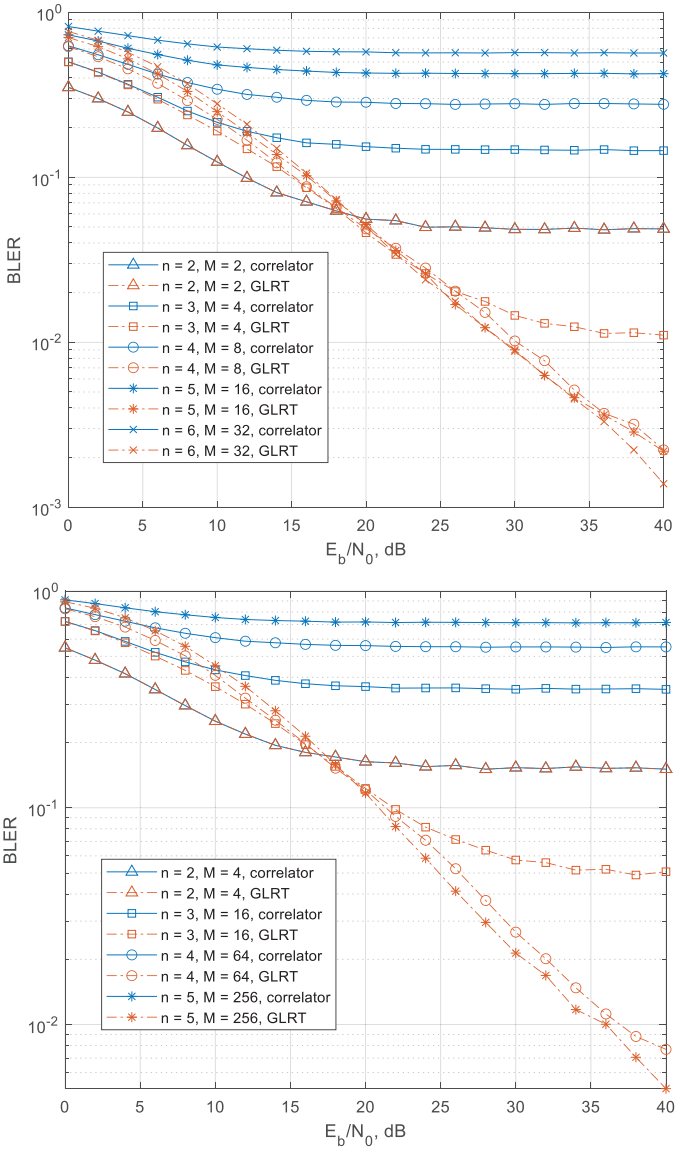
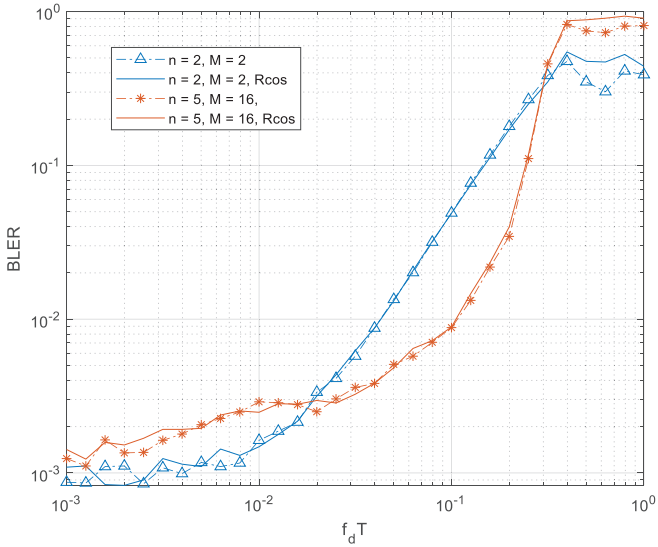


Рис. 2. Зависимость BLER от ОСШ для ФМ-2 (слева) и ФМ-4 (справа)



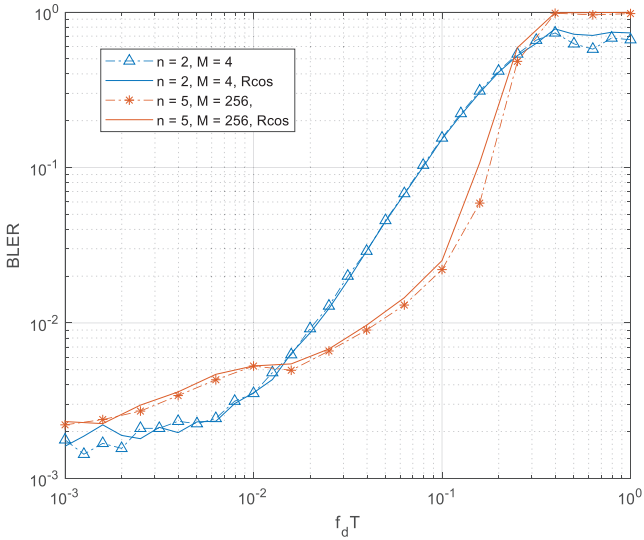


Рис. 3. Зависимость BLER от f_d T при наличии и отсутствии rcos-фильтра для ФМ-2 (слева) и ФМ-4 (справа)

Заключение

Предложенный способ приема реализует метод обобщенного отношения правдоподобия применительно к рэлеевскому каналу связи с известными на приемной стороне корреляционными свойствами. Результаты компьютерного моделирования показали, что такой подход существенно снижает чувствительность приемника к доплеровскому разбросу, позволяя работать в условиях быстрых замираний. Платой за это является вычислительная сложность, превышающая сложность стандартного корреляционного приемника с коэффициентом, равным числу отсчетов используемых сигналов (n).

Возможные направления дальнейших исследований:

- получение аналитических оценок для вероятности ошибки при использовании данного метода приема;
- поиск упрощенных вариантов алгоритма для снижения вычислительных затрат;
- адаптация метода для реалистичных сценариев использования, когда отношение сигнал/шум и корреляционные свойства канала связи неизвестны или известны неточно;
- оптимизация используемых для передачи наборов сигналов с целью минимизации вероятности ошибки в рассматриваемой ситуации.

Библиографический список

1. Прокис Дж. Цифровая связь / Пер. с англ.; Под ред. Д. Д. Кловского. М.: Радио и связь, 2000.
2. D. Warrier, U. Madhow. Spectrally efficient noncoherent communication // IEEE Transactions on Information Theory. Vol. 48. No. 3. P. 651–668, Mar 2002.
3. M. L. McCloud, M. K. Varanasi. Modulation and Coding for Noncoherent Communications // Journal of VLSI Signal Processing-Systems for Signal, Image, and Video Technology. Vol. 30, No. 1–3. P. 35–54, 2002.
4. D. Divsalar, M. K. Simon. Multiple-symbol differential detection of MPSK // IEEE Transactions on Communications. Vol. 38. No. 3. P. 300–308, Mar 1990.
5. M. K. Simon, M. S. Alouini. Digital communication over fading channels: a unified approach to performance analysis, 2nd ed. John Wiley & Sons, 2005.

УДК 004.048

А. П. Силуков*
магистрант
А. В. Аграновский*
кандидат технических наук, доцент
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ КЛАССИФИКАЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТИПА ФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ДАТЧИКОВ

В статье рассматривается применение различных методов классификации для обработки данных интегрированных датчиков современного смартфона с целью получения информации о физической активности пользователя. Представлены результаты моделирования процесса обработки с использованием известного набора экспериментальных данных. Сделан вывод о целесообразности применения метода опорных векторов.
Ключевые слова: классификация, дерево решений, случайный лес, логистическая регрессия, метод опорных векторов, точность, полнота, F-мера, средняя абсолютная ошибка, среднеквадратическая ошибка, матрица ошибок.

A. P. Silukov*
Postgraduate Student
A. V. Agranovskii*
PhD, Tech., Associate Professor
* St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

COMPARATIVE ANALYSIS OF RESULTS OF MODERN CLASSIFICATION ALGORITHMS USAGE FOR DETERMINING THE TYPE OF PHYSICAL ACTIVITY BASED ON INTEGRATED SENSORS DATA

The article considers the usage of different classification algorithms to process modern smartphone sensors data to obtain user's physical activity information. The results of processing using a known set of experimental data are presented. It is concluded that the methods of support vector machine are expedient for given task.
Keywords: classification, decision tree, random forest, logistic regression, support vector machine, accuracy, recall, F-measure, mean absolute error, root mean square error, confusion matrix.

Введение

Интеллектуальный анализ данных обеспечивает получение разнообразной дополнительной информации, позволяющей добиться значительного прогресса в самых разных областях человеческой деятельности, таких как безопасность, здравоохранение, образование, экономика и многих других.

Одним из самых распространенных источников данных являются смартфоны, имеющиеся в настоящее время у большинства абонентов мобильных се-

тей. Смартфоны представляют собой интеллектуальные устройства, снабженные набором таких датчиков как акселерометр, гироскоп, магнитометр, GPS-модуль и ряда других. Накопление и обработка данных указанных датчиков позволяет получить информацию об особенностях жизнедеятельности владельца смартфона, прежде всего, о его физической активности.

Такая информация позволяет человеку, например, анализировать свою физическую активность и управлять ею с целью обеспечения здорового образа жизни, что особенно актуально на фоне карантинных мер и ограничения передвижений.

Поскольку разработчики современных мобильных приложений не раскрывают информацию об используемых ими алгоритмах анализа физической активности, проведем сравнение результатов применения современных методов классификации [1] для получения информации о физической активности человека на основе данных комплекта интегрированных датчиков современного смартфона.

Постановка задачи классификации

Для проведения сравнения используем известный набор данных из эксперимента [2], в котором группа из 30 человек со смартфоном на базе ОС Android, закрепленном на поясе, выполняла шесть типов активности – ходили, поднимались по лестнице, спускались по лестнице, стояли, сидели, лежали. Полученный набор данных имеет 561 значимую характеристику для каждого типа активности при общем количестве записей, равном 10299.

Одним из направлений систематизации и обработки данных с целью получения новой информации является классификация, позволяющая найти граничные функции для разделения или группировки элементов либо по известным категориям, либо по группам схожих элементов [1]. Для анализа данных интегрированных датчиков воспользуемся несколькими методами классификации: деревьями решений, алгоритмом Random Forest, логистической регрессией [3], а также методом опорных векторов (SVM) [4].

Метрики оценки классификации

Рассмотрим метрики оценки классификации. Чтобы оценить полученный классификатор, обычно принимают во внимание следующие показатели:

- TP (True Positives) – количество экземпляров, классифицированных как принадлежащие классу A, которые действительно принадлежат классу A;
- TN (True Negatives) – количество экземпляров, классифицированных как не принадлежащие классу A, которые действительно не принадлежат классу A;
- FP (False Positives) – количество экземпляров, классифицированных как принадлежащие классу A, которые фактически не принадлежат классу A;
- FN (False Negatives) – количество экземпляров, классифицированных как не принадлежащие классу A, которые фактически принадлежат классу A.

Наиболее часто используемая метрика оценки модели – это ее общая точность (accuracy) – доля правильных ответов алгоритма [5]:

$$\text{Accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}. \quad (1)$$

Из описанных показателей составим матрицу ошибок (табл. 1), из которой можно вывести некоторые метрики для оценки методов классификации.

Таблица 1

Матрица ошибок

	Прогнозировано отрицательное	Прогнозировано положительное
Фактически отрицательно	True Negatives (TN)	False Positives (FP)
Фактически положительно	False Negatives (FN)	True Positives (TP)

Из матрицы ошибок можно вывести точность работы алгоритма на каждом из классов (precision) – доля объектов из рекомендаций, определенных как принадлежащие условному классу A, которые действительно ему принадлежат:

$$P = \frac{TP}{TP + FP}. \quad (2)$$

Также из матрицы ошибок можно вывести метрику под названием полнота (recall). Она показывает сколько фактически положительных рекомендаций нашел алгоритм из всего набора:

$$R = \frac{TP}{TP + FN}. \quad (3)$$

Эта метрика также подходит для использования в случаях с несбалансированной выборкой [5].

На практике часто используется F-мера – среднее гармоническое точности и полноты, где $a = 0.5$, то есть в данной мере у полноты и точности одинаковые веса:

$$\text{F-measure} = \frac{2RP}{R + P} = \frac{2TP}{2TP + FN + FP}. \quad (4)$$

Наиболее часто встречаемой метрикой оценки качества рекомендательных систем в литературе является MAE (Mean Absolute Error) – средний модуль отклонения предсказанного значения от фактического:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n} | y_i - x_i |}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} | e_i |}{n}, \quad (5)$$

где n – количество прогнозов; y_i – прогноз; x_i – истинное значение; e_i – среднее арифметическое абсолютных ошибок.

Еще одной популярной метрикой является $RMSE$ (Root Mean Square Error) – среднеквадратическое отклонение:

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - x_i)^2}{n}}, \tag{6}$$

где n – количество прогнозов, y_i – прогноз, x_i – истинное значение.

Результаты исследований

Для удобства работы и точного расчета метрик оценки классификации было произведено преобразование целевых классов в числовой тип данных: LAYING – 0, STANDING – 1, SITTING – 2, WALKING – 3, WALKING_UPSTAIRS – 4, WALKING_DOWNSTAIRS – 5. После чего было выполнено разбиение набора данных на обучающую и тестовую выборку в пропорции 70 на 30 с помощью библиотеки pandas на языке python. Объем обучающей выборки составил – 7352 записи, а тестовой – 2947.

Для проведения эксперимента были написаны скрипты на языке python с использованием библиотеки sklearn для каждого из представленных в данной работе алгоритмов классификации и расчета оценочных метрик.

После апробации алгоритмов классификации на данном наборе данных были получены метрики оценки по каждому из описанных выше алгоритмов. Сравнительная таблица приведена ниже (табл. 2).

Таблица 2

Метрики оценки по результатам апробации

	Accuracy	Precision	Recall	F-measure	MAE	RMSE
Дерево решений	0.854428	0.853437	0.851077	0.851208	0.159145	0.431615
Случайный лес	0.932813	0.934213	0.929817	0.931118	0.076349	0.307689
Логистическая регрессия	0.958263	0.960492	0.957244	0.958106	0.044791	0.225609
Линейный SVM	0.960299	0.965360	0.959795	0.960570	0.042755	0.221050
SVM с функцией ядра	0.851714	0.886251	0.858947	0.845463	0.155073	0.410665

С помощью модуля sklearn.metrics были получены матрицы ошибок для каждого алгоритма, представленные на рис. 1. На данном рисунке на горизонтальной оси расположены предполагаемые классификатором значения, а на

вертикальной – фактические. Цифры, расположенные на главной диагонали, наглядно демонстрируют, сколько объектов были верно определены в конкретный класс. Цифры за пределами главной диагонали показывают, сколько объектов и в какой класс были определены ошибочно. При рассмотрении рис. 1 необходимо принимать во внимание, что распределение типов активности в исходном наборе данных не является равномерным.

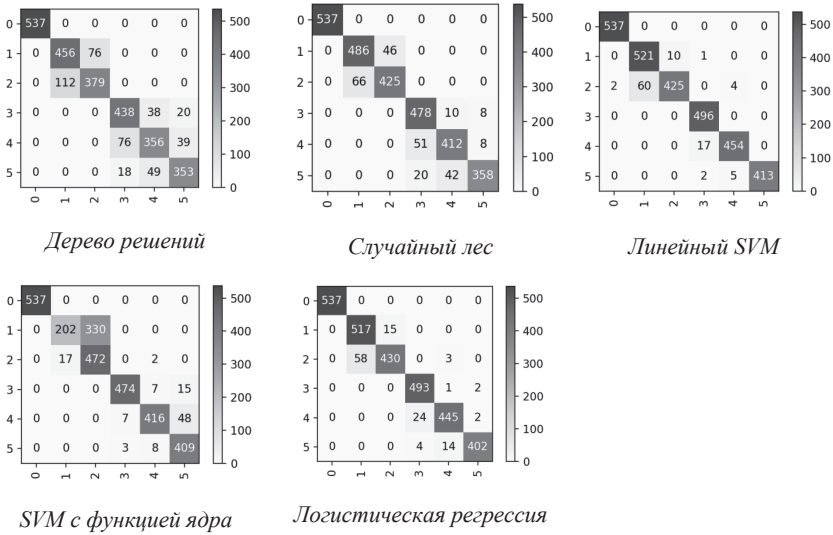


Рис. 1. Матрицы ошибок по результатам апробации

Исходя из полученных метрик можно сказать, что чистый (без модификаций) алгоритм SVM с линейной функцией справляется с этой задачей лучше остальных. На втором месте по показателям располагается логистическая регрессия. Сравнительный анализ матриц ошибок также подтверждает высокое качество работы линейного SVM.

Традиционным методом улучшения качества алгоритмов классификации является предварительная настройка параметров соответствующего алгоритма. Применим данный прием, использовав оптимизацию гиперпараметров – подбор набора оптимальных гиперпараметров для обучающего алгоритма с помощью модуля RandomizedSearchCV из библиотеки sklearn. При этом определяется пространство поиска как ограниченная область значений, и произвольно выбираются точки в этой области. Данный подход помогает обнаружить комбинации гиперпараметров, которые не подобрать интуитивно.

Эксперимент показал, что оптимизация гиперпараметров не позволяет значительно улучшить качество работы алгоритмов, поэтому в дополнение к оптимизации была применена перекрестная проверка (cross-validation) [6], которая реализуется с помощью того же модуля RandomizedSearchCV.

Сравнительная табл. 3 метрик алгоритмов классификации с учетом совместного использования оптимизации гиперпараметров и перекрестной проверки приведена ниже.

Таблица 3

Метрики модифицированных алгоритмов

	Accuracy	Precision	Recall	F-measure	MAE	RMSE
Дерево решений	0.871734	0.872794	0.867701	0.868330	0.138446	0.398504
Случайный лес	0.923312	0.924522	0.920050	0.921302	0.086868	0.327456
Логистическая регрессия	0.958602	0.960997	0.957574	0.958440	0.044113	0.222580
Линейный SVM	0.966407	0.968345	0.966199	0.966709	0.036647	0.206774
SVM с функцией ядра	0.942314	0.940777	0.941109	0.940915	0.077706	0.359561

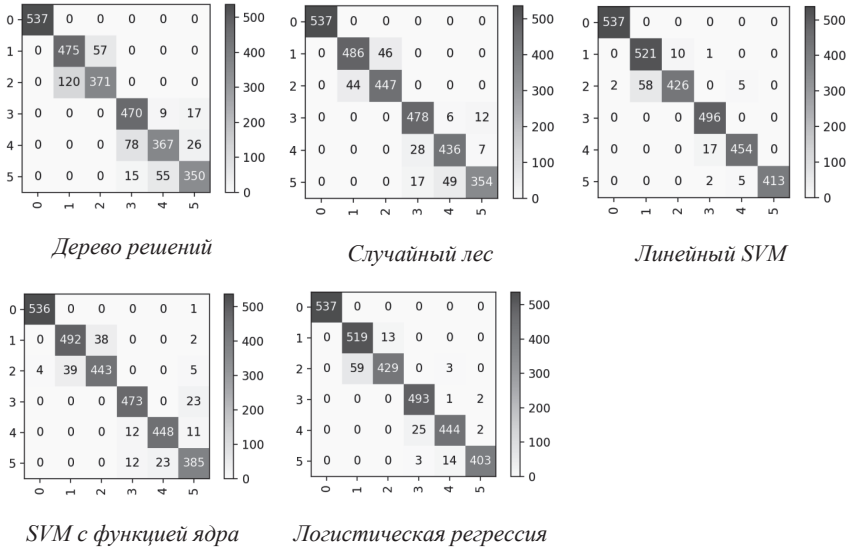


Рис. 2. Матрицы ошибок модифицированных алгоритмов

Анализ представленных результатов показывает, что предложенная модификация позволяет повысить качество работы всех рассмотренных алгоритмов.

Наиболее существенно повышается качество SVM с функцией ядра. Однако наилучшие показатели по-прежнему обеспечивает алгоритм линейного SVM. Проведя сравнительный анализ метрик, представленных в табл. 2 и 3, можно сделать вывод, что алгоритм линейного SVM может обеспечить высокое качество классификации без предварительной настройки, что позволяет сэкономить вычислительные ресурсы.

Заключение

В статье рассмотрены результаты применения различных методов классификации данных интегрированных датчиков смартфона. Предложено использовать модель на основе линейного SVM, реализованную как с предварительной оптимизацией гиперпараметров и перекрестной проверкой, так и без предварительной настройки. Предложенная модель может быть использована в мобильных сервисах на ОС Android для определения типа физической активности пользователей.

Библиографический список

1. Breiman L. Classification and Regression Trees / Breiman L., Friedman J., Stone C. J., Olshen R.A. Belmont, 1984 368 с.

2. Smartphone-Based Recognition of Human Activities and Postural Transitions Data Set. URL: http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Smartphone-Based+Recognition+of+Human+Activities+and+Postural+Transitions (дата обращения: 10.03.2021).

3. Kleinbaum D. G. Logistic Regression: A Self-Learning Text / Kleinbaum D. G., Klein M. Springer, 2010. 719 с.

4. Cristianini N. An Introduction to Support Vector Machines and Other Kernel-based Learning Methods / Cristianini N., Shawe-Taylor J. Cambridge University Press, 2000. 204 с.

5. Stefanowski J. Data Mining – Evaluation of Classifiers / Stefanowski J. Institute of Computing Sciences Poznan University of Technology, Poland, 2010. 40 с.

6. Kohavi R. A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection / Kohavi R. Stanford, 1995. 45 с.

УДК.621.396

Е. А. Синицын*
доктор технических наук, профессор, заместитель начальника
научно-технического центра
Л. Б. Фридман**
доктор технических наук, главный специалист
*АО «Челябинский радиозавод „Полет“»
**АО «Научно производственная компания „Технологии. Инвестиции.
Менеджмент“»

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПОСАДКИ

Рассмотрены особенности построения наземного оборудования при использовании стационарных и мобильных радиолокационных систем посадки, обеспечивающих управление полетами и посадку воздушных судов авиации различного назначения.
Ключевые слова: воздушное судно, группа руководства полетами, диспетчерский радиолокатор, модуль управления, посадочный радиолокатор радиолокационная система посадки, рабочее место, руководитель ближней зоны, руководитель зоны посадки.

E. A. Sinitsyn*
Dr. Sc., Tech., Professor, Deputy Head of the Scientific and technical center
L. B. Fridman**
Dr. Sc., Tech., Chief Specialist
*JSC «Chelyabinsk Radio Plant „Polet“»
**JSC «Scientific and Production Company „Technologies. Investment.
Management“»

FEATURES OF THE CONSTRUCTION OF GROUND CONTROLLED APPROACH SYSTEMS

The paper considers the features of ground equipment construction when using stationary and mobile ground controlled approach systems that provide flight control and landing of various aviation aircrafts.
Keywords: aircraft, flight management group, control radar, control module, precision approach radar, ground controlled approach system, workplace, near-field manager, landing zone manager.

Введение

Для управления движением воздушных судов (ВС) авиации различного назначения в аэродромной зоне наряду с различными радионавигационными средствами широко используется радиолокационные системы посадки (РСП) [1, 2], основной составной частью которых являются средства радиолокации в виде диспетчерского радиолокатора (ДРЛ) или аэродромного обзорного радиолокатора (АОРЛ) с первичным и вторичным каналами (ПК и ВК) обнаружения и измерения координат ВС, а также посадочного радиолокатора (ПРЛ).

ДРЛ (АОРЛ) и ПРЛ, входящие в состав РСП, обеспечивают:

- контроль над воздушной обстановкой в зоне аэродрома путем кругового для ДРЛ и секторного для ПРЛ радиолокационного обзора воздушного пространства с выполнением функций обнаружения, опознавания, измерения параметров положения и движения ВС,

- управление полетами ВС в зоне посадки при помощи ДРЛ (АОРЛ) и ПРЛ, а также обеспечение посадки ВС при помощи ПРЛ на взлетно-посадочную полосу (ВПП) аэродрома.

Информация о ВС, получаемая в РСП при помощи ДРЛ и ПРЛ, используется в целях управления воздушным движением (УВД) группой руководства полетами (ГРП) аэродрома, руководитель ближней зоны (РБЗ) и руководитель зоны посадки (РЗП) которой, находятся на стационарном или мобильном командном диспетчерском пункте (КДП) аэродрома.

РСП является необходимым дополнением к средствам радиомаячной инструментальной посадки и позволяет решать задачи вывода ВС в район аэродрома, наблюдения за воздушной обстановкой, регулирования воздушного движения в районе аэродрома, опознавания отдельных самолетов, обеспечения захода на посадку путем задания экипажу ВС направлений курса посадки и глиссады снижения по командам с земли [3].

Особенности построения РСП

В состав РСП наряду со средствами радиолокации (ДРЛ или АОРЛ и ПРЛ) входят также средства радиосвязи и средства радиопеленгации (рис. 1).

В качестве средства радиопеленгации используется радиопеленгатор, автоматически определяющий направление на ВС, после чего посредством радиостанций организуется радиоканал для речевых переговоров экипажа ВС с РБЗ и РЗП, находящимися на КДП.

Для управления полетами и посадкой ВС на стационарных аэродромах используют стационарные РСП, имеющие упрощенный состав наземного оборудования радиолокационной позиции.

В состав основного функционального оборудования радиолокационной позиции стационарных РСП входят средства радиолокации (рис. 2):

- ДРЛ (АОРЛ), содержащий ПК, ВК с приемопередающими антеннами и аппаратуру объединения и передачи данных (АОПД) ДРЛ,

- ПРЛ, содержащий канал курса (КК), канал глиссады (КГ) с приемопередающими антеннами и АОПД ПРЛ.

Первичное электрическое питание ДРЛ и ПРЛ в стационарных РСП выполняется от внешней промышленной электросети (ПЭ) ~380 В 50 Гц напрямую или, как правило, через дизельную электростанцию (ДЭС), обеспечивающую ДРЛ и ПРЛ гарантированным электропитанием в случае пропадания напряжения внешней ПЭ.

Функциональное оборудование КДП при использовании стационарных РСП имеет следующие основные составные части (рис. 2):

- рабочие места (РМ) руководителей ГРП, в т.ч. РБЗ, РЗП и старший руководитель полетов (СРП),

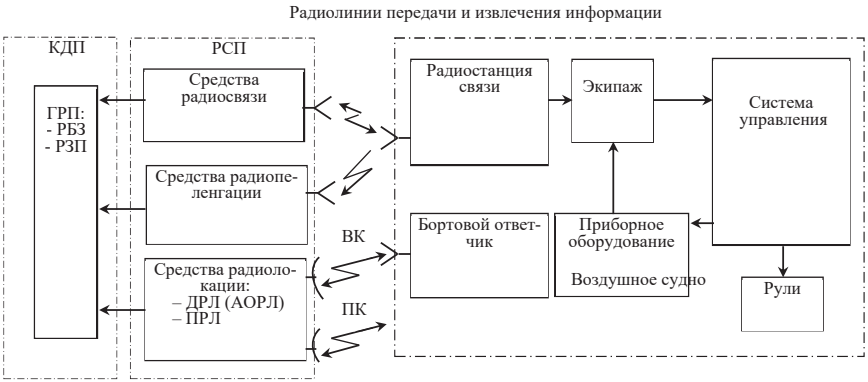


Рис. 1. Управления полетами и посадкой ВС при помощи РСП

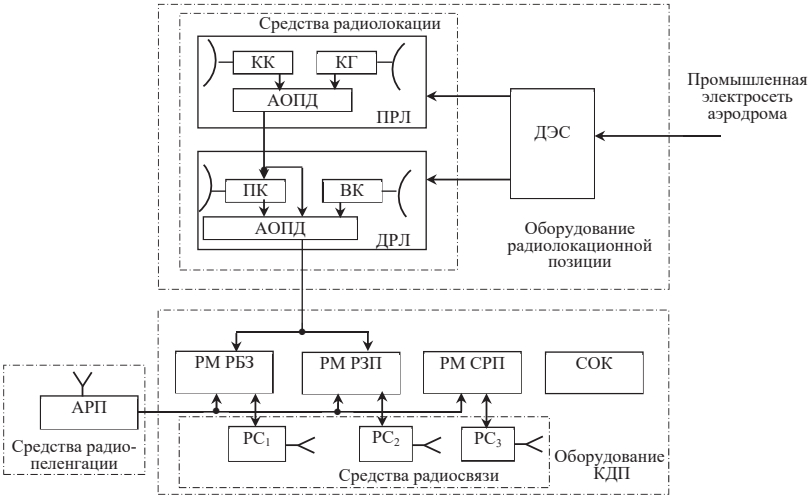


Рис. 2. Радиолокационная позиция и КДП при использовании стационарных РСП

- средства радиосвязи в виде радиостанций связи (РС) $РС_1$-$РС_3$, подключаемых к РМ РБЗ, РЗП и СРП,

- средства радиопеленгации в виде автоматического радиопеленгатора (АРП),

- система объективного контроля (СОК), обеспечивающая наблюдение, а также звуковую и оптическую регистрацию текущих действий руководителей ГРП в ходе рабочего процесса управления полетами и посадкой ВС.

На оперативных аэродромах, а также временных взлетно-посадочных площадках для управления полетами и посадкой ВС используют мобильные

РСП, которые содержат более полный состав оборудования наземной радиолокационной позиции.

Функциональное оборудование радиолокационной позиции мобильных РСП содержит, как и стационарные РСП, средства радиолокации в составе ДРЛ (АОРЛ) и ПРЛ с приемопередающими антеннами, а также дополнительное оборудование – модуль управления (МУ) со средствами радиопеленгации в виде АРП, рабочими местами РБЗ и РЗП, средствами радиосвязи в виде радиостанций связи $РС_1$ для РМ РБЗ, $РС_2$ для РМ РЗП и СОК, обеспечивающей наблюдение, звуковую и оптическую регистрацию текущих действий РБЗ и РЗП с возможностью их последующего воспроизведения.

Штатное электрическое питание мобильных РСП (ДРЛ, ПРЛ и МУ) выполняется всегда от ДЭС с возможностью подключения, в случае наличия, внешней ПЭ ~380 В 50 Гц.

Если на мобильных аэродромах имеется головной стационарный КДП, то в состав оборудования такого КДП для контроля работой мобильных РСП входит упрощенный набор аппаратуры – РМ СРП, радиостанция связи, подключаемая к РМ СРП, и СОК, обеспечивающая наблюдение, а также регистрацию текущих действий СРП в ходе рабочего процесса общего управления полетами и посадкой ВС.

В стационарной и мобильной РСП ПРЛ обеспечивает:

- независимый обзор воздушного пространства по первичному радиолокационному каналу курса в секторе посадки курса и по первичному радиолокационному каналу глиссады в секторе посадки глиссады,
- излучение зондирующих сигналов, прием отраженных радиолокационных сигналов, обнаружение и измерение полярных координат ВС в чистой зоне (на фоне внутриприемных шумов) и на фоне пассивных помех (мешающих отражений от земной поверхности, местных предметов и метеообразований) в КК (дальность, азимут) и КГ (дальность, угол места),
- обработку радиолокационной информации в КК и КГ для обнаружения метеобразований (МО) по КК и КГ (опционально),
- совместную обработку и объединение координатной информации об обнаруженных ВС и МО, поступающей по КК и КГ,
- выдачу координатной информации об обнаруженных ВС и МО на ДРЛ.

В стационарной и мобильной РСП ДРЛ обеспечивает:

- одновременный круговой обзор воздушного пространства по ПК и ВК,
- излучение зондирующих сигналов ПК, прием отраженных радиолокационных сигналов, обнаружение и измерение полярных координат (дальность, азимут) ВС в чистой зоне и на фоне пассивных помех по ПК,
- излучение запросных сигналов ВК, прием, обработку и обнаружение ответных сигналов ВС, оборудованных самолетными ответчиками, работающими в отечественном стандарте УВД (опционально) и международном стандарте RBS, измерение полярных координат (дальность, азимут) обнаруженных ВС, прием и обработка дополнительной бортовой полетной информации УВД и RBS, передаваемой в ответном сигнале,

- излучение запросных сигналов ВК, прием, обработка и обнаружение ответных сигналов ВС, оборудованных самолетными ответчиками, работающими в 4-м (определение бортового номера ВС) и 6-м (определение высоты и запаса топлива ВС) режимах VII-го диапазона длин волн единой системы (ЕС) государственного радиолокационного опознавания (ГРЛО), измерение координат (дальность, азимут и угол места) обнаруженных ВС, прием и обработка бортовой полетной информации ЕС ГРЛО (опционально),

- совместную обработку и объединение координатной и дополнительной полетной информации, поступающей по ПК и ВК.

- выдачу информационных данных о воздушной обстановке:

- выходных данных ПК и ВК ДРЛ (АОРЛ) на РМ РБЗ в модуль управления (для мобильных РСП) и на КДП (для стационарных КДП),
- выходных данных ПРЛ на РМ РЗП в модуль управления (для мобильных РСП) и на КДП (для стационарных КДП).

Рабочие места РБЗ и РЗП в стационарном и мобильном КДП обеспечивают:

– прием и обработку информации, поступающей от ДРЛ, ПРЛ и АРП,

– отображение на индикаторе кругового обзора (ИКО) азимутальных линий, круговой дальномерной сетки, картографической информации; радиолокационной информации, поступающей от ДРЛ (АОРЛ), линий и значений пеленга ВС,

– отображение на индикаторе курс-глиссада (ИКГ) азимутальных и угломестных линий, дальномерной сетки, плановых (номинальных) линий посадки по курсу и глиссаде, граничных линий зон допустимых отклонений по курсу и глиссаде, радиолокационной информации, поступающей от КК и КГ ПРЛ,

– гибкое управление составом информации (формуляров ВС), выводимой на экран, раздельную регулировку яркости (интенсивности) элементов изображения,

– ступенчатую и плавную регулировку масштаба изображения, смещение центра изображения в произвольную точку экрана,

– отображение на ИКГ потенциально опасных ситуаций расположения ВС (опасное сближение ВС, выход за пределы зоны допустимых отклонений при снижении на посадочном курсе) с выдачей звукового сигнала и возможностью его отключения,

– взаимное резервирование рабочих мест РБЗ и РЗП,

– запоминание индивидуальных настроек ИКО и ИКГ, возврат к исходным «заводским» настройкам,

– ведение радиосвязи с экипажами ВС с использованием РС, а также оперативной и неоперативной наземной громкоговорящей и телефонной связи с личным составом дежурных служб, пунктов управления и др.,

– выдачу информации о состоянии функционирования (готовность, норма, ухудшение, авария),

– работу с электронной версией эксплуатационной документации.

Средства СОК в стационарном и мобильном КДП осуществляют:

– регистрацию переговоров руководителей ГРП, ведущихся по каналам воздушной радиосвязи с экипажами ВС, по каналам наземной телефонной и громкоговорящей связи и переговорах лиц ГРП между собой с возможностью последующего воспроизведения;

– регистрацию видеоинформации о работе ИКО, ИКГ и действиях руководителей ГРП на рабочих местах с возможностью последующего воспроизведения.

Радиостанции связи в стационарном и мобильном КДП обеспечивают в симплексном режиме радиотелефонную связь с ВС на фиксированных частотах в диапазоне ультракоротких волн.

Модуль управления мобильных РСП при помощи АОПД обеспечивает объединение и передачу информационных данных от средств радиолокационной позиции РСП к стационарному КДП, в т.ч. радиолокационную и радиопеленгационную информацию, данные СОК, сигналы контроля и управления изделиями РСП в режимах дистанционного управления (от КДП) и местного управления (от модуля управления).

Пространственное положение ВС, заходящего на посадку, относительно заданной линии захода на посадку (линий посадки по курсу и глиссаде) в РСП определяется с помощью ПРЛ. ПРЛ обеспечивает секторный обзор пространства в зоне взлетной посадочной полосы (ВПП) в плоскостях курса и глиссады линии посадки.

Отклонение ВС от заданных линий курса и глиссады регистрируется на экранах курсового и глиссадного индикаторов ПРЛ. Одновременно по индикаторам определяется расстояние от ВС до точки приземления. Учитывая данные о положении ВС относительно линии посадки, руководитель посадки передает по радиосвязи на борт ВС команды, выполняя которые экипаж выводит ВС на ВПП. ПРЛ позволяет обеспечить снижение самолетов любых типов вне видимости земли до высоты принятия решения о продолжении посадки или повторном заходе на посадку и ниже.

Использование выносных рабочих мест РСП с индикаторами ИКО и ИКГ, установленных непосредственно на КДП, обеспечивает высокую степень информированности ГРП и оперативность выдаваемых данных о воздушной обстановке.

Основные выводы

1. Состав оборудования радиолокационной позиции и КДП аэродрома зависит от типа радиолокационных систем посадки, используемых для управления полетами и посадкой ВС в аэродромной зоне.

2. Стационарные РСП, имеющие упрощенные состав и схему сопряжения наземного оборудования радиолокационной позиции, используются на стационарных аэродромах и имеют более полный состав аппаратуры КДП.

3. Мобильные РСП, используемые на оперативных аэродромах и временных взлетно-посадочных площадках, содержат более полный состав оборудования наземной радиолокационной позиции, в т.ч. дополнительный модуль управления с рабочими местами ГРП, радиостанциями связи, системой объек-

тивного контроля и автоматическим радиопеленгатором, и упрощенный состав аппаратуры КДП

4. Модуль управления мобильных РСП обеспечивает объединение и передачу информационных данных от средств радиолокационной позиции РСП к упрощенному стационарному КДП, в т. ч. радиолокационную и радиопеленгационную информацию, данные СОК, сигналы контроля и управления изделиями РСП в режимах дистанционного управления (от КДП) и местного управления (от модуля управления).

Библиографический список

1. Волков С.И., Каргапольцев А.А., Курилов Н.Н. Радиолокационная система посадки РСП-6М2: учеб. пособие. / Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет)». М., 2010. 153 с.

2. Радиолокационные системы посадки РСП-27 и РСП-28М (стационарная и мобильная): Краткое описание выполненных работ. / АО «НПО ЛЭМЗ». М., 2012. 11 с. http://www.aviationunion.ru/Files/Nom_7_LAMZ.pdf (дата обращения: 05.04.2021).

3. Федеральные авиационные правила по производству полетов экспериментальной авиации. / Приказ Росавиакосмоса №104 от 28.06.2000 «Об утверждении Федеральных авиационных правилах по производству полетов экспериментальной авиации». М., 2000. 178 с. (интернет-статья)

4. РСП-10МН. Радиолокационная система посадки. Техническое описание. ЕИ1.001.013 ТО1. 1976. https://booksee.org/book/614685 (дата обращения: 05.04.2021).

5. Краткий обзор и сравнительный анализ радиолокационных систем посадки РСП-27 и AN/MPN-25. Воздушно-космические силы. Теория и практика, № 8, декабрь 2018, с.67-76 (интернет-статья)

6. РЛС управления воздушным движением с превосходными эксплуатационными и техническими характеристиками. https://www.l3harris.com/all-capabilities/mpn-25-military-air-traffic (дата обращения: 05.04.2021).

УДК 621.396

В. В. Тарасов*
магистрант
А. Ю. Прохоренко*
магистрант
Д. О. Федотов*
магистрант
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения

ТЕХНОЛОГИЯ MIMO В СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ

Рассмотрены базовые понятия, касающиеся принципов построения и функционирования мульти-антенных решеток, выполненных по технологии MIMO. Указаны проблемы, возникающие при передаче сигналов в городских условиях и методы их решения. В общем случае описан принцип функционирования таких систем, в частности разделение потоков передаваемых данных.
Ключевые слова: MIMO, мульти-антенная решетка, передача данных, разнесенный прием, предварительное кодирование.

V. V. Tarasov*
Postgraduate Student
A. Yu. Prokhorenko*
Postgraduate Student
D. O. Fedotov*
Postgraduate Student
St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

MIMO TECHNOLOGY IN MODERN COMMUNICATION SYSTEMS

The basic concepts related to the principles of construction and operation of multi-antenna arrays made using MIMO technology are mentioned in this article. The problems arising during signal transmission in urban conditions and methods of their solution are stated. In the general case, the principle of operation of such systems is described, in particular, the separation of streams of transmitted data.
Keywords: MIMO, multi-antenna array, data transmission, diversity reception, precoding.

Введение

В настоящее время среди важных технологических решений, используемых в целях улучшения показателей работы беспроводных сетей, можно выделить технологию MIMO. аббревиатура MIMO – Multiple Input Multiple Output, что в переводе на русский язык означает: множественный вход и множественный выход. MIMO – это мульти-антенная решетка, включающая в себя несколько приемо-передатчиков, которые осуществляют обмен потоками информации по разнесенным каналам. Такое решение подразумевает использование нескольких разнесенных приемных и передающих антенн. Если общее число входов и выходов превышает 8, то подобную систему называют Massive MIMO

или массивное MIMO. Такие технологии позволяют формировать лучи с узкой диаграммой направленности, а также точно управлять их направлением в нескольких плоскостях.

Основной целью проектирования и применения данной технологии является улучшение спектральной эффективности системы, пропускной способности беспроводного канала и увеличение качества связи, что дает преимущества по критерию обеспечения большой емкости.

С каждым годом растёт количество сервисов, для которых существует потребность в наличии высокоскоростного соединения, с низкой частотой отказов. Это актуально в большом количестве сфер жизнедеятельности людей, как при обмене информацией между абонентами в повседневной жизни, так и, например, при эксплуатации различного рода беспилотных систем – летательных аппаратов или наземного транспорта.

Особенности распространения радиоволн

Часто рассматриваемые в теории идеализированные процессы приема и передачи данных, на практике не могут быть реализованы, в силу множества причин, и по итогу характеристики реальных систем оказываются в разы ниже. На прохождение сигнала в среде влияет множество факторов, например процессы взаимного воздействия передающих устройств, возникновение помех, в том числе интерференционных, а также наличие различных преград на его пути распространения. В связи с этим, сигнал, излучаемый антенной в городских условиях, претерпевает значительные изменения, и в итоге может быть представлен несколькими частями: отраженной от предметов, в частности строений, поглощенной ими, проходящей.

Единственным вариантом достижения сигнала является отражённые волны, однако при многократном отражении сигнал значительно теряет свою мощность за счет рассеивания, что еще сказывается и на возникновении задержек, то есть выражается в нарушении требования своевременности приема и передачи информации.

Еще одну трудность создает следующее свойство некоторых объектов – их подвижность. Это способно вызвать проблему многолучевого распространения излучаемого сигнала.

Эта проблема не является неразрешенной, существует несколько путей борьбы с ней. Один из них, так называемый разнесенный прием или Receive Diversity. Такой метод подразумевает наличие не одной приемной антенны, а нескольких, причем разнесенных на расстояние одна от другой, в большинстве случаев число антенн равняется двум. Результатом такой технологии является следующий факт: абонент получает одновременно несколько копий сигналов, что в значительной мере повышает энергию принимаемого сигнала за счет ее накопления [5]. Такие системы имеют следующую аббревиатуру – SIMO или Single Input Multiple Output, что в переводе на русский язык означает одиночный вход и множественный выход, что и обусловлено наличием нескольких передающих антенн.

Также существует противоположная обратная система, в составе которой находятся несколько передающих антенн и только одна приемная. Аббревиатура такой технологии – MISO или Multiple Input Single Output, то есть множественный вход и одиночный выход.

Обобщенные структуры обеих систем представлены в соответствии с рис. 1.

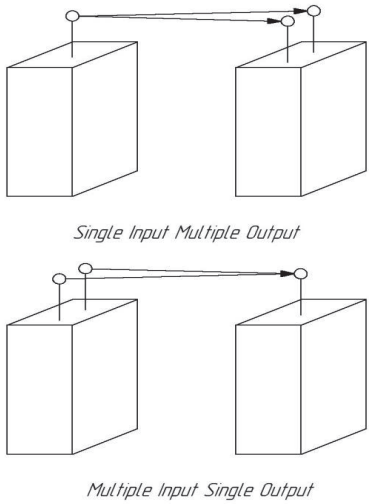


Рис. 1. Применение нескольких антенн

Что в первом, что во втором случае пары антенн устанавливаются на стороне базовой станции, так как на мобильных устройствах возникает сложность, заключающаяся в разнесении антенн на достаточное расстояние.

Объединение двух этих подходов или технологий приводит к ключевому понятию данной статьи – системе MIMO. В ней за счёт наличия нескольких передающих и приемных антенн возможно успешно бороться не только с многолучевым распространением, но и сопоставлять отдельный тракт для передачи информации.

Принцип работы

Чаще всего применяется равное число антенн на входе и выходе, к примеру, минимум, требуемый стандартом LTE – MIMO 2x2 [1]. Но также бывают и другие случаи, например MIMO 4x2, это означает что в системе 4 антенны на входе и 2 антенны на выходе.

Для организации корректной работы системы нужно некоторые изменения: на передающей стороне нужен делитель потоков, разделяющий поток на несколько низкоскоростных составляющих или подпотоков, число которых де-

лится на количество антенн, в соответствии с конкретным случаем. На приемной стороне. Каждый из подпотоков передается на одну из антенн, которые разнесены на некоторое расстояние одна от другой, для увеличения побочных сигналов, которые возникают при переотражениях.

Идентификация сигналов на приеме осуществляется за счет наличия разной поляризации, что и позволяет системе их различать.

В общем случае реализуется следующая схема работы системы, принцип организации которой представлен в соответствии с рис. 2.

Со стороны приемника находятся несколько разнесенных антенн на некотором удалении, за счет чего и организуется так называемый разнесенный прием сигнала. При этом, все приемники получают сигнал от всех антенн, каждый из сумматоров, соответствующий своему тракту, выделяет из общего потока энергию сигнала, относящегося к конкретному тракту. Далее осуществляется определение энергии по какому-либо определенному признаку, например, как было отмечено ранее – поляризация, а также сдвиг фазы, затухание, задержка, которым снабжен каждый из сигналов.

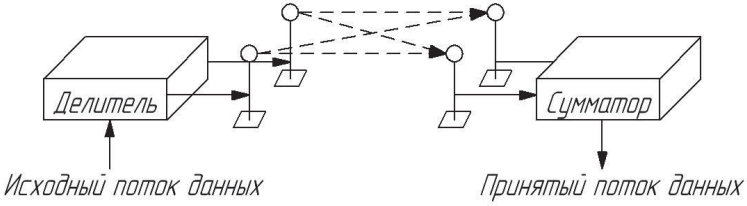


Рис. 2. Принцип организации технологии MIMO

В системе с технологией MIMO может наблюдаться негативное явление, заключающееся в следующем: скорость передачи уменьшится в случае прямой видимости между источником и приёмником сигнала. Такое явление возникает в случае уменьшения выраженности искажений пространства, то есть наблюдается обратная зависимость между качеством соединения и преимуществом от применения технологии.

SU-MIMO и MU-MIMO

Существует технология SU-MIMO (Single User Multiple Input Multiple Output) которая увеличивает скорость соединения между парой устройств, позволяющая принимать и отправлять несколько потоков информации, например: пока одно устройство передаёт информацию, другие устройство ожидают свою очередь. Для общего пользования такая система малопригодна, в отличие от MU-MIMO (Multi User Multiple Input Multiple Output) [2].

Технология MU-MIMO, исходя из названия, подразумевает многопользовательское использование, а именно обеспечивает возможность приема множеством пользователей множества потоков данных. То есть передающая сторо-

на с несколькими антеннами взаимодействует с большим числом приемников одновременно. Особую актуальность подобная технология приобретает в контексте быстрого развития и внедрения в повседневную жизнь технологий, позволяющих организовать интернет вещей. В подобных системах реализуется пространственное разнесение каналов передачи сигналов, что в свою очередь позволяет осуществлять параллельный обмен данными в одних и тех же частотно-временных ресурсах. Для достижения максимальных результатов при использовании многопользовательской технологии MIMO необходима специальная организация пространственных потоков данных для терминалов, а именно их разделение, желательно чтобы выполнялось условие ортогональности. Это условие должно быть обеспечено как при передаче информации, так и при ее приеме. Многопользовательская технология позволяет получить выигрыш в производительности в пространственно коррелированных каналах, а также при увеличении количества антенн на передающей стороне, что делает ее более эффективной, по сравнению с однопользовательской. Работа многопользовательской MIMO технологии регламентируется стандартами семейства IEEE 802.11, начиная с версий “ax” и “ac” [4].

В широкополосном Гауссовском канале многопользовательской MIMO осуществляется оптимальное предварительное кодирование, включающее в себя несколько методов, в том числе метод предварительной “субтракции до помех” DPC – dirty paper coding, что в переводе дословно означает кодирование грязной бумаги. Это позволяет увеличить эффективность передачи данных через канал, подверженный воздействию помех, в том числе и интерференционных [3]. Все используемые алгоритмы предварительного кодирования разделяют на две большие группы: линейные и нелинейные. К линейным относятся методы инверсии канала CI и RCI, которые позволяют соответственно устранить и ослабить действие помехи. Стратегии, подразумевающие использование предварительного кодирования, нацелены на преобразование каналов с перекрестной связью в каналы с параллельной. То есть, нисходящая линия передачи многопользовательской MIMO в некотором роде преобразуется во множество параллельных однопользовательских систем.

На физическом уровне схемы передачи данных по нисходящей линии поддерживаются специальным набором опорных или пилотных сигналов. Так как во время передачи по каналу распространения сигнал подвержен влиянию большого количества воздействий, это сказывается на точности обработки и приводит к деформации. В целях обеспечения эффективной и достоверной обработки сигнала приемником производятся измерения степени деформации сигнала, под воздействием помех. В связи с этим выполняется передача пилотных сигналов, единовременно с передачей данных. В целом пилотные сигналы делят на следующие категории: общие и демодуляционные или выделенные. Первая разновидность применяется для проверки работоспособности канала связи, вторая – применяется в блоках демодуляции. Например, стандарт 3GPP подразумевает передачу одного частотно-временного шаблона для двух типов пилотных сигналов для каждого реального или виртуального антенного порта приемника.

Заключение

Организация высокоскоростной беспроводной связи, в особенности в настоящее время, когда все чаще и чаще происходит передача больших объемов данных на расстояние, является крайне актуальной. Решением некоторых проблем в этой сфере является применение новых технологических решений, таких как системы MIMO. В данной статье были освещены основные моменты построения и организации работы метода пространственного кодирования сигнала, позволяющего в частности увеличить полосу пропускания канала передачи за счет использования нескольких приемный и передающих антенн.

Библиографический список

1. Технологии MIMO в современных сетях сотовой связи. URL [Электрон. ресурс]: https://blog.huawei.ru /technology/технологии-mimo-в- современных-сетях-сото (дата обращения 15.03.2021).

2. Обзор технологии Wi-Fi. URL [Электрон. ресурс]: https://nag.ru/articles/reviews/104595/obzor-tehnologii-wi-fi.html (дата обращения 15.03.2021).

3. Грязное бумажное кодирование. URL [Электрон. ресурс]: https://ru.knowledgr.com/04327525/CodificazioneSporca DiCarta (дата обращения 15.03.2021).

4. Стандарт 802.11ac Wave 2: MU-MIMO и другие возможности. URL [Электрон. ресурс]: https://asp24.ru/novosti-asp24-ru/standart-802.11ac-wave-2-mu-mimo-i-drugie-vozmozhnosti.-samyy-polnyy-faq-po-novomu-standartu./ (дата обращения 15.03.2021).

5. Разнесённый приём (Antenna Diversity) URL [Электрон. ресурс]: http://celnet.ru/diversity.php (дата обращения 15.03.2021).

УДК 004.94

Т. М. Татарникова*
доктор технических наук, доцент
О. И. Кутузов**
доктор технических наук, профессор
Е. Д. Пойманова*
кандидат технических наук, доцент
*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
**Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ РЕАЛИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРЕТО ПРИ ИМИТАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ФРАКТАЛЬНЫХ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Рассматривается ON/OFF-модель, известная как модель серии пакетов, в которой источники данных задаются периодами чередования состояний ON и OFF и продолжительность времени одного из состояний описывается распределением с тяжелыми хвостами – распределением Парето. Показано, что корректная реализация распределения Парето сопряжена со специфическими трудностями вычислительного характера, причиной которых является медленное убывание тяжелого степенного хвоста распределения.
Ключевые слова: самоподобный трафик, ON/OFF-модель источника, распределение Парето, тяжелый хвост распределения.

T. M. Tatarnikova*
Dr. Sc., Tech., Associate Professor
O. I. Kutuzov**
Dr. Sc., Tech., Professor
E. D. Poymanova*
PhD, Tech., Associate Professor
*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
**St. Petersburg Electrotechnical University «LETI»

SOME ASPECTS OF THE IMPLEMENTATION OF THE PARETO DISTRIBUTION IN THE SIMULATION OF FRACTAL QUEUING SYSTEMS

The ON/OFF model is considered, known as the packet series model, in which the source states alternate between ON and OFF states, where the time spent in at least one of these states is described by distributions with heavy tails – the Pareto distribution. It is shown that the correct implementation of the Pareto distribution is associated with specific computational difficulties caused by the slow decay of the heavy power-law tail of the distribution.
Keywords: self-similar traffic, ON/OFF source model, Pareto distribution, heavy tail of distribution.

Введение

Нагрузка современных инфокоммуникационных сетей имеет пачечный характер. Именно пачечность задает пульсирующую структуру трафика, которая может наблюдаться в масштабной инвариантности времени. Пульсирующая структура трафика описывается статистически с использованием понятия самоподобия [1].

Самоподобность (фрактальность) представляет собой характеристику сохранения некоторого свойство изучаемого объекта в разных масштабах пространства и/или времени.

С приходом мультисервисных инфокоммуникационных сетей трафик стал гетерогенным. Результаты статистических экспериментов по измерениям разнородного трафика, представленные в научных публикациях, убедительно доказывают, что трафик современных инфокоммуникационных сетей с пакетной коммутацией соответствует предположениям о фрактальных свойствах трафика инфокоммуникационной сети, к которым обычно относят такие статистические понятия, как самоподобность, медленно затухающая дисперсия и долговременная зависимость [2–4].

Анализ влияния фрактальных свойств сетевого трафика на качество инфокоммуникационной сети является актуальной областью исследования.

Пульсирующая структура трафика и ее описание

Пульсирующая структура трафика характерна основным сетевым сервисам, таким как передача файлов, видео и др. Интуитивно понятно, что если визуализировать процесс поступления в виде пачек пакетов, то трафик будет пульсирующим с характерным для него свойством долговременной зависимости (ДВЗ).

Традиционные описания сетевого трафика рассматривают проявление пульсаций в коротких периодах времени, которые, естественно, сглаживаются на длинных периодах, отсюда и отсутствие проявления долговременной зависимости.

Наличие ДВЗ не приводит к сглаживанию пульсаций на больших масштабах времени простым сложением потоков. Наличие пульсаций сказывается на достоверной оценке вероятностно-временных характеристиках инфокоммуникационной сети, например, анализ очередей в предположении о пуассоновском потоке, показывает занижение объема буфера сетевого узла при обслуживании самоподобного трафика [3, 5].

Распределение медленно затухающей случайной величины X имеет вид

$$1 - F(x) = P\left[X - x\right] \approx \frac{1}{x^{\alpha}} \text{ при } x \to \infty,\ \alpha > 0.$$

Параметр $\alpha \in [0,\ 2]$ характеризует хвост распределения (пульсирующую структуру процесса) – чем меньше значение α тем хвост распределения тяжелее.

Пульсирующая структура трафика оценивается статистическими критериями – распределениями временных интервалов между появлениями пакетов данных, в частности отношение продолжительности пика к средней интенсив-

ности поступления пакетов данных [6]. Мерой пульсирующей структуры трафика является индекс Херста H, связанный с параметром α отношением $H=(3-\alpha)/2$ [3].

Модель генерации самоподобного трафика

Для визуализации фрактальных свойств процесса применяется структурное моделирование, которое позволяет выявить две особенности сетевого трафика: проявление пульсаций на разных масштабах времени, то есть самоподобность, и наличие ДВЗ. Обе особенности можно моделировать как пиковый процесс, с использованием продолжительности пиков.

Временной пик представляет собой явление, при котором отдельным источником в течение продолжительного времени генерируется значительный по объему поток пакетов. Продолжительность пика, как правило задается распределением с тяжелыми хвостами [7].

Генераторы самоподорбного сетевого трафика строятся на основе понятия о фрактальных точечных процессах (Fractal Point Process) [3]. Одним из таких является фрактальный возобновляющийся процесс с чередованиями, известный как модель ON-OFF.

Периоды ON и OFF независимы и чередуемы. Обозначим время, в течение которого источник находится в состоянии OFF как T_0 – случайная величина с плотностью распределения вероятностей $w_0(t)$ и время, в течение которого источник находится в состоянии ON как T_1 – случайная величина с плотностью распределения вероятностей $w_1(t)$. Тогда для $w_0(t)$ и $w_1(t)$ справедливо $w_i(t) \sim t-(\alpha+1)$, где $i=0, 1, \ldots$; $\alpha \in [1, 2]$ и $w_i(t)=0$ для $t<0$.

Продолжительности времени T_0 и T_1 каждого состояния конечны.

Модель ON-OFF является самой популярной для моделирования источника голосового трафика. В ней генерация пакетов происходит только во время разговора (состояние ON) по детерминированному закону. Продолжительности состояний ON и OFF, распределены экспоненциально с соответствующими средними значениями интенсивностей.

Также известно, что объемы передаваемых данных в технологии Клиент-Сервер справедливо представляются распределениями с тяжелыми хвостами.

Таким образом, источники сетевого трафика описываются чередующимся фрактальным процессом – сменой состояний ON и OFF, где продолжительность времени нахождения хотя бы в одном из двух состояний представляется распределением с тяжелыми хвостами. Добавим, что в практике генерации сетевого трафика часто можно наблюдать предположения по экспоненциальному распределению продолжительностей OFF-периодов и распределению Парето для ON-периодов [3, 8]. С помощью распределения Парето моделируется процесс посещения клиентами веб-страниц, пульсирующая структура потока данных FTP и т.д.

Специфика моделирования распределения Парето

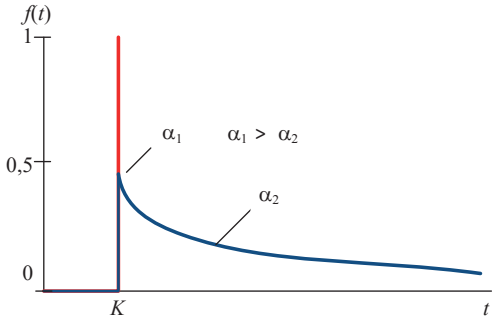
Плотностью распределения Парето имеет вид

$$f(t)=\frac{\alpha K^{\alpha}}{t^{\alpha+1}},\ \alpha>0,\ t\geq K,$$

функция распределения Парето имеет вид

$$F(t)=1-\left(\frac{K}{t}\right)^{\alpha},\ t\geq K. \tag{1}$$

В формуле (1) α является параметром формы распределения, а K является граничным параметром, задающим минимально возможное значение случайной величины t.



Генератор случайной величины t, распределенной по Парето можно получить методом обращения выражения (1), решив уравнение $x = F(t)$ относительно t

$$t=\frac{K}{\sqrt[\alpha]{x}}.$$

Случайная величина, распределенная по Парето, имеет первый и второй моменты, определяемые по формулам соответственно:

$$\mathrm{M}(t)=\frac{\alpha K}{\alpha-1}, \tag{2}$$

$$D(t)=\frac{\alpha K^{2}}{(\alpha-1)^{2}(\alpha-2)}. \tag{3}$$

Хвост распределения Парето имеет вид:

$$1-F(t)=1-\left[1-\left(\frac{K}{t}\right)^{\alpha}\right]=\left(\frac{K}{t}\right)^{\alpha}\infty\ t^{-\alpha}.$$

Хвост распределения Парето убывает согласно степенному закону и не зависит от значений K и α, это в точности соответствует утверждению о том, что распределение Парето является степенным распределением.

Проблемы реализации распределения Парето при имитационном моделировании фрактальных СМО

Обозначим распределение Парето как $Pa(K, \alpha)$.

Корректная реализация распределения Парето сопряжена со специфическими трудностями вычислительного характера, причиной которых является медленное убывание тяжелого степенного хвоста распределения.

Многочисленные выборочные эксперименты с распределением Парето показывают плохую сходимость статистических оценок моментов распределения с тяжелыми хвостами к теоретическим значениям [9].

Так, например, по результатам генерация 100 млн. независимой случайной величины $x \in Pa(K, \alpha)$ со значениями параметров K=1, α=1.1 найдены статистические оценки M^* и σ^*. Согласно (2) $M(x)$=11 и $\sigma_x=\infty$. Но получаемые оценки $M^* \approx 7.5$ и $\sigma^* \approx 380$ сильно отличаются от приведенных точных значений [9]. Причиной больших ошибок здесь является дискретизация представления непрерывной случайной величины x, которая обусловлена шагом ε дискретизации в датчике базовой случайной величины.

Расчет показывает [9], что наибольшее значение шага ε дискретизации случайной величины z в датчике базовой случайной величины, обеспечивающее приемлемую погрешность $\Delta M = 11 - M(x) = 0.001$, есть $\varepsilon \approx 6.21 \cdot 10^{-45} \approx 2^{-147}$. Отсюда видно, что дискретность вещественных чисел, представимых в обычной 32-разрядной машинной арифметике, не позволяет обеспечить приемлемую погрешность реализации случайной величины $x \in Pa(K, \alpha)$ при K=1, α=1.1.

Итак, конечная разрядность представления вещественных чисел в компьютере определяет высокую погрешность реализации моментов случайной величины x, описываемой распределением Парето. По сути дела, при моделировании распределения Парето на компьютере получаем реализации не непрерывного, а дискретизированного распределения Парето.

Вторая проблема моделирования распределения Парето заключается в особенности сходимости эмпирических моментов к теоретическим.

Для того чтобы данные имитационного эксперимента имели приемлемую статистическую погрешность, требуется оценить, как долго придется генерировать выборку, чтобы выборочное среднее $\overline{M}$ устойчиво не отклонялось от соответствующего точного значения более чем на заданную величину.

Используя правило 3σ рассчитаны длина N выборки из распределения Парето с параметрами α=1.1 и K=1, гарантирующая отклонение оценки математического ожидания от $M(x)$, не превосходящее 0.1, и время T ее генерации при скорости генерации 10^6 элементов выборки в секунду (что примерно соответствует быстродействию персональных компьютеров средней мощности), представленные в табл. 1.

Напомним, что все значения ε в табл. 1, кроме приведенного в последней строке, считаются непригодными.

Такая медленная сходимость оценок математического ожидания составляет после некорректной реализации моментов распределения вторую весьма

труднопреодолимую проблему имитационного моделирования фрактальных распределений.

Таблица 1

Длина N выборки, гарантирующая отклонение оценки математического ожидания от M(x), не превосходящее 0.1 и время ее реализации

ε	$M(x)$	σ_x	$N = (3\sigma_y / 0.1)^2$	T
10^{-4}	6.48	58.6	3.09×10^{6}	3 с
10^{-5}	7.34	151.1	2.05×10^{7}	20 с
10^{-6}	8.03	387.9	1.35×10^{8}	2 мин
10^{-7}	8.59	995.1	8.91×10^{8}	15 мин
10^{-8}	9.05	2552.5	5.86×10^{9}	1 ч 40 мин
10^{-12}	10.15	111278.7	1.11×10^{13}	129 дней
10^{-15}	10.55	1885871	3.20×10^{15}	100 лет
6.2×10^{-45}	11.00	1.74×10^{18}	2.74×10^{39}	10^{26} лет

Заключение

Итак, погрешности реализации первого и второго моментов случайной величины с распределением Парето объясняются конечностью разрядной сетки компьютера и, соответственно, дискретным представлением вещественных чисел. Погрешность сходятся к нулю с ростом объема выборки, правда медленно в соответствии с асимптотическим степенным законом. Особенно это становится очевидным при приближении значения параметра α к единице.

Рассмотренные особенности реализации распределения Парето в общем случае не позволяют гарантировать при имитационном моделировании фрактальных систем массового обслуживания получение достоверных статистических оценок ряда традиционных показателей, таких как коэффициент загрузки, средняя длина очереди и вероятность отказа.

Библиографический список

1. Шелухин, О.И. Мультифракталы. Инфокоммуникационные приложения / О.И. Шелухин. М.: Горячая линия – Телеком, 2011. 576 с.

2. Кутузов О.И., Татарникова Т.М. Из практики применения метода Монте-Карло // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2017. Т. 83. № 3. С. 65–70.

3. Шелухин О.И., Осин А.В., Смольский С.М. Самоподобие и фракталы. Телекоммуникационные приложения. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2008. 368 с.

4. Bogatyrev V.A Bogatyrev A.V., Bogatyrev S.V., Polyakov V. I. Redundant service of request copies by a sequence of groups of reserved nodes//CEUR Workshop Proceedings: Workshop International Scientific and Technical Conference

"Fundamental and practical aspects of computer technology", FPACT 2018, 5-7 Nov. 2018, Saint Petersburg, IET – 2019. P. 135-140.

5. Столингс В. Современные компьютерные сети. СПб.: Питер, 2003. 784 с.

6. Таненбаум Э. Компьютерные сети. 4-е изд. СПб.: Питер. 2003. 992 с.

7. Kutuzov O.I., Tatarnikova T.M. Model of a self-similar traffic generator and evaluation of buffer storage for classical and fractal queuing system. In Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies, MWENT. 2018. P. 1-3.

8. Татарникова Т.М. Анализ очередей и производительности узлов инфокоммуникационных сетей при обслуживании самоподобного трафика //Телекоммуникации. 2019. №3. С. 6-11.

9. Задорожный В.Н., Кутузов О.И. Методы моделирования очередей в условиях фрактального трафика в сетях с коммутацией пакетов. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013.104 с.

УДК 004.7

Т. М. Татарникова*
доктор технических наук, доцент
Е. Д. Пойманова*
кандидат технических наук, доцент
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения

УПРАВЛЕНИЕ НАГРУЗКОЙ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЯХ КАК ИНСТРУМЕНТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ УСЛУГ

Обсуждаются методы управления нагрузкой в компьютерных сетях, основанные на приоритезации трафика при обслуживании в узлах и методы резервирования, основанные на дублировании сетевых соединений. Приведены результаты имитационного моделирования, демонстрирующие преимущества одних методов перед другими при определенных параметрах функционирования сетей.
Ключевые слова: управление нагрузкой, потери, время доставки данных, приоритет, резервирование, качество предоставляемых услуг.

T. M. Tatarnikova*
Dr. Sc., Tech., Associate Professor
E. D. Poymanova*
PhD, Tech., Associate Professor
*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

LOAD MANAGEMENT IN COMPUTER NETWORKS AS A TOOL TO ENSURE THE QUALITY OF SERVICE DELIVERY

Methods of load control in computer networks based on prioritizing traffic when servicing in nodes and methods of redundancy based on duplicating network connections are discussed. The results of simulation modeling are presented, demonstrating the advantages of some methods over others for certain parameters of the functioning of networks.
Keywords: load control, losses, data delivery time, priority, redundancy, quality of provided services.

Введение

Управление нагрузкой – это одна из основных задач, решаемых при проектировании компьютерных сетей. Перегрузки возникают из-за отказов каналов связи и узлов коммутации (УК), недостатков в планировании развития сети, непредусмотренного роста объема трафика и другие. Возникающие перегрузки приводят к потерям данных, их несвоевременной доставке, что сказывается на качестве сетевых услуг. Для обеспечения гарантированного качества предоставления услуг в инфокоммуникационных сетях предусмотрены различные механизмы управления нагрузкой [1].

Существует две группы методов управления нагрузкой в инфокоммуникационных сетях: приоритезация трафика и резервирование [2].

Приоритизация включает методы дифференцированного обслуживания трафика в сетевых узлах. Резервирование включает методы, перенаправлении трафика по резервному пути – менее загруженному маршруту.

Методы управления нагрузкой

На рис. 1 приведена наиболее полная на данное время классификация методов управления сетевой нагрузкой.

Приоритезация трафика заключается в определении порядка обслуживания очереди сетевого узла. Поступающим на обслуживание пакетам также назначаются приоритеты. Очереди обслуживаются циклически, начиная с очереди самого высокого приоритета, пока она не будет обнулена с последующим переходом к очередям более низкого приоритета. В этой схеме количество очередей равняется количеству приоритетов обслуживания [1, 2].

Рис. 1. Классификация методов управления нагрузкой

Известны два алгоритма приоритезации: строгий приоритет и взвешенное обслуживание. Реализация механизма строгого приоритета чревата монополизацией узла высокоприоритетной очередью. Эта может быть решена выделением гарантированного временного интервала трафику низкого приоритета. Взвешенное обслуживание заключается в установлении временных границ обслуживания каждой очереди. Также используются комбинации алгоритмов – чувствительный к потерям трафик обслуживается согласно строгому приоритету, а остальной согласно процедуре взвешенного обслуживания.

Суть резервирования заключается в дублировании каналов и узлов, отказ в работе которых может привести к выходу из строя всю сеть. Реализация резервирования требует дополнительных материальных затрат. Однако остановка рабочего процесса из-за неполадок в работе корпоративной сети может привести к большим рискам [3, 4].

Впервые процедура резервирования была предусмотрена в протоколе RSTP (Rapid spanning tree protocol – быстрый протокол разворачивающегося дерева), согласно которой строится дерево маршрутов (соединений), такое что в любой момент времени существует соединение между двумя любыми узлами. Это дерево называется активной сетью, а остальные пути, не попавшие в активную сеть, будут резервными [5].

Метод агрегирования заключается в объединении множества физических каналов в один логический с целью равномерного распределения трафика внутри логического канала. Метод агрегирования реализуется протоколом LACP

(Link Aggregation Control Protocol – протокол агрегации каналов). Технология агрегирования нашла применение в организации видеоконференцсвязи или передачи объемного трафика реального времени [6].

Резервированное кольцо – это метод соединения узлов в «кольцо», в котором один узел является ведущим, остальные – ведомыми. В функции ведущего узла входит регулярная рассылка управляющих пакетов с целью проверки целостности соединений. При получении ведущим узлом информации о неисправности порта некоторого ведомого узла, активируется резервная линию. Метод резервированного кольца отличается экономичностью – восстановление работы сети при отказе одного «кольца» происходит почти без затрат на оборудование. Однако при отказе нескольких узлов сеть становится неработоспособной.

Метод параллельного резервирования заключается в наличии двух параллельных сетей передачи данных с произвольной топологией. Метод реализован в протоколе PRP (Parallel Redundancy Protocol – параллельный протокол резервирования), выполняющий бесшовный переход с основной сети на резервную. Высокая надежность работоспособного состояния обеспечивается низкой вероятностью одновременного отказа обеих сетей. Пакеты от источника к получателю отправляются сразу по двум независимым направлениям. Пакет, дошедший к получателю первым принимается и передается далее, а второй удаляется.

Сеть, в которой управление нагрузкой соответствует методу параллельного резервирования является высоконадежной, но для реализации требуются значительные затраты на создание соответствующей инфраструктуры.

Имитационное моделирование методов управления нагрузкой и полученные результаты

Имитационное моделирование функционирования компьютерной сети с разными методами управления нагрузкой выполнено в среде MatLab.

Суть имитационного эксперимента заключалась в сравнении оценок вероятностно-временных характеристик доставки пакетов в сетях с разными методами управления нагрузкой [7, 8].

Источник сетевого трафика генерирует пакеты в соответствии с экспоненциальной функцией распределения времени между поступлениями пакетов и интенсивностью λ пакетов/с, пакеты маркируются как бесприоритетные для методов резервирования и как приоритетные для методов приоритезации.

На вход модели подаются следующие данные: число узлов и каналов на пути следования пакета от источника к адресату; размер конечного буферного накопителя сетевого узла; пропускная способность узлов и каналов; функция распределения времени обслуживания в узлах и каналах; таблица маршрутизации; число экспериментов на модели.

Выходными данными моделей являются: средняя время доставки пакета $\overline{T}_{д}$ (задержка), дисперсия задержки, гистограмма-функция распределения задержки, количество потерянных пакетов.

Зависимости, приведенные на рис. 2 позволяют сделать вывод о целесообразности внедрения методов приоритезации в работу сети – время доставки

снизилось почти в 5 раз, потери пакетов в 4-6 раз. Подобные результаты получаются и для других входных данных.

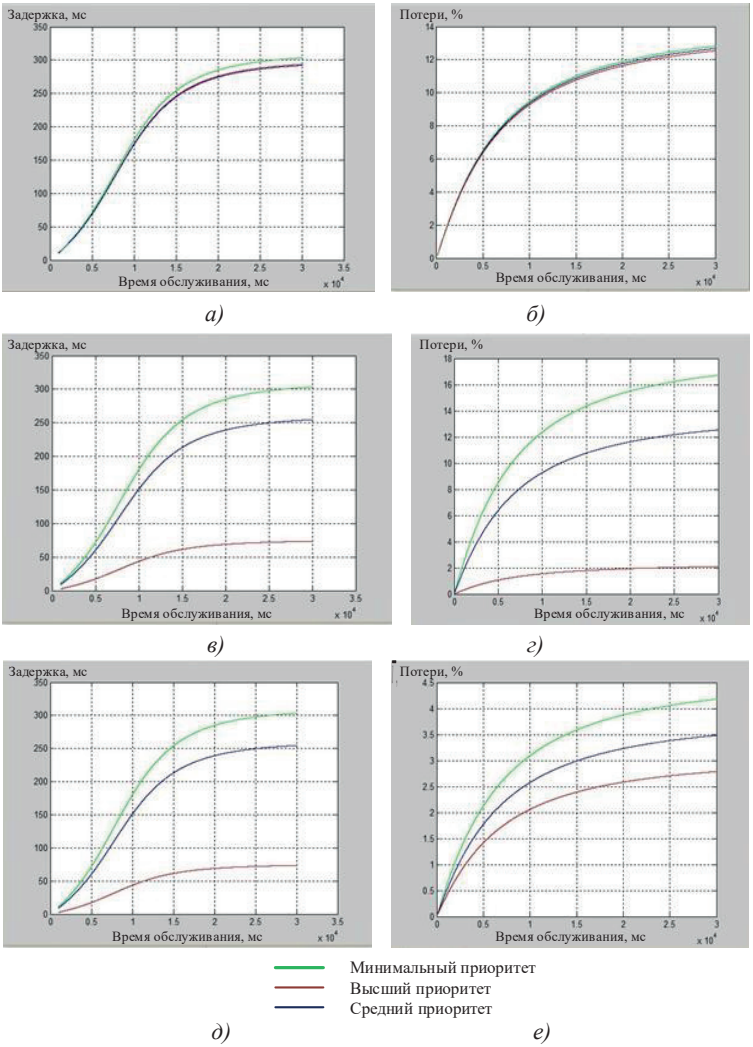


Рис. 2. Характеристики обслуживания трафика: а – значение $\overline{T}_{\text{д}}$ без приоритезации; б – потери пакетов без приоритезации; в – значение $\overline{T}_{\text{д}}$ для метода строгой приоритезации; г – потери пакетов при строгой приоритезации; д – значение $\overline{T}_{\text{д}}$ для метода справедливой очереди; е – потери пакетов при справедливой очереди

На рис. 3 приведены результаты зависимости $\overline{T}_{д}$ от коэффициента загрузки ρ, демонстрирующие преимущество метода агрегирования.

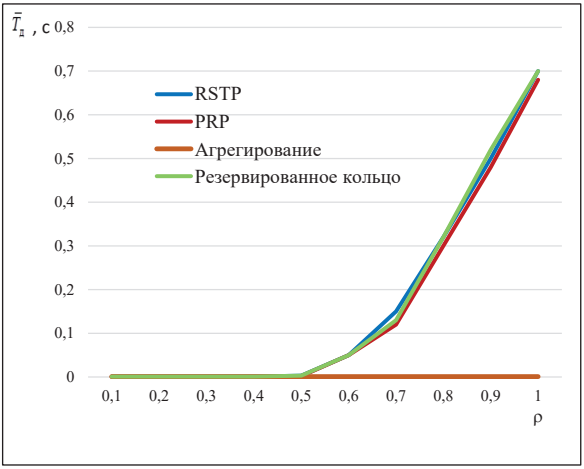


Рис. 3. Зависимость $\overline{T}_{д}$ (ρ), количество узлов – 4

Разработанные имитационные модели позволяют получить и другие вероятностно-временные характеристики: вероятность доставки пакета до гарантированное время, дисперсию задержки, распределение задержки для трафика разного приоритета, количество потерянных пакетов. Получаемые оценки вероятностно-временных характеристик позволяют выбрать метод управления в зависимости от параметров компьютерной сети и нагрузочных характеристик.

Заключение

Выполненное моделирование механизмов управления нагрузкой в компьютерных сетях показывает, что применение механизм приоритезации и резервирования может способствовать эффективной реализации качества предоставления сетевых услуг.

Библиографический список

1. Столингс В. Современные компьютерные сети. СПб.: Питер, 2003. 784 с
2. Таненбаум Э. Компьютерные сети. 4-е изд. СПб.: Питер. 2003. 992 с.
3. Богатырев В.А., Богатырев А.В., Голубев И.Ю., Богатырев С.В. оптимизация распределения запросов между кластерами отказоустойчивой вычислительной системы // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2013. №3(85). С. 77–82.

4. Bogatyrev V.A Bogatyrev A.V., Bogatyrev S.V., Polyakov V. I. Redundant service of request copies by a sequence of groups of reserved nodes//CEUR Workshop Proceedings: Workshop International Scientific and Technical Conference " Fundamental and practical aspects of computer technology&quot, FPACT 2018, 5-7 Nov. 2018, Saint Petersburg, IET – 2019. P. 135–140.

5. Татарникова Т.М. Аналитико-статистическая модель оценки живучести сетей с топологией mesh // Информационно-управляющие системы. 2017. № 1 (86). С. 17–22.

6. Татарникова Т.М., Елизаров М.А. Имитационная модель виртуального канала //Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2016. Т. 16. № 6. С. 1120–1127.

7. Кутузов О.И., Татарникова Т.М. Из практики применения метода Монте-Карло // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2017. Т. 83. № 3. С. 65–70.

8. Кутузов О.И., Татарникова Т.М. К анализу парадигм имитационного моделирования // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17. № 3. С. 552–558.

УДК 621.391

А. Н. Трофимов*
кандидат технических наук, доцент
Ф. А. Таубин*
доктор технических наук, профессор
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения

УЛУЧШЕННАЯ ВЕРХНЯЯ ГРАНИЦА ВЕРОЯТНОСТИ ОШИБКИ ДЕКОДИРОВАНИЯ В КАНАЛЕ С АДДИТИВНЫМ ШУМОМ

Рассматривается применение улучшенной границы вероятности ошибки декодирования, вычисляемой путем численного интегрирования выражения, включающего характеристические функции для логарифмов отношения правдоподобия. Приведены примеры для некоторых каналов, включая модель с аддитивным гауссовским шумом, параметры которого зависят от переданного значения, и модель с аддитивным лапласовым шумом.
Ключевые слова: декодирование по максимуму правдоподобия (МП), граница вероятности ошибки, попарная вероятность ошибки, характеристическая функция, канал с ID-AGN шумом, лапласов шум.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № FSRF-2020-0004, «Научные основы построения архитектур и систем связи бортовых информационно-вычислительных комплексов нового поколения для авиационных, космических систем и беспилотных транспортных средств».

A. N. Trofimov*
PhD, Tech., Associate Professor
F. A. Taubin*
Dr. Sc., Tech., Professor
*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

IMPROVED UPPER BOUND ON ERROR DECODING PROBABILITY FOR A CHANNEL WITH ADDITIVE NOISE

We consider the application of an improved bound on the error decoding probability calculated by numerically integrating an expression including characteristic functions for the logarithms of the likelihood ratio. Examples are given for some channel models, including channel with input dependent additive Gaussian noise and channel with additive Laplacian noise.
Keywords: maximum likelihood (ML) decoding, bound on error probability, pairwise probability, characteristic function, input dependent additive Gaussian noise, Laplacian noise.

Введение

Анализ помехоустойчивости декодирования по максимуму правдоподобия (МП), обеспечивающего минимизацию вероятности ошибки при высокой сложности декодирования, представляет интерес как в плане оценки потенциальной эффективности конкретных схем кодирования, так и в прикладном аспекте – для кодов с короткими и умеренными длинами. Стандартный подход для оценки вероятности ошибки при декодировании по МП состоит в исполь-

зовании аддитивной границы [1, 2]. При этом истинное значение вероятности ошибки декодирования оценивается сверху суммой попарных вероятностей. Попарная вероятность представляет собой вероятность ошибочного события для кода из двух слов, при котором значение правдоподобия для правильного (переданного) кодового слова меньше, чем для неправильного кодового слова. Для канала без памяти эта вероятность представляет собой вероятность того, что сумма некоторых случайных величин превосходит определенный порог.

Для произвольных кодов и каналов без памяти вычисление как попарных вероятностей, так и аддитивной границы в целом, оказывается весьма сложным, поэтому обычно используются получаемые в замкнутой форме те или иные аппроксимации аддитивной границы. Одним из наиболее распространенных вариантов аппроксимации является граница Чернова [1, 2]. Некоторые результаты по уточнению границы Чернова для ряда моделей каналов без памяти можно найти в [3].

В работе [4] предоставлен метод точного вычисления аддитивной границы вероятности ошибочного декодирования для широкого класса кодов и моделей каналов без памяти. Предложенный метод включает получение точного выражения для попарной вероятности, используемой при получении аддитивной границы, благодаря использованию характеристических функций логарифма отношения правдоподобия для произвольной пары кодовых слов. Полученное интегральное выражение для аддитивной границы вероятности ошибочного декодирования оказывается весьма удобным для численных расчетов с использованием довольно простой процедуры численного интегрирования. В данной работе, на основе полученной в [4] точной аддитивной границы, приведены улучшенные верхние границы вероятности ошибки декодирования для ряда важных моделей каналов.

Аддитивная граница

Полученная в [4] аддитивная граница вероятности ошибки декодирования по МП в канале без памяти с переходной функцией плотности вероятности $p_{y|x}(y\,|\,x)$ строится следующим образом. Пусть $z(y\,|\,x,x') = \ln(p_{y|x}(y\,|\,x')/p_{y|x}(y\,|\,x))$ и $Z(\mathbf{y}\,|\,\mathbf{x},\mathbf{x}') = \sum_{l=1}^{n} z(y^{(l)}\,|\,x^{(l)},x'^{(l)})$, где $\mathbf{x} = (x^{(1)},...,x^{(n)})$, $\mathbf{x}' = (x'^{(1)},...,x'^{(n)})$ – пара кодовых слов, $\mathbf{y} = (y^{(1)},...,y^{(n)})$ – вектор выходных значений канала без памяти, n – длина кода. Обозначим характеристическую функцию случайной величины $Z(\mathbf{y}\,|\,\mathbf{x},\mathbf{x}')$ как $C_Z(\omega;\mathbf{x},\mathbf{x}') = \overline{e^{j\omega Z(\mathbf{y}|\mathbf{x},\mathbf{x}')}}$, где черта сверху обозначает усреднение по значениям вектора $\mathbf{y}$. В силу отсутствия памяти в канале $C(\omega;\mathbf{x},\mathbf{x}') = \prod_{l=1}^{n} c_z(\omega;x^{(l)},x'^{(l)})$, где $c_z(\omega;x^{(l)},x'^{(l)})$ обозначает характеристическую функцию случайной величины $z(y\,|\,x,x')$, то есть, $c_z(\omega;x,x') = \overline{e^{j\omega z(y|x,x')}}$, черта сверху обозначает усреднение по значениям случайной величины y. Положим

$$D(\omega)=\sum_{\mathbf{x}}\sum_{\mathbf{x}'}C_Z(\omega;\mathbf{x},\mathbf{x}')=\sum_{\mathbf{x},\mathbf{x}'}C_Z(\omega;\mathbf{x},\mathbf{x}'), \qquad (1)$$

где суммирование выполняется по всем парам слов кода. Тогда аддитивная граница вероятности ошибки декодирования по МП задается выражением

$$p_e \le \frac{1}{\pi M}\int_0^\infty \mathrm{Re}\frac{D(\alpha-j\beta)-M}{\beta+j\alpha}d\alpha, \qquad \beta>0, \qquad (2)$$

где M – объем кода. Параметр β в выражении (2) при практических вычислениях следует выбирать таким образом, чтобы подынтегральное выражение представляло собой функцию удобную для численного интегрирования. В частности, подходящим выбором параметра β можно добиться малого числа осцилляций интегрируемой функции в области интегрирования и за счет этого повысить скорость сходимости и точность численного интегрирования.

Процедура вычисления функции (1) подробно изложена в [4]. Она базируется на использовании решетчатой диаграммы, определяемой рассматриваемым кодом, а ребра этой диаграммы маркируются выражениями вида $c_z(\omega;x,x')$. Таким образом, оценивание вероятности ошибки декодирования для конкретной модели канала подразумевает, прежде всего, вычисление характеристической функции $c_z(\omega;x,x')$, полностью определяемой моделью канала.

Предложенный подход с использованием стандартной техники [2] может быть легко распространен на случай решетчатых и сверточных кодов. В этом случае нетрудно показать, что, например для двоичного сверточного кода со скоростью $R=k/n$ с функцией нумератора весов $T(D,N)$ [2] границы для вероятности ошибочного события P_E и вероятности ошибки на бит P_B принимают вид

$$P_E \le \frac{1}{\pi}\int_0^\infty \mathrm{Re}\frac{T(c_z(\alpha-j\beta;0,1),1)}{\beta+j\alpha}d\alpha, \qquad (3)$$

$$P_B \le \frac{1}{\pi k}\int_0^\infty \mathrm{Re}\left(\frac{1}{\beta+j\alpha}\frac{dT(c_z(\alpha-j\beta;0,1),N)}{dN}\bigg|_{N=1}\right)d\alpha. \qquad (4)$$

Заметим, что обычная граница вероятностей P_E и P_B для сверточных кодов имеет вид $P_E \le T(D_0,1)$, $P_B \le (1/k)dT(D_0,N)/dN_{N=1}$, где $D_0=\min_{\beta>0}\overline{e^{\beta z(y|x,x')}}$ показатель границы Чернова. В некоторых случаях эти границы могут быть улучшены за счет введения коэффициента $K(d)\sim 1/\sqrt{d}$; конкретный вид функции $K(d)$ зависит от модели канала [2, 3]. Границы в этом случае принимают вид $P_E \le K(d_f)T(D_0,1)$, $P_B \le K(d_f)(1/k)dT(D_0,N)/dN_{N=1}$, где d_f – свободное расстояние сверточного кода.

Канал с гауссовским шумом зависимым от переданного сигнала (Input dependent additive Gaussian noise, ID-AGN)

Эта модель используется при анализе систем записи/считывания данных в многоуровневой flash памяти, беспроводных систем связи в видимом оптическом диапазоне, волоконно-оптических систем связи, систем связи с неортогональным множественным доступом [5–9].

Рассмотрим для примера модель канала записи многоуровневой flash памяти. Блок многоуровневой flash памяти обычно рассматривается как множество независимых ячеек. Входные уровни каждой ячейки принимают некоторые фиксированные значения $x_0, x_1, ..., x_{q-1}$, а выходные значения представляют собой случайные величины. Распределения этих случайных величин описываются условными функциями плотности вероятности $p_{y|x}(y \mid x_i)$, $-\infty < y < \infty$, $i = 0,1,...,q-1$, вида [5]

$$p_{y|x}(y \mid x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma(x)} \exp\left(-\frac{(y-x)^2}{2\sigma^2(x)}\right), \tag{5}$$

где стандартное отклонение $\sigma(x)$ зависит от входного значения x. Важной особенностью модели ячейки многоуровневой flash памяти является то, что с ростом числа циклов перезаписи и времени хранения данных, значения x_i (кроме x_0) уменьшаются, а значения $\sigma_i = \sigma(x_i)$ (кроме $\sigma_0 = \sigma(x_0)$) увеличиваются, что соответствует ухудшению качества канала записи/считывания с ростом числа циклов перезаписи и времени хранения данных. Зависимости параметров x_i и σ_i, $i = 0,1,...,q-1$, от числа циклов перезаписи и времени хранения данных выражаются сложным образом и могут быть найдены в [5, 6]. Для канала с функцией плотности вероятности (5) можно показать, что при $\sigma(x) \neq \sigma(x')$ характеристическая функция $c_z(\omega; x, x')$ имеет следующий вид:

$$c_z(\omega; x, x') = \frac{\sigma(x)^{j\omega}\sigma(x')^{1-j\omega}}{\sqrt{j\omega\sigma^2(x) + (1-j\omega)\sigma^2(x')}} \exp\left(-\frac{j\omega(1-j\omega)(x-x')^2}{2(j\omega\sigma^2(x) + (1-j\omega)\sigma^2(x'))}\right) \tag{6}$$

при условиях $\mathrm{Im}\,\omega < \sigma^2(x')/(\sigma^2(x) - \sigma^2(x'))$, если $\sigma(x) > \sigma(x')$ и $-\mathrm{Im}\,\omega < \sigma^2(x')/(\sigma^2(x') - \sigma^2(x))$, если $\sigma(x) < \sigma(x')$.

Модель с ID-AGN, используемая для описания взаимосвязи входного сигнала x и выходного сигнала y в беспроводной системе связи в видимом оптическом диапазоне и волоконно-оптической системе связи, имеет следующий вид [7]:

$$y = gx + \sqrt{k_0 + k_1 x}\,\xi_I + \xi, \tag{7}$$

где g – коэффициент передачи канала, $k_0, k_1 > 0$ – коэффициенты, учитывающие вклад ID-AWGN, ξ_I и ξ – независимые гауссовы случайные величины с нуле-

вым средним и дисперсиями σ_I^2 и σ^2, соответственно. Первая составляющая аддитивного шума – $\sqrt{k_0 + k_1 x}\xi_I$ возникает вследствие случайности механизма эмиссии фотонов светодиодом. Вторая составляющая аддитивного шума ξ представляет собой обычный тепловой шум. Передаваемый сигнал x в (7) представляет собой случайную величину, которая в простейшем варианте модуляции – амплитудной (АМ) характеризует интенсивность излучаемого оптического сигнала. Очевидно, при использовании АМ x является неотрицательной случайной величиной, ограниченной сверху максимальной интенсивностью светодиода. Значения характеристической функции $c_z(\omega; x, x')$ для этой модели вычисляются по формуле (6), в которой зависимость $\sigma(x)$ имеет вид $\sigma(x) = \sqrt{(k_0 + k_1 x)\sigma_I^2 + \sigma^2}$.

Канал с аддитивным шумом с распределением Лапласа

Эта модель является частным случаем модели канала с аддитивным шумом, имеющим обобщённое гауссовское распределение. Аддитивный шум, имеющий распределение Лапласа, широко используется как а) модель интерференционного шума в системах связи миллиметрового диапазона, б) модель интерференционного шума в дуплексных радиосетях при наличии замираний, в) модель шума в оптических линиях [8, 9]. В этой модели предполагается, что $x \in \{x_0, x_1\}$, $x_0, x_1 \in \mathbb{R}$, и условные функции плотности вероятности задаются равенствами $p_{y|x}(y \mid x_0) = \exp(-|y - x_0|/b)/(2b)$ и $p_{y|x}(y \mid x_1) = \exp(-|y - x_1|/b)/(2b)$, где $b = \sigma/\sqrt{2}$, σ – среднеквадратическое отклонение. Подстановка этих выражений для функции плотности вероятности приводит после ряда преобразований к следующему выражению для характеристической функции $c_z(\omega; x_0, x_1) = \left((1 - j\omega)e^{-j\omega|x_0 - x_1|/b} - j\omega e^{-(1-j\omega)|x_0 - x_1|/b}\right)/(1 - 2j\omega)$. Более удобным для практических вычислений оказывается функция $c_z(\omega; x_0, x_1)\big|_{\omega = \alpha - j/2}$, которая может быть приведена к виду

$$c_z(\alpha - j/2; x_0, x_1) = e^{-\frac{|x_0 - x_1|}{2b}} \left(\frac{\sin(\alpha|x_0 - x_1|/b)}{2\alpha} + \cos(\alpha(x_0 - x_1)/b) \right).$$

Заключение

В предложенном подходе к вычислению границы вероятности ошибки *точно* вычисляется значение каждого слагаемого в аддитивных границах вида (2)–(4). Поэтому его применение дает существенное улучшение границы вероятности ошибки для конкретных кодов по сравнению с обычной аддитивной границей в комбинации с границей Чернова. Это подтверждается результатами вычислений для рассмотренных моделей канала с ID-AGN и канала с шумом, заданным распределением Лапласа. Предложенный подход может быть приме-

нен и к известным моделям каналов без памяти, например, для канала с АБГШ и двоичного симметричного канала. В этих случаях предложенный подход также дает заметные улучшения по сравнению с аддитивной границей в комбинации с границей Чернова. Что касается уточненных вариантов границы Чернова для этих моделей, то предложенный подход тоже улучшает известные границы для этих моделей, хотя и очень незначительно. Заметим, что важнейшая положительная черта предложенного подхода состоит в его универсальности, что позволяет применить его к любому канала без памяти и обеспечить при этом высокую точность оценивания при малых вычислительных затратах.

Библиографический список

1. Proakis J.G., Salehi M. Digital Communications (Fifth Edition), McGraw-Hill, 2008, 1151 p.

2. Viterbi A.J., Omura J. K. Principles of Digital Communications and Coding, McGraw-Hill, 1979. 560 pp.

3. Trofimov A.N. Modified Chernoff Bound and Some Applications. In Modulation and Coding Techniques in Wireless Communications; Krouk E. and Semenov S., Ed.; Wiley. 2011. P. 206–220.

4. Trofimov A.N., Taubin F.A. Evaluation of the Union Bound Using Characteristic Functions for Coded Transmission over Memoryless Channels. 2021 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF), St. Petersburg, Russia, 2021.

5. Wang X., Dong G., Pan L. and Zhou R. Error correction codes and signal processing in flash memory. *Flash Memories*. Igor Stievano (Ed.). Available at: http://www.intechopen.com/books/flash-memories/error-correction-codes-and-signal-processing-in-flash-memory (accessed: 26.10.2014).

6. Dong G., Pan Y., Xie N., Varanasi C., and Zhang T. Estimating information- theoretical NAND flash memory storage capacity and its implication to memory system design space exploration. IEEE Trans. Very Large Scale Integration (VLSI) Systems. 2012. Vol. 20. No.9. P. 1705–1714.

7. Moser S.M., Capacity results of an optical intensity channel with input-dependent gaussian noise // IEEE Transactions on Information Theory. 2012. Vol. 58. No. 1. P. 207-223.

8. Dytso A., Bustin R., Poor H.V. and Shitz S.S. On additive channels with generalized Gaussian noise // Proceedings of the IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT), Aachen, Germany, 2017. P. 426-430.

9. Bariah L., Muhaidat S., Sofotasios P. C., Gurugopinath S., Hamouda W. and Yanikomeroglu H. Non-Orthogonal Multiple Access in the Presence of Additive Generalized Gaussian Noise // IEEE Communications Letters. Oct. 2020. Vol. 24. No. 10. P. 2137-2141.

УДК 629.735.33

С. Г. Фомичева*
кандидат технических наук, профессор
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения

ГЛУБОКИЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ КАК ОБЪЕКТ ЗАЩИТЫ

В статье приведены угрозы безопасности, специфичные для нейронных сетей, формулируется задача защиты нейронных сетей. Акцент сделан на защите сетей глубокого обучения на этапе их распределенного хранения. Приводятся рекомендации по обеспечению безопасности сверточных нейронных сетей на этапе хранения их жизненного цикла.
Ключевые слова: глубокие нейронные сети, архитектура сверточной сети, атаки на нейронную сеть, обеспечение безопасного хранения.

S. G. Fomicheva*
PhD, Tech., Professor
*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

DEEP NEURAL NETWORKS AS A DEFENSE OBJECT

The paper presents security threats specific to neural networks, and the task of protecting neural networks is formulated. The emphasis is on the defensing of deep learning networks at the stage of their distributed storage. Recommendations for ensuring the security of convolutional neural networks at the storage stage of their life cycle are given.
Keywords: deep neural networks, convolutional network architecture, neural network attacks, secure storage.

Введение

Настоящее время характерно повсеместным применением IT-инструментария с поддержкой искусственного интеллекта, в которых используются нейронные сети. Современные корпоративные информационные системы, системы поддержки принятий решений, экспертные системы, киберфизические системы включают в свой состав целую совокупность аналитических механизмов на базе нейронных сетей с различной архитектурой. Нейронные сети в силу специфики своего жизненного цикла могут непрерывно модифицировать свои параметры и гиперпараметры, что, в свою очередь, влияет на их способность адекватно решать поставленные перед ними задачи.

Поскольку количество такого интеллектуального инструментария многократно возрастает, то становится актуальной проблема обеспечения безопасности самих нейронных сетей. Являясь критической частью IT-инфраструктуры организаций они, с одной стороны, подлежат как объект защиты обеспечению безопасности штатными средствами защиты, имеющимися у организации, и тщательной проработке правил корпоративной и технических политик безопасности, но с другой стороны, имея отличительные признаки своего функционирования (такими как гибкость архитектуры, адаптируемость параметров, автономность) ставят задачи по разработке новых способов обеспечения их без-

опасности на всех этапах жизненного цикла. В данной статье акцент сделан на защите сетей глубокого обучения, хотя базовые принципы остаются действенными и для иных типов нейронных сетей (НС). Приводятся рекомендации по обеспечению их безопасности на этапе их распределенного хранения.

Жизненный цикл НС с точки зрения их защиты

Жизненный цикл нейронных сетей как объектов защиты представлен на рис. 1. Архитектор НС в процессе разработки сети выполняет этапы предобработки наборов данных для обучения, выбирает адекватную решаемым задачам архитектуру нейронной сети, оптимизирует ее гиперпараметры, проводит процесс обучения и оптимизирует параметры сети (веса нейронных связей), тестирует и верифицирует нейросетевую модель, получая в результате объект защиты.

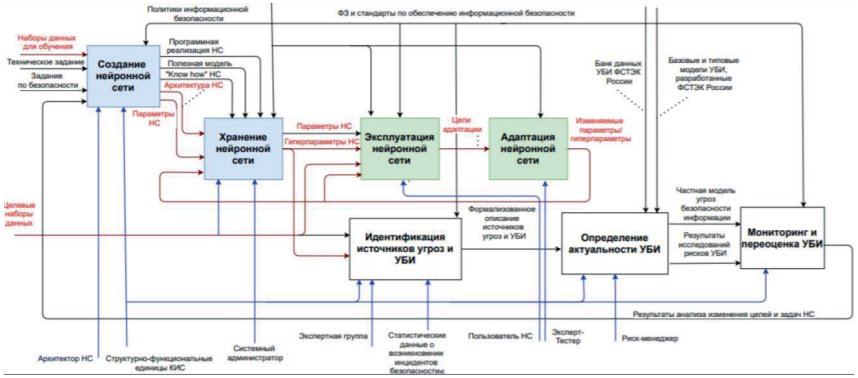


Рис. 1. Жизненный цикл нейронных сетей как объектов защиты

Созданная в результате деятельности архитектора нейронная сеть может быть одновременно объектом авторского права, что накладывает ограничения на способы проприетарного хранения, эксплуатации и модификации нейронной сети. Авторское право на программную реализацию НС (в зависимости от лицензионного соглашения) может потребовать запрет на модификацию ее гиперпараметров и параметров, что должно быть отражено в технических политиках безопасности. Далее будем исходить из того, что проприетарное использование нейронных сетей позволяет реализацию распределенного хранения ее составляющих.

Аспекты защиты НС на этапе хранения

Прежде всего следует сформулировать ответ на вопрос, почему вообще возникает необходимость защищенного хранения нейронных сетей как сложных структурных объектов. Причин тому несколько, среди них:

1) стремительное увеличение числа предобученных нейросетевых моделей, которые требуют систематизации для их последующего применения в смежных задачах и/или с иным набором дата-сетов без компрометации оригиналов НС;

2) использование публичных облачных сервисов для машинного обучения [1, 2];

3) необходимость осуществления быстрого поиска предобученных нейронных сетей с требуемыми характеристиками их функциональности [2];

4) необходимость формирования обучающих дата-сетов для задач «выявления знаний» (knowledge mining), где архитектура нейросетевой модели является элементом дата-сета [2];

5) переход к парадигме ZeroTrust [3], при которой нивелируется понятие демилитаризованных зон, появляется необходимость перманентного контроля безопасности информационных объектов и их компонентов, что не всегда возможно выполнить существующими штатными механизмами защиты:

6) существенное изменение портрета современного злоумышленника, способного функционировать в высокотехнологичных организованных преступных группировках, в том числе на государственном уровне.

Наиболее репрезентативными с точки зрения полноты архитектурных составляющих являются глубокие нейронные сети, в число которых включены сверточные (CNN) и рекуррентные (RNN) нейронные сети. CNN состоят из совокупности некоторого числа сверточных (convolutional) и предвыборочных (subsampling) слоев, результаты преобразования которых передаются в итоге на полносвязный (fully connected) слой, завершающий решение задач классификации. Нас в контексте данной статьи интересует, каким образом хранятся подобные структуры. Здесь следует отметить, что архитектурные разновидности CNN могут быть достаточно сложными, содержать до десятков тысяч слоев в различной конфигурации. Например, сети ResNet, появившиеся на основании работ Кайминга Хе и пр. в 2015 и 2016, позволяют обучать сотни или даже тысячи слоев с хорошей производительностью [4].

Каждый фреймворк (framework) для создания нейронных сетей имеет оригинальные (нативные) форматы их представления и хранения. И если требуется систематизировать хранение большого количества НС со сложной архитектурой, необходимо учитывать эти особенности представления. Например, фреймворк Keras, созданный на основе TensorFlow 2.0, архитектуру НС может сохранять в текстовом, JSON и в YAML-форматах [5].

Полная модель НС в Keras (как и в иных фреймворках) состоит из нескольких компонентов, каждая из которых подлежит хранению:

1) архитектура или конфигурация, которая определяет, какие слои модель содержит и как они связаны;

2) набор значений весов («состояние модели»);

3) оптимизатор (определяется путем компиляции модели);

4) набор используемых функций потерь и метрик (определяется путем компиляции модели или вызова `add_loss()` или `add_metric()`).

Данный состав компонент может быть обогащен дополнительной информацией, такой как характеристики качества функционирования модели (точ-

ность распознавания, время классификации и т.п.), параметры требуемых ресурсов для штатного режима работы и другие. Архитектурные особенности CNN и распределенные принципы ее хранения предопределяют потенциальные угрозы и атаки на сеть. Специфические для сверточных нейронных сетей атаки представлены в табл.1. Важно отметить, что модель, сохраненная в текстовом виде (а также в JSON и YAML), не содержит весов. Для сохранения используются специальные функции `(save_weights)`, в результате выполнения которых веса сохраняются в отдельных файлах. Keras API позволяет сохранить всю модель сразу или только выборочно некоторые компоненты:

- сохранение всей модели в один архив в формате TensorFlow SavedModel (или в более старом формате Keras H5);
- сохранение только архитектуры / конфигурации, обычно в виде файла JSON;
- сохранение только значений нейронных весов. Веса можно сохранить на диск, вызвав `model.save_weights` в форматах «Контрольная точка TensorFlow» и «HDF5». Существует также возможность получения весов в виде массивов `numpy` в памяти.

Очевидно, что реляционные базы данных с задачей хранения таких сложных объектов хорошо не справятся. Для глубоких нейронных сетей в силу их объектного программного исполнения, предпочтительным хранилищем (объектов) являются документо-ориентированные и столбчатые базы данных. Следует отметить, что для хранения весов НС оптимальной является графовая модель, но поскольку к числу лучших практик относят хранение нейросетевой модели в качестве единого артефакта, то выбор делается в сторону документо-ориентированных решений. Как отражено в табл. 1, основными компонентами НС, являющиеся целями для специфических и критических атак, являются архитектура НС, ее тензоры со значениями весовых коэффициентов, а также тензоры дата-сетов, являющиеся «сырьем» для корректного обучения нейросетевой модели.

Таблица 1

Специфичные для сверточных нейронных сетей кибератаки

Кибер-атака	Целевой компонент атаки	Целевой объект атаки	Способ реализации атаки	Последствия	Подходы к предотвращению атаки при хранении CNN
NNet-маскарадинг	Архитектура CNN	Выходы финального полносвязного слоя CNN	Backdoors - Инъекция двуранговогo тензора перестановки (подстановки)	Ложная замена (полная или частичная) объекта классификации. Компрометация CNN	Формирование цифровых подписей документов с архитектурой CNN
Эксплуатация «закла-	Архитектура CNN	Потенциально, любой слой	Внедрение триггеров (в виде дополнительных	Ложная замена (полная или частичная) объекта	Формирование цифровых подписей до-

Кибер-атака	Целевой компонент атаки	Целевой объект атаки	Способ реализации атаки	Последствия	Подходы к предотвращению атаки при хранении CNN
док» (Backdoors)		CNN	архитектурных элементов-тензоров), срабатывающих при приеме токсичных дата-сетов	классификации. Замедление и/иди остановка функционирования CNN. Компрометация CNN	кументов с архитектурой CNN
Токсичные дата-сеты	Наборы данных для обучения	Маркировочные признаки наборов данных для обучения	Коррекция значений меток во входных тензорах	Ложная классификация объектов или невозможность классифицировать объект. Компрометация CNN	Внедрение цифровых водяных знаков в легитимные дата-сеты
Искажение весов нейронов	Документ с весами нейронов	Веса нейронов	Коррекция значений весов нейронов (округление)	Ухудшение точности распознавания (вплоть до полной неспособности адекватного распознавания). Компрометация CNN	Хэширование весовых тензоров
Ликвидация компонента CNN	Целостность CNN	Архитектура CNN	Удаление документов с архитектурой	Потеря CNN,	Обеспечение контролируемого доступа к хранилищам CNN
		Значения весов модели	Удаление документов с значениями весов модели	Затраты на переобучение модели	
		Образцовые дата-сеты	Удаление документов с коллекциями дата-сетов	Затраты на формирование образцовых дата-сетов	

Атаки типа «NNet-маскарадинг», «Токсичные дата-сеты» [6], «Искажение весов нейронов» могут проявляться далеко не сразу, особенно, если злоумышленник является инсайдером с возможностью приоритетного доступа к хранилищам нейросетей и способностью модификации коллекций и документов с компонентами нейросетей.

Очевидным способом обеспечения конфиденциальности от инсайдерских атак является криптографическое шифрование документов перед их хранением. Но зачастую обеспечение целостности CNN имеет больший приоритет над ее конфиденциальностью. Поэтому в таблице 1 приведены альтернативные подходы выявления и/предотвращения атак на НС при их хранении. Также следует отметить важность защищенного хранения сетей штатными средствами.

Практически все современные NoSQL СУБД имеют штатные механизмы обеспечения безопасности. Среди них: поддержка процессов аутентификация,

авторизации, At-Rest и In-Transit шифрование, аудит, а также управление, позволяющее реализовать проверку документов и конфиденциальных данных. Дополнительно к штатным механизмам обеспечения безопасности для CNN должен быть реализован функционал по формированию цифровых подписей документов с архитектурой CNN, внедрению цифровых водяных знаков в легитимные дата-сеты и хэширование весовых тензоров CNN.

Заключение

Глубокие нейронные сети, являясь критической частью IT-инфраструктуры организаций, с одной стороны, подлежат как объект защиты обеспечению безопасности штатными средствами, имеющимися у организации, и тщательной проработке правил корпоративной и технических политик безопасности, с другой стороны, имея отличительные признаки своего функционирования (такими как гибкость архитектуры, адаптируемость параметров, автономность функционирования) требуют решения задач по разработке дополнитльных мер и новых способов обеспечения их безопасности на всех этапах жизненного цикла. Выделив специфичные для сверточных нейронных сетей кибератаки, в данной работе предложено на этапах распределенного хранения реализовать функционал по формированию цифровых подписей документов с архитектурой CNN, внедрению цифровых водяных знаков в легитимные дата-сеты и хэширование весовых тензоров CNN.

Библиографический список

1. Liuwan Zhu, Rui Ning, Cong Wang, Chunsheng Xin, and Hongyi Wu. Gangsweep: Sweep out neural backdoors by gan. In Proceedings of the 28th ACM International Conference on Multimedia, pages 3173–3181, 2020.

2. Fomicheva S. Soft quantization of the production’s knowledgebases for multi-agent systems. В сборнике: Conference of Open Innovation Association, FRUCT. Proceedings of the 20th Conference of Open Innovations Association, FRUCT 2017. 2017. С. 69–76. DOI: 10.23919/FRUCT.2017.8071294

3. Bagdasaryan E., Veit A., Hua Y., Estrin D., and Shmatikov V. How to backdoor federated learning. In International Conference on Artificial Intelligence and Statistics, pages 2938–2948. PMLR, 2020.

4. Kenichi Nakanishi. Exploring Convolutional Neural Network Architectures with fast.ai https://towardsdatascience.com/exploring-convolutional-neural-network-architectures-with-fast-ai-de4757eeeebf?gi=76535fa4202c (дата обращения: 03.03.2021).

5. Библиотеки для глубокого обучения: Keras. https://habr.com/ru/company/ods/blog/325432/ (дата обращения: 03.03.2021).

6. Hojjat Aghakhani, Dongyu Meng, Yu-Xiang Wang, Christopher Kruegel, and Giovanni Vigna. Bullseye polytope: A scalable clean-label poisoning attack with improved transferability. arXiv preprint arXiv:2005.00191, 2020.

УДК 621.396

А. А. Чемоданов*
студент
Т. С. Климов*
студент
О. А. Нестеренков*
студент
И. А. Пастушок*
кандидат технических наук, доцент
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения

ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПЕРЕДАЧИ WEB-ТРАФИКА В БЕСПРОВОДНЫХ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СЕТЯХ

Мы рассматриваем задачу оценки кросс-уровневой производительности беспроводных централизованных сетей связи, например, 5G и LTE. В работе мы последовательно вводим модель просмотра web-страниц пользователями, находим модель взаимосвязи численных характеристик беспроводной сети и качеством восприятия работы сети связи при просмотре страниц пользователями. На основе полученных результатов производится постановка оптимизационной задачи, решение которой определяет нижнюю границу среднего времени ожидания загрузки дополнительных объектов страницы при заданных вероятностях просмотра страницы и среднего времени ожидания загрузки главного объекта страницы по множеству алгоритмов планирования на канальном уровне.
Ключевые слова: беспроводные сети, управление радио ресурсами, web-трафик, оптимизация, нижняя граница.

Работа выполнена при поддержке гранта МК-1326.2021.1.6 Исследование алгоритмов доступа к ресурсам радиоканала для систем индустриального интернета вещей.

A. A. Chemodanov*
Student
T. S. Klimov*
Student
O. A. Nesterenkov*
Student
I. A. Pastushok*
PhD, Tech., Associate Professor
*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

PERFORMANCE EVALUATION OF WEB TRAFFIC TRANSMISSION IN CENTRALIZED WIRELESS NETWORKS

In this article, we consider the problem of assessing the cross-layer performance of wireless centralized communication networks (e.g., 5G and LTE). We consistently introduce a user web browsing model and find the relationship between the numerical characteristics of a wireless network and the network's perceived quality when users browse the pages. An optimization problem was formulated based on the results obtained. Solution of optimization problem determines the lower bound of the average waiting

time for loading additional page objects for given page view probabilities and the average waiting time for the main page object loading using various scheduling algorithms at the data link layer.
Keywords: wireless networks, radio resource management, web traffic, optimization, lower bound.

Введение

Сейчас развиваются технологии беспроводной связи, а именно, 5G New Radio, сети шестого поколения, что приводит к необходимости оценки их производительности для специализированных сценариев. Настоящая работа является частью экосистемы исследований начатых ранее исследований по передаче неадаптивного [1] и адаптивного видео-трафиков [2], трафика чувствительного к задержке [3].

Вопросы передачи web-трафика в беспроводных сетях исследуются многими научными группами. В работе авторов предложены методы сжатия потоков web-трафика для беспроводных сетей, позволяющие уменьшить объем передаваемого трафика на 19% [4]. Оценки использования ресурсов беспроводного канала при просмотре web-страниц были ранее найдены в работе [5]. Поведение пользователей при просмотре web-страниц отражено в работах [6] и [7].

Важным направлением текущих исследований является предложение практических схем планирования ресурсов [8]. Именно ответу на этот вызов посвящена настоящая работа.

Настоящая работа построена следующим образом: вводится модель трафика и поведения пользователя просмотре web-страниц, находится модель взаимосвязи параметров системы передачи данных и качества восприятия и производится ее анализ. Далее осуществляется постановка оптимизационной задачи и приводятся численные результаты.

Модель web-трафика

Поведение пользователя при просмотре страниц представлено на рис. 1.

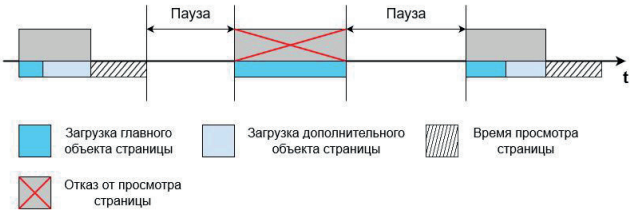


Рис. 1. Поведение пользователя при просмотре страниц

Пользователь последовательно загружает страницы с сервера и просматривает их. Сами страницы загружаются в несколько этапов: сначала загружается главный объект страницы, к которым можно отнести форму страницы, после чего последовательно загружаются дополнительные объекты страницы (изображения и т. д.). При достаточно долгой загрузке страницы пользователь может прервать соединение, отказаться от просмотра и перейти к следующей странице.

На основании вышесказанного введем следующие количественные показатели функционирования конкретного пользователя i:

- z_i – средняя длительность загрузки главного объекта страницы для пользователя i;
- b_i – средняя длительность загрузки дополнительного объекта страницы для пользователя i;
- ψ_i – вероятность просмотра страницы пользователем i.

Модель взаимосвязи параметров системы передачи данных и качества восприятия

Дополнительно введем следующие обозначения:

- $V_{i,j}^m$ – размер главного объекта страницы j, загружаемого пользователем i;
- $V_{i,j}^e$ – размер дополнительного объекта страницы j, загружаемого пользователем i;
- $z_{i,j}$ – длительность загрузки главного объекта страницы j, загружаемого пользователем i;
- Z^* – пороговое значение времени загрузки, при котором пользователь отказывается от просмотра страницы (подробнее будет рассмотрено ниже);
- $C_i(t)$ – максимальная достижимая скорость передачи данных в момент времени t, если пользователю i выделены все ресурсы канала;
- $a_i(t)$ – доля ресурсов радиоканала, выделенная пользователю i в момент времени t, такая что:

$$\forall t: \sum_{i=1}^{N} a_i(t) \le 1 \tag{1}$$

Определение 1. Взаимосвязью параметров системы передачи данных и качества восприятия называется выражение, имеющее следующий вид:

$$\sum_{i=1}^{N} \frac{K_i^m + \psi_i K_i^e}{z_i + \psi_i (b_i + w_i) + p_i} \le 1 \tag{2}$$

Анализ модели взаимосвязи параметров системы передачи данных и качества восприятия

Оценим полученную модель на свойство принадлежности к выпуклым функциям для дальнейшей постановки оптимизационной задачи. Исследуемую модель можно преобразовать как функцию от двух аргументов z_i и b_i:

$$\frac{K_i^m + \psi_i K_i^e}{z_i + \psi_i (b_i + w_i) + p_i} \to f(x,y) = \frac{a}{x + by + c} \tag{3}$$

Для проверки того, что функция (3) является выпуклой, воспользуемся следующем утверждением:

Утверждение 1. Функция от нескольких аргументов, дифференцируемая дважды, является выпуклой тогда и только тогда, когда гессиан данной функций положительно полуопределен.

Используя настоящий подход возможно строго доказать, что функция (3) является выпуклой. Как следствие, могут быть использованы методы численной оптимизации для решения последующей оптимизационной задачи.

Постановка оптимизационной задачи

Введем общие интегральные показатели для всех пользователей системы:

$Z = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} z_i$ – средняя длительность загрузки главного объекта страницы для пользователей N;

$B = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} b_i$ – средняя длительность загрузки дополнительного страницы объекта для пользователей N;

Ψ – заданная оператором связи вероятность просмотра страницы для всех пользователей;

Тогда, с точки зрения производителя базовых станций, можно сформировать следующую задачу: оценить, существуют ли такие алгоритмы распределения ресурсов радиосигнала, которые могут обеспечить следующие критерии качества восприятия: $Z \le Z^*$, $B \to \min$, $\Psi = \Psi^*$, где Z^*, Ψ^* – максимально возможные значения показателей для производителя базовой станции.

Основываясь на свойстве принадлежности модели взаимосвязи параметров системы передачи данных и качества восприятия к выпуклым функциям, исходную задачу можно сформулировать как оптимизационную задачу следующего вида:

$$\left\{\begin{array}{c} \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} b_i \to \min \\ Subject\ to: \\ \sum_{i=1}^{N}\left(\frac{K_i^m + \psi_i K_i^e}{z_i + \psi_i\left(b_i + w_i\right) + p_i}\right) \le 1 \\ -b_i \le 0, i = \overline{1,N} \\ \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} z_i \le Z^* \\ -z_i \le 0, i = \overline{1,N} \end{array}\right\} \quad (4)$$

Оптимизационная задача (4) является задачей выпуклого программирования и может быть решена численными методами в результате моделирования.

Сценарии моделирования

Моделируем систему, в которой трафик, исходящий от станции сотовой связи, распределяется между подключёнными пользователями N, находящимися на разных расстояниях от станции. Максимально достижимая скорость передачи данных находится в диапазоне от 0.5 до 75 Мбит/с. Размер главного объекта страницы одинаков для всех страниц и равен 0.5 Мбит. Размер дополнительного объекта страницы так же одинаков для всех страниц и равен 2 Мбит.

Сценарий 1. Значение средней длительности загрузки главного объекта страницы Z^* выбирается равным 1 секунде и происходит наблюдение за зависимостью ожидаемого времени загрузки дополнительного объекта страницы от числа пользователей при разных значениях вероятности просмотра Ψ^* страницы пользователем i (рис. 2).

Сценарий 2. Значение вероятности просмотра Ψ^* страницы пользователем i выбирается равным 1 и происходит наблюдение за зависимостью ожидаемого времени загрузки дополнительного объекта страницы от числа пользователей при разных значениях средней длительности загрузки главного объекта страницы Z^* (рис. 3).

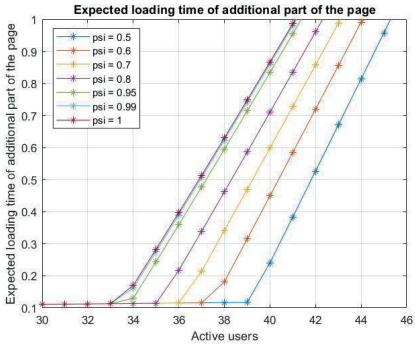


Рис. 2. Ожидаемое время загрузки доп. объекта страницы для $Z^* = 1$ секунда

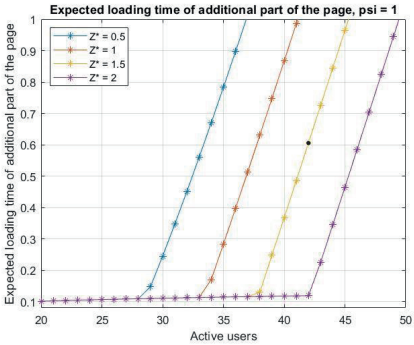


Рис. 3. Ожидаемое время загрузки доп. объекта страницы для $\Psi^* = 1$

Заключение

В этой работе мы рассмотрели задачу оценки кросс-уровневой производительности беспроводных централизованных сетей связи. Мы нашли нижнюю границу среднего времени ожидания загрузки дополнительных объектов страницы при заданных вероятностях просмотра страницы и среднего времени ожидания загрузки главного объекта страницы по множеству алгоритмам пла-

нирования на канальном уровне. Численные результаты показали, что средняя длительность ожидания загрузки линейно растет от числа пользователей в соте, а также линейно зависит от заданных значений средней длительности загрузки главного объекта страницы и вероятности просмотра страницы.

Библиографический список

1 E. Bakin, G. Evseev and A. Turlikov, "Lower bound of mean user waiting/watching time ratio in wireless video streaming networks," 2014 IEEE Global Communications Conference, Austin, TX, USA, 2014. P. 1170-1175, doi: 10.1109/GLOCOM.2014.7036967.

2 I. Pastushok and E. Bakin, "On Interrelation of Video Streaming Characteristics in Centralized Wireless Networks," in IEEE Wireless Communications Letters. Vol. 7. No. 2. P. 226-229, April 2018, doi: 10.1109/LWC.2017.2767597.

3 Pastushok, I. A. (2018). Efficiency evaluation of scheduling algorithms for delay-sensitive traffic in OFDM downlink. Information and Control Systems, (5), 88-93. https://doi.org/10.31799/1684-8853-2018-5-88-93

4 Themis Melissaris, Kelly Shaw, Margaret Martonosi, "Optimizing IoT and Web Traffic Using Selective Edge Compression,", 2020. 10 p.

5 Feng Qian, Subhabrata Sen, and Oliver Spatscheck, "Characterizing Resource Usage for Mobile Web Browsing," in MobiSys '14. P. 218-231, June 2014, https://doi.org/10.1145/2594368.2594372

6 Jie Yang, Yuanyuan Qiao, Xinyu Zhang, Haiyang He, Fang Liu and Gang Cheng, "Characterizing User Behavior in Mobile Internet," in IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing. Vol. 3. P. 95-106, March 2015, doi: 10.1109/TETC.2014.2381512

7 Zhang Youzhi, Pei Tingrui, Wang Yalan and Guo Dezhi, "On Modeling of WWW Wireless Traffic in UMTS," in Chinese Control Conference. P. 553-556, July 2007, doi: 10.1109/CHICC.2006.4346853

8 Constandinos X. Mavromoustakis, Helen D. Karatza, "Performance Evaluation of Opportunistic Resource-Sharing Scheme Using Socially Oriented Outsourcing in Wireless Devices" in The Computer Journal. Vol. 56. P. 184-197, February 2013, https://doi.org/10.1093/comjnl/bxs090

МОДЕЛИРОВАНИЕ И СИТУАЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ В ЭЛЕКТРОНИКЕ И ПРИБОРОСТРОЕНИИ

УДК 519.711

А. В. Винниченко*
ассистент
С. А. Назаревич*
кандидат технических наук, доцент
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения

МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ КЛЮЧЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ

Представлены проблемы управления ключевыми показателями эффективности производственными процессами организации. Рассмотрены различные ситуации терминологической коллизии и другие вопросы интерпретации показателей отражающих эффективность управления производственными системами. Предложена модель автоматизированной информационно-управляющей системы и ее декомпозиция составных частей для управления целями и задачами структурных подразделений.
Ключевые слова: ключевые показателей эффективности, модель, автоматизированная информационно-управляющая система, качество, бережливое производство.

A. V. Vinnichenko*
Assistant
S. A. Nazarevich*
PhD, Tech., Associate Professor
*Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

MODEL OF AN AUTOMATED INFORMATION AND CONTROL SYSTEM BASED ON KEY PERFORMANCE INDICATORS OF PRODUCTION PROCESS MANAGEMENT

The problems of managing the key performance indicators of the organization's production processes are presented. Various situations of terminological conflict and other issues of interpretation of indicators reflecting the effectiveness of management of production systems are considered. A model of an automated information and control system and its decomposition of components for managing the goals and objectives of structural divisions is proposed.
Keywords: key performance indicators, model, automated information and control system, quality, lean manufacturing.

Актуальность

Определённые модели производственных систем характеризуются применением различных принципов организации производства, которые сводится к одному: весь технологический цикл разрабатываемой или существующей системы основывается на принципах заложенных японским учёном К. Исикавой – сочетание таких элементов как персонал, материалы, оборудование и технология. Общим, объединяющим всех подобных элементов, являются производственные

функции [1–3]. В основе принципов организации производства лежат не только постулаты, описанные отечественными учёными [4–8] такие как последовательность процессов, прослеживаемость процессов, приемлемая точность и энергоэффективность технологических операций и необходимый уровень унификации, а также в принципы организации производства закладывается определённый процент финансовых издержек на исследования новых принципов функциональности продукции. Другими словами, организация, изготавливающая наукоемкую продукцию в процессе планирования и разработки собственного продукта, производила определённые издержки, направленные на научно-технические изыскания, позволяющие если не преобразовать существующий функционал продукции, то добавить новые необходимые рынку характеристики, которые составят конкурентную особенность разрабатываемого продукта.

Структурное представление производственной системы таково что все технологические операции обеспечены необходимыми ресурсами: оборудованием и оснасткой, конструкторской и технологической документацией, а также необходимым персоналом.

Проблемная область

Правильный вопрос, каким образом измерять ключевые показатели эффективности и как они отображают реальную ситуацию. Обсуждаю эту проблему необходимо чётко представлять себе, что такое ключевые показатели фиктивности, что такое производственные показатели. В этом заключается достаточного большая проблема, так как разного рода факторы включают в себя показатели успеха. Подобные факторы присущи не только известным элементам по теории Исикавы: персоналу, оборудованию или материалам. Нельзя также упускать из вида внешние воздействующие факторы, оказывающие влияние на особенности процесса, момент и важность атрибутов выхода исследуемого процесса. С целью тотального контроллинга основных видов деятельности, факторов успешного протекания основных процессов и наблюдения за внешними воздействующими факторами необходимо создать модель информационно-управляющей системы. Которая должна быть сформирована с базовой целью: автоматизации процесса учёта, контроля и мониторинга не только ключевых показателей эффективности, но и показателей характеризующих ход протекания процесса то есть производственных показателей, показателей результативности процесса, и показателей эффективности процесса.

Терминологическое различие ключевых показателей эффективности от показателей общей эффективности процесса, заключается в отношении достигнутого результата и затраченных для этого ресурсах в первом случае и в устранении факторов не успеха во втором случае. Ключевые показатели эффективности это набор значительных индикаторов способных охарактеризовать факторы успешной деятельности. Следовательно, необходимо разработать процедуру для определения и идентификации ключевых показателей эффективности, и понять, какие структурные подразделения необходимы в данном процессе. Необходимость создания автоматизированной информаци-

онной системы продиктована особенностью и менталитетом решений, связанных с контролем и учётом ключевых показателей эффективности. Сильным конкурентным решением будет, является действие по созданию, введению и эксплуатации автоматизированной информационной системы учитывающий в реальном времени оперативную деятельность структурного подразделения.

Структурное содержание модели автоматизированной информационно-управляющей системы

Взаимосвязь управления организацией на основе автоматизированной информационно-управляющей системы происходит следующим образом: в соответствии с основными организационными атрибутами, характеризующими развитие организации, происходит корректировка численных значений стратегических показателей. Под влиянием внешних факторов среды, описанных с помощью PEST-анализа и SWOT-анализа, производственная система управляется с помощью двух видов показателей: ключевых показателей эффективности и показателей OKR. Для различных уровней управления организацией сформированы группы ключевых показателей эффективности, которые необходимо измерять в течение хода процесса. Именно эти показатели формируют устойчивое понимание успеха основных видов деятельности, несущих ценность. Внешние факторы среды активно воздействует как на сам технологический процесс, так и на те структурные подразделения, которые отвечают за связь с внешними потребителями и всеми заинтересованными сторонами в организации. В соответствии с активными воздействиями, которые создает внешняя среда необходимо использовать менеджмент рисков для минимизации возможных негативных событий, где стоит прописать сценарии решения и использовать FMEA–анализ для понимания критических процессов. Структура автоматизированной информационной системы состоит из некоторых программных ячеек, характеризующих деятельность каждого из структурных подразделений в производственной цепочки. Программная среда содержит доступный интерфейс для обращения оператора к текстовым и численным значениям характеризующим цель структурного подразделения и регламентированную, плановую результативность исследуемого процесса реализуемого структурным подразделением. В общем виде в соответствии с целью и задачами структурных подразделений формируется критический фактор успеха и заносится в электронную карту процесса, динамика состояния, которого измеряется ежечасно. Таким образом, в службе качества появляется возможность оперативного контроля деятельности всех участников производственной системы и максимальной визуализации текущего хода процесса.

Декомпозиция автоматизированной информационно-управляющей системы состоит из четырёх модулей в соответствии с теорией Исикавы, модули обеспечены весовыми коэффициентами, отражающими степень значимости компонента модели полученными на основе ранговых оценок экспертов сторонних организаций (рис. 1, 2).

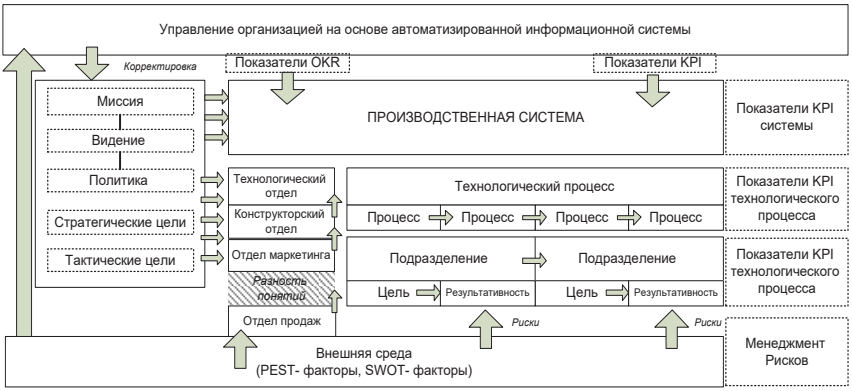


Рис. 1. Модель информационно-управляющей системы

Рис. 2. Декомпозиция информационно-управляющей модели

Стандартом для подобных случаев связанных с интерпретацией численных значений исследуемого потенциала с целевыми значениями является дифференциальный способ, включающий квалиметрическую шкалу отношений, представленный следующим выражением:

$$Q_{\text{иум}} = \sum_{n=1}^{4} q_i \frac{F_{\text{факт}}}{F_{\text{цель}}}., \qquad (1)$$

где $Q_{\text{иум}}$ – обобщенный показатель информационно-управляющей модели; $F_{\text{цель}}$ – планируемые целевые количественные значения параметров процесса; $F_{\text{факт}}$ – фактически достигнутые количественные значения в процессе [17].

Важным аспектом является определённая применимость тех показателей качества, которые были выбраны для отражения оперативной деятельности исследуемого подразделения (табл. 1). Задачи выбора показателей качества или

оперативных индикаторов требуют знания и опыта, а также навыков управления исследуемым процессом.

Таблица 1

Отражения оперативной деятельности исследуемого подразделения

Процесс	Показатель	Ед.изм.	Результат / Критерий
Управление несоответствующей продукцией	Максимально допустимое время на решение критических несоответствий	12 часов	Устранение негативного эффекта за 12 часов / Не устранение негативного эффекта за 12 часов
Показатели KPI			
Показатели KPI«опережающие» показатели: — % несоответствий, не взятых в работу в течение 2 часов; — % непринятых решений по несоответствиям старше 1 дня; — % несоответствий, перенаправленных на другого специалиста более 3 раз; — среднее количество несоответствий на одного специалиста.			

Необходимыми атрибутами информационно- управляющей системы являются в первую очередь индикаторы и показатели всех модулей системы, отслеживающие достижимость целей и выполняемость задач в режиме реального времени. Однако, существует и другое мнение, что система показателей имеет архаичный вид и все мониторинговые процессы отслеживающего характера учитывают только потенциал прошедших периодов [10–18], за которые были достигнуты соответствующие результаты, это показатели результативности.

Однако на подобные показатели очень сложно воздействовать, так как время той деятельности, результаты которой они отражают именно на текущий момент уже прошло, следовательно, показатели результативности являются показателями проведенной многодневный работы. Конечно, такие показатели тоже нужны для адекватной оценки производительности процессов, вопрос только в их количестве. В различных источниках описывающих методологию системы сбалансированных показателей представлены следующие концепции: Нортон и Каплан считают, что двадцати ключевых показателей эффективности достаточно для отслеживания процессов; Дэвид Парментер в своей книге представляет соотношение 10/80/10, ключевые показатели результативности/производственные показатели/ключевые показатели эффективности, и современное производственное мнение экспертов тоже варьируется в подобном диапазоне – 15/70/15.

Каждый из модулей содержит иерархические показатели в виде количественных значений, отражающих текущую оперативную деятельность подразделения или процесса. Однако особенностью данной модели является не только оперативная визуализация текущих индикаторов и показателей деятельности подразделений или процессов [7], а также момент перехода ответственности по про-

цессной цепочке, соблюдая регламентированный формат для успешной передачи объекта преобразования в рамках всей производственной системы. Следовательно, локальной новизной обладает следующее организационно-техническое решение – создание оперативных реперных визуализаций на рабочих местах, участках в цехах, включающих как горизонтальные структуры, так и вертикальные департаменты. Под горизонтальными структурами понимается основная линейная деятельность производственной системы, создающей ценность в виде производственного продукта или услуги. С точки зрения понятий TQM (*Total Quality Management*) [8, 19] упрощенный формат взаимодействия между структурами, регламентирующий передачу ответственности за объект преобразования по цепочке процессов, является непрерывной линейной горизонтальной структурой, со сломанными межпроцессными барьерами. Данный формат позволяет оптимизировать технологические процессы создания продукта и свести к минимуму издержки, связанные с избыточным документооборотом.

Заключение

Представление декомпозиции информационно-управляющей модели для процессов жизненного цикла продукции позволит принять обоснованное решение о формировании комплексной информационной платформы для визуализации оперативных данных, получаемых от структурных подразделений. Следующим этапом должен быть рассмотрен этап внедрения системы запаздывающих и опережающих показателей как результат процессной реструктуризации на базе информационно-управляющей модели интеграция, которой и позволит произвести технологический рывок к системе синхронизированного производства, создавая предпосылки для совершенствования менеджмента функциональных уровней.

Библиографический список

1. Рузанов А.И. Производственные функции и их использование для описания закономерностей производства // Вестник ННГУ. 2011. №5-1.

2. Горбунов В. К., Львов А. Г. Эффективные производственные фонды и производственные функции малого предпринимательства регионов // Экономика региона. 2018. №2.

3. Суворов Николай Владимирович, Ахунов Рустем Ринатович, Губарев Роман Владимирович, Дзюба Евгений Иванович, Файзуллин Фаниль Саитович Применение производственной функции Кобба – Дугласа для анализа промышленного комплекса региона // Экономика региона. 2020. № 1.

4. Оценка технологического состояния производства радиоэлектронной продукции и основные направления его повышения в современных условиях Батьковский М.А., Кравчук П.В., Стяжкин А.Н. Вектор экономики. 2019. № 2 (32). С. 57.

5. Батьковский М. А., Батьковский А. М. Моделирование номенклатуры инновационной продукции, создаваемой предприятиями ОПК // Новая наука: Современное состояние и пути развития. 2016. № 8. С. 180–183.

6. Оценка уровня требований к ключевым компетенциям предприятий в условиях цифровой экономики / А. М. Батьковский, П. А. Калачихин, Ю. Ф. Тельнов, А. В. Фомина // Радиопромышленность. 2019. Т. 29. № 3. С. 91-99.

7. Деминг У. Э. Выход из кризиса: новая парадигма управления людьми, системами и процессами. М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. 417 с.

8. Управление качеством и энергоэффективность сложных киберфизических систем / Коршунов Г., Поляков С., Петрушевская А., Варжапетян А. // Сб.: Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах: Сб. ст. Междунар. науч. конф. под редакцией Е.Д. Соложенцева, В.В. Карасев. 2020. С. 153–160.

9. Kaplan R.S., Norton D.P. The Balanced Scorecard − Measures That Drive Performance // Harvard Business Review. 1992. P. 72.

10. Kaplan R.S., Norton D.P. Linking the Balanced Scorecard to Strategy // California Management Review. 1996.

11. Requirements, Use Cases and KPIs Authors: Adomas Bunevicius, Todor Tagarev, Petya Tagareva, Vassiliki Andronikou, Stathis Karanastasis, Costas Pantos, Iordanis Mourouzis, Giorgio Iervasi, Sara Hugelier, Matthias Zschunke, George Tsatsaronis, 2003.

12. Давыденко Е.А. Эволюция концепции сбалансированной системы показателей: от истоков к цифровому предприятию // Российское предпринимательство. 2018. Том 19. № 2. С. 457–472.

13. Улучшение качества функционирования организацией при управлении по результатам Антохина Ю.А., Варжапетян А.Г., Сольницев Р.И. Экономика и управление. 2016. № 11 (133). С. 49–55.

14. Улучшение ценности инновационных проектов Антохина Ю.А., Варжапетян А.Г., Семенова Е.Г. Инновации. 2017. № 11 (229). С. 34–41.

15. Батьковский А.М. Оценка уровня требований к ключевым компетенциям предприятий в условиях цифровой экономики / А.М. Батьковский, П.А. Калачихин, Ю. Ф. Тельнов, А. В. Фомина // Радиопромышленность. 2019. Т. 29, № 3. С. 91–99.

16. Назаревич С.А. Оценка качества дрейфующих моделей базовых структур инновационных технологий / С.А. Назаревич, В.М.Балашов, А.Ю.Гулевитский, А.В.Чабаненко // Вопросы радиоэлектроники. 2018. № 10. С. 109-114.

17. ГОСТ 2.116-84 «ЕСКД. Карта технического уровня и качества продукции». Стандартинформ. М.: 2007. 17с.

18. Батьковский А.М. Параметры функционирования высокотехнологичного предприятия. Теоретические и прикладные аспекты современной науки. 2015. № 7–8. С. 23–25.

19. Абрамова И.Г. Анализ показателя общей эффективности технологического оборудования «OEE» на основе показателей оценки рабочего времени, используемых в российской практике. В сборнике: Инновационные технологии в машиностроении: сб. тр. X Междунар. науч.-практ. конф. 2019. С. 279–284.

УДК 621.396

М. А. Добросельский*
кандидат технических наук, доцент
А. Ю. Гулевитский*
кандидат технических наук, доцент
В. И. Курносов**
доктор технических наук, профессор
М. Ю. Белова*
студент
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения
**АО «Научно-исследовательский институт „Рубин“»

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАЗЦОВ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Рассмотрен подход к описанию полного качества проектируемых образцов электронной техники, формализуемых посредством несколько компонент показателей в векторной и матричной формах, что является весьма важным теоретическим принципом для построения рабочих структур показателей при измерении как полного, так и этапных компонент качества образцов электронной техники.
Ключевые слова: полное качество, жизненный цикл, промышленно-функциональная среда, инженерно-кибернетическая методология, проектно-конструкторские решения, операционная система.

M. A. Dobroselsky*
PhD, Tech., Associate Professor
A. Yu. Gulevitsky*
PhD, Tech., Associate Professor
V. I. Kurnosov**
Dr. Sc., Tech., Professor
M. Y. Belova*
Student
*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
**JSC «Rubin Research Institute»

ON THE ISSUE OF DETERMINING THE QUALITY OF ELECTRONIC EQUIPMENT SAMPLES

An approach to the description of the total quality of the designed samples of electronic equipment, formalized by means of several components of indicators in vector and matrix forms, is considered, which is a very important theoretical principle for constructing the best structures of indicators when measuring both the total and stage components of the quality of samples of electronic equipment.
Keywords: total quality, life cycle, industrial-functional environment, engineering and cybernetic methodology, design, and operating system.

Введение

Определение качества и показателей, характеризующих его уровни у проектируемых образцов электронной техники (ЭТ), называемое общей проектной квалиметрией [1], – важнейшая составляющая процесса создания сложных аппаратно-программных комплексов, устанавливающая профиль ценностей, лежащих в основе принятия всех проектно-конструкторских решений (ПКР) и придающая ему целенаправленный характер.

Уровни показателей качества образцов ЭТ подразделяются, как и уровни показателей их свойств, на требуемые, желаемые и располагаемые. При этом последние в свою очередь могут быть разделены на прогнозируемые, устанавливаемые в период проектирования, и фактические, устанавливаемые в период производства, эксплуатации и применения. Все перечисленные уровни показателей качества, в каждый текущий момент времени, различаются между собой. Отличия между требуемым и прогнозируемым уровнями становятся движущей силой цикловой технической эволюции, а между желаемым и фактическим – фазовой и видовой техническими эволюциями, при которых отличия ликвидируются путем усовершенствования проектируемых и создаваемых новых образцов ЭТ.

Выбор всех ПКР в ходе проектирования ведется исходя из обеспечения максимального уровня показателей прогнозируемого полного качества (ПК), которое в соответствии с эволюционными подходами инженерно-кибернетической методологии (ИКМ) трактуется как общая мера технической приспособленности их структур к взаимодействию тем или иным способом, при той или иной связи с промышленно-функциональной средой (ПФС), характерной для протекания всех этапов их жизненного цикла (ЖЦ), и определенной эволюционной схеме (ЭС) развития видов ЭТ, к которой принадлежат проектируемые образцы (прим. авт. – управляемыми звеньями в общем случае проектирования при использовании инженерно-кибернетической методологии также являются структуры промышленно-функциональной среды и операционной системы (ОС), параметры которых определяют уровень показателей качества образцов ЭТ [2]).

По своей принципиальной сущности данная трактовка ПК образцов ЭТ не противоречит определению этой категории по ГОСТ 15467–79 [3], в соответствии с которыми "качество – это совокупность свойств продукции, обусловливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением", но является более конкретной и полной, ибо она учитывает также и свойства образцов ЭТ, обусловливающих их пригодность для разработки, изготовления и эксплуатации.

Исходя из приведенной выше трактовки уровни количественных показателей ПК Q_c^o, которыми располагают проектируемые образцы ЭТ, определяются совокупностью показателей всех базовых свойств (БС) и, характеризующих их, обобщенных базовых квалиметрических параметров:

$$Q_c^o(t) = F_{q_o}^{/}\left[\left\{W_{Бi}(t); i = 1,2,3,...,N\right\}\right] = F_{q_1}^{/}\left[\left\{P_{Бi}^k(t); i = 1,2,3,...,N\right\}\right], \quad (1)$$

и устанавливают на основе общего функционала технической приспособленности, зависящего (как и частные функционалы) от параметров структуры образцов ЭТ, их ПФС и ОС, в общем случае, изменяющихся во времени. Это значит, что данный функционал имеет вид

$$Q_c^o(t) = F_{q2}^{/}\left[\left\{P_{Ci}(t); i = 1,2,3,...,l_{Бi}\right\};\right.$$
$$\left.\left\{P_{ПФСj}(t); j = 1,2,3,...,m_{Бi}\right\};\ \left\{P_{OCk}(t); k = 1,2,3,...,k_{Бi}\right\}\right]. \quad (2)$$

При анализе (2) можно сделать некоторые принципиальные выводы. В частности, из этого выражения следует, что располагаемые уровни показателей ПК проектируемых образцов ЭТ (как и их свойств), могут, во-первых, количественно измеряться только при условии рассмотрения взаимодействия этих образцов с соответствующей конкретной и характерной для них ПФС по определенной ОС; во-вторых, изменяться путем управления параметрами структуры образцов ЭТ, ПФС и ОС; в-третьих, достигать определенного предельного значения для данной структуры образцов ЭТ, их ПФС и ОС, которое в специальной литературе именуют полным квалиметрическим потенциалом $Q_c^{пот}$ [4].

Для количественной характеристики уровня показателей располагаемого ПК образцов ТСЭ в ходе проектирования, при применении ИКМ, используются группы показателей, классифицируемые [5]:

по признаку этапности группирования БС;

структурной размерности квалиметрируемого объекта;

числу показателей, применяемых для представления ПК;

степени охвата БС и т. д.

Если различать, в соответствии со структурой ЖЦ образцов ЭТ, промышленную и функциональную компоненты их ПК, которые, в свою очередь, делятся на разработочную, производственную, эксплуатационную и целевую компоненты соответственно, то общий показатель располагаемого ПК образцов ЭТ будет представлять собой функционал от указанных компонент, отражающий "эстафетный" принцип его формирования, а именно:

$$Q_c^o(t) = F_{q3}^{/}\left[Q_c^n(t), Q_c^ф(t)\right] = F_{q4}^{/}\left[Q_c^p(t), Q_c^{пр}(t), Q_c^э(t), Q_c^ц(t)\right]. \quad (3)$$

Так как, исходя из представления (2) показатели уровня, каждой из компонент, количественно определяются совокупностью показателей соответствующих БС образцов ЭТ, то и выражение функционала (3) следует представлять в зависимости от соответствующих показателей БС. В частности, это значит, что промышленную и функциональную компоненты ПК можно определять как функционалы от показателей {БС$_i$} соответствующей группы, т. е.

$$Q_c^n(t) = F_{q1}^{/}\left[\left\{W_{Бi}(t); i = 1,2,3,...,N^n\right\}\right];$$
$$Q_c^ф(t) = F_{q1}^{/}\left[\left\{W_{Бi}(t); i = 1,2,3,...,N^ф\right\}\right]. \quad (4)$$

Аналогичным образцом следует определять разработочную, производственную эксплуатационную и целевую компоненты ПК, являющихся функционалами от показателей соответствующей подгруппы БС.

Каждая из компонент ПК характеризует проектируемые образцы ЭТ, как объекты промышленного создания и функционального использования, и отражает этапные фазовые меры их технической приспособленности к взаимодействию тем или иным способом по той или иной ОС с этапными компонентами ПФС. Так, в частности, уровень $Q_c^n(t)$ определяет меру приспособленности образцов ЭТ к промышленным "возможностям", а уровень $Q_c^ф(t)$ – к функциональным "потребностям". В соответствии с этим данные компоненты могут рассматриваться как показатели качества создаваемых образцов ЭТ с частных, ведомственных точек зрения: промышленности (разработчиков и изготовителей) и заказчика (эксплуатационников и операторов, использующих технику по назначению). Последние, как показывает опыт работ, при выработке и согласовании требований к качеству новой техники стремятся задать наиболее высокий уровень ПК.

Основой для определения уровня количественных показателей компонент ПК, которым располагают образцы ЭТ, в выражении (3) служат этапные функционалы технической приспособленности типа (2). Эти функционалы можно представить на основе соответствующих групп обобщенных базовых и частных квалиметрических параметров, например

$$Q_c^n(t) = F_{q1}^{/}\left[\left\{P_{Бi}^{k}(t)\right\}\right] = \\ = F_{q3}^{/}\left[l_{Б11}(t), l_{Б12}(t),\ ...,\ l_{Б21}(t), l_{Б22}(t),\ ...,l_{Бi1}(t), l_{Бi2}(t),...,N^n\right]. \quad (5)$$

Этапные компоненты ПК взаимосвязаны, так как все они определяются структурой образцов ЭТ, выбираемой исходя из условий выполнения этими образцами целевых задач. Отсюда следует, что целевая компонента ПК определяет уровень всех его остальных компонент, т. е.

$$Q_c^p(t) = F_{q4}^{/}\left[Q_c^ц(t)\right]; Q_c^{пр}(t) = F_{q4}^{/}\left[Q_c^ц(t)\right]; Q_c^э(t) = F_{q4}^{/}\left[Q_c^ц(t)\right]. \quad (6)$$

Если принять во внимание, что общесистемные, для сложных ЭТ в целом, показатели этапных компонент ПК формируются из соответствующих этапных подсистемных показателей качества, проявляющихся на каждом из этапов ЖЦ, то выражение (17) для $Q_c^o(t)$ в развернутой форме целесообразно представлять в виде функционала от многомерной ($4xm_y$) матрицы-функции, члены которой – этапные показатели качества подсистем, типа

$$Q_c^o(t) = F_{q5}^{/}\left[M_{qo}(t)\right],$$

где

$$M_{qo}(t)=\begin{bmatrix} Q^{p}_{ПС1}(t) & Q^{пр}_{ПС1}(t) & Q^{э}_{ПС1}(t) & Q^{ц}_{ПС1}(t) \\ Q^{p}_{ПС2}(t) & Q^{пр}_{ПС2}(t) & Q^{э}_{ПС2}(t) & Q^{ц}_{ПС2}(t) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Q^{p}_{ПСmy}(t) & Q^{пр}_{ПСmy}(t) & Q^{э}_{ПСmy}(t) & Q^{ц}_{ПСmy}(t) \end{bmatrix}. \qquad (7)$$

Эта матрица может рассматриваться как математическая модель показателей располагаемого ПК (т. е. системы ценностей) проектируемых образцов сложных ЭТ, отражающая этапную подсистемную форму его образования и структурную размерность этих образцов.

Следует отметить, что в общей методологии проектирования находит применение и другой способ определения показателей ПК образцов ЭТ, формализуемых через функционал от нескольких частных показателей качества смешанного типа, получаемых произвольным охватом показателей базовых (или частных) свойств, с соответствующими коэффициентами весомости, устанавливаемыми, например, методом экспертных оценок [4, 6].

Таким образом, описанное представление ПК проектируемых образцов ЭТ, формализуемых посредством несколько компонент или множества показателей можно именовать соответственно векторной и матричной формами. Однако наиболее удобной формой выражения, с точки зрения принятия проектных решений, является представление показателей качества в форме единых (скалярных) измерителей. С позиций ИКМ такие измерители могут быть получены путем использования метода системного технического суммирования квалиметрических параметров с приведением их к общему знаменателю, где самым универсальным являются промышленная и функциональная среды образцов ЭТ. Такой подход исключает необходимость субъективного установления весомости отдельных БС и этапных компонент ПК. Это весьма важный теоретический принцип для построения рабочих структур показателей при измерении как полного, так и этапных компонент качества образцов ЭТ.

Библиографический список

1. Автономов В.Н. Создание современной техники: Основы теории и практики. М.: Машиностроение, 1991. 304 с.

2. Курносов В. И., Лихачёв А. М. Методология проектных исследований и управление качеством сложных технических систем электросвязи. СПб.: «Тема», 1997. 511 с.

3. ГОСТ 15467-79. Межгосударственный стандарт. Управление качеством продукции. Основные понятия, термины и определения (Product-quality control. basic concepts. terms and definitions).

4. Управление качеством продукции: справочник. М.: Изд-во стандартов, 1985. 464 с.

5. Никифоров А. Д., Бойцов В. В. Инженерные методы обеспечения качества в машиностроении. М.: Изд-во Стандартов,1987. 384 с.

6. Богданов Г. М. Проектирование изделий: Организация и методика постановки задачи. М.: Изд-во стандартов, 1995. 144 с.

УДК 621.396

М. А. Добросельский*
кандидат технических наук, доцент
А. Ю. Гулевитский*
кандидат технических наук, доцент
В. И. Курносов**
доктор технических наук, профессор
К. И. Лукин**
кандидат технических наук
М. Ю. Белова*
студент
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения
**АО «Научно-исследовательский институт „Рубин“»

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ УРОВНЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА СЛОЖНЫХ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Изложенные принципы формирования критериев качества создаваемых инфокоммуникационных систем, которые могут быть положены в основу практической деятельности проектных организаций и промышленных предприятий, на которых внедряется комплексная система управления качеством продукции.
Ключевые слова: полное качество, инфокоммуникационная система, промышленно-функциональная среда, операционная система, единичный технический канал, инженерно-кибернетическая методология.

M. A. Dobroselsky*
PhD, Tech., Associate Professor
A.Y. Gulevitsky*
PhD, Tech., Associate Professor
V. I. Kurnosov**
Dr. Sc., Tech., Professor
K. I. Lukin**
PhD, Tech.
M. Y. Belova*
Student
*Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
**JSC «Rubin Research Institute»

ABOUT ONE APPROACH TO DETERMINING THE LEVEL OF QUALITY INDICATORS OF COMPLEX INFORMATION AND COMMUNICATION SYSTEMS

The principles of forming the quality criteria of the created infocommunication systems, which can be used as the basis for the practical activities of design organizations and industrial enterprises that implement a comprehensive product quality management system, are described.

Keywords: total quality, information and communication system, industrial-functional environment, the operating system, individual channel technical, engineering and cybernetic methodology.

Введение

Как следует из [1], для определения уровня показателей полного качества (ПК) образцов сложных инфокоммуникационных систем (ИКС) (типа «технический комплекс» (ТК), «полная техническая система» (ПТС), «большая техническая система» (БТС), «отраслевая техническая система» (ОТС)) возможно использование показателей ПК единичного технического канала (ЕТК), для установления которых применимы математические модели, представленные в [2].

Однако при проектировании ИКС, с присущей им конкретной структурой построения, уровень показателей ПК не может быть определен однозначно в связи с невозможностью однозначного установления фактических параметров промышленно-функциональной среды (ПФС) и операционной системы (ОС), которые будут реализованы при создании и функционировании этих образцов в действительности (прим. авт. – управляемыми звеньями в общем случае проектирования при использовании инженерно-кибернетической методологии (ИКМ) являются структуры ПФС и ОС, параметры которых определяют уровень показателей качества ИКС [1]).

Следовательно, необходим расчет вероятных значений показателей ПК, который учитывал бы вероятность реализации *а*-й промышленной $\mathscr{P}_a^n$ и в-й функциональной $\mathscr{P}_в^ф$ ситуации, характеризуемых, из множества возможных, конкретным совокупным сочетаниям параметров ПФС и ОС. Исходя из этого вероятные значения указанных показателей, например, для ЕТК, формирующих показатели качества сложных ИКС, могут быть представлены в следующей однозначной форме:

$$\begin{aligned}
\left[Q_{ETK}^{n}(t)\right]^{Вер} &= \sum_{a=1}^{n_n} Q_{ETK}^{n}\left[P_{ПФС}^{n}(t), P_{OC}^{n}\right]_{\alpha} P_a^n; \\
\left[Q_{ETK}^{ф}(t)\right]^{Вер} &= \sum_{в=1}^{n_ф} Q_{ETK}^{ф}\left[P_{ПФС}^{ф}(t), P_{OC}^{ф}\right]_{\alpha} P_в^ф; \\
\left[Q_{ETK}^{o}(t)\right]^{Вер} &= \left[Q_{ETK}^{n}\right]^{Вер}\left[Q_{ETK}^{ф}\right]^{Вер}.
\end{aligned} \tag{1}$$

Необходимо отметить, что разработочное, производственное, эксплуатационное и целевое качество, создаваемого вида ИКС, следует отличать от созвучных понятий качество разработки, производства, эксплуатации и целевого применения, используемых некоторыми авторами в специальной литературе [3, 4], которые характеризуют прежде всего качество протекания соответствующих процессов, определяемых их конечными результатами. В последнем случае более уместно использовать понятие «эффективность». В этом аспекте фаза разработки может характеризоваться степенью реализации проектного замысла,

фиксируемого в форме соответствующей совокупности требований к новым ИКС, в задании на их разработку. Производство в том же понятии будет определяться полнотой и адекватностью воспроизведения новой ИКС, как реальной технической системы (совокупности изделий, зафиксированных в документации разработчиков на их изготовление). В свою очередь эксплуатация и целевое применение будут характеризоваться полнотой и корректностью выполнения требований, предписываемых эксплуатационной документацией, по которой обеспечивается обслуживание и применение по назначению образцов базового инфокоммуникационного оборудования (БИКО).

Особое место в задачах определения качества сложных ИКС занимают процедуры количественных измерений соответствующих показателей и возникающие при этом проблемы. Дело в том, что каждому показателю качества соответствуют определенные критерии их уровня $K_{\widetilde{TC}}^{O}$, к которым в ИКМ предъявляется ряд требований. В частности, они должны:

вытекать из конкретных телекоммуникационных задач, для решения которых создаются ИКС;

отражать уровни критериев всех БС создаваемых ИКС;

учитывать различного рода ограничения, характерные для создания и функционирования ИКС;

быть чувствительными по отношению к изменяемым (управляемым) параметрам ИКС, их ПФС и ОС;

сводиться к единой системе понятий и выражаться минимальным числом измерителей, имеющих конкретный физический смысл;

давать объективные результаты оценки качества.

Следует отметить, что одному и тому же показателю качества ИКС может соответствовать несколько критериев. Выбор конкретного критерия делается в зависимости от постановки проектной задачи, этапа разработки и целей оценки, ввиду их косвенности и локальности.

При проектировании чаще всего используются не абсолютные, а относительные, эталонные критерии качества, строящиеся на сопоставлении, в квалиметрическом отношении, создаваемых образцов БИКО с какими-либо созданными или создаваемыми прототипами.

Для количественного измерения показателей качества образцов БИКО, так же как и их свойств, используются критерии:

матричного (дифференцированного) типа, в виде матрицы из всей совокупности критериев уровня показателей БС (основных характеристик) или подсистемных критериев качества без сведения их к единым обобщенных критериям (такой подход к измерению критериев качества используется в настоящее время, как правило, во взаимоотношениях между заказчиками и разработчиками сложных ИКС);

поликритериального (векторного) типа, в виде совокупности ограниченного числа критериев, представляющих собой, в частности, основные компоненты ПК образцов БИКО, которые могут записываться в виде вектора или кортежа;

монокритериального (скалярного) типа, в виде единых критериев.

Несмотря на то, что в настоящее время разработано много методов решения проектных задач с использованием матричных и векторных критериев качества (типа методов поочередного выравнивания, последовательных уступок, ранжирования отдельных компонент ПК) [3–5], самой прогрессивной формой оценки уровня качества образцов сложных ИКС является выражение его показателей в виде единого количественного критерия, позволяющего в максимальной степени формализовать, упростить и обеспечить принятие объективных технических решений в ходе проектного управления качеством создаваемых образцов БИКО [6]. Однако вопросы разработки для широкого практического применения методов оценки уровня качества образцов сложных ИКС на основе единых критериев, к сожалению, сегодня являются только предметом изысканий. Более того, еще имеются мнения, отрицающие необходимость и практическую возможность выработки единого (скалярного) критерия ПК и его аналитического измерения [7].

Можно согласиться с методологическими трудностями общей квалиметрии образцов сложных ИКС при общей постановке проектной задачи на основе единых (скалярных) критериев, однако, не искать решения этой важнейшей научно-технической проблемы и оставаться сегодня на эмпирико-интуитивных позициях в этом вопросе принципиально неправильно. От того, какой критерий качества ИКС выбирается главным, насколько он объективен, зависят не только результаты отдельных технических решений, но и направления развития целых отраслей современной электронной техники на длительный период времени.

Для всех форм представленных критериев качества, создаваемых ИКС, характерны флуктуации их значений, которые являются следствием флуктуаций значений критериев квалиметрических параметров образцов БИКО, что приводит к необходимости использования при их расчетах как детерминированных, так и стохастических измерителей. Как и при изложении основных положений метода определения критериев частных квалиметрических параметров типов образцов БИКО, при решении практических задач общей квалиметрии, с позиций ИКМ, первичным объектом целесообразно рассматривать ЕТК, на основании критериев качества которых формируются критерии качества всех более сложных ИКС различных уровней иерархической структурной организации типа ТК, ПТС, БТС, ОТС и видов их в целом, строящихся на основе однотипных и разнотипных ЕТК.

Для формирования критериев качества ЕТК, создаваемых образцов БИКО, прежде всего необходимо сформулировать типовые цели, ставящиеся перед этими образцами, без четкого установления которых невозможно определение качества как меры полноты достижения целей в конкретной среде и при конкретной ОС.

Практически для всех видов образцов БИКО типовой задачей, возлагаемой на их ЕТК, включающие в себя устройства, средства управления и обеспечения их функционирования, является выполнение ими, с требуемым уровнем вероятности, элементарных фрагментов, характерных для их принадлежности инфотелекоммуникационным задачам в виде элементарных функций в любой

момент времени, в течение всего срока эксплуатации. При этом главным условием, как правило, является минимизация затрат ресурсов различной природы на решения задач с использованием этих образцов БИКО. Следует отметить, что между размерностями образцов БИКО и возлагаемыми на них телекоммуникационными задачами имеет место известное соответствие, из-за которого по мере усложнения задач и условий их выполнения усложняется техника.

Исходя из этого в соответствии с основными положениями ИКМ по общей квалиметрии укрупненную структуру критерия ПК ЕТК, в каждый текущий момент времени, в общем случае, будем представлять аналогично математической модели из [1]. Если принять во внимание, что критерии основных компонент ПК, в свою очередь, определяются критериями промышленной и функциональной групп БС и характеризующих их квалиметрических параметров, то возможные выражения для критериев, указанных выше, компонент и ПК ЕТК, пригодных для практического использования, можно представить следующим образом:

Критерий промышленной компоненты ПК ЕТК, создаваемых образцов БИКО ($R_п$) – как меру их приспособленности к взаимодействию с промышленной средой формулируется в следующем виде:

$$R_n(t) = \frac{1}{C_o\left[\left\{P_{Бi}^{k}(t)\right\}\right]}, \qquad (2)$$

где $C_o(\bullet)$ – приведенная стоимость реализации одного полного ПК ЕТК, которая определяется всеми критериями БС промышленной группы и характеризует промышленную экономичность ЕТК образцов БИКО.

Критерий функциональной компоненты ПК ЕТК образцов БИКО ($R_ф$), как меру их приспособленности к взаимодействию с функциональной средой в виде:

$$R_ф(t) = \frac{1}{N_{\min}^{тр}\left[\left\{P_{Бi}^{k}(t)\right\}\right]}, \qquad (3)$$

где $N_{\min}^{тр}(\bullet)$ – требуемое минимальное число ЕТК, имеющих $n_ц$ рабочих циклов для выполнения того или иного элементарного фрагмента функциональной задачи с требуемым уровнем вероятности $P_{тр}$, которая определяется всеми критериями БС функциональной группы и характеризует функциональную эффективность ЕТК образцов БИКО.

Выражение (3) на основании типовой схемы решения подобного рода вероятностных задач, в такой постановке может быть записано следующим образом:

$$R_{\phi}(t)=\frac{1}{N_{\min}^{mp}(t)}=\frac{n_{ц}\ln\left[1-P_{\text{о}}(t)\right]}{\ln\left(1-P_{\text{тр}}\right)}, \qquad (4)$$

где $P_{\text{о}}(t)$ – полная вероятность выполнения, возлагаемого на ЕТК элементарного фрагмента общей, характерной для их вида функциональной задачи в любой момент времени, в течение всего срока эксплуатации ЕТК за один рабочий цикл.

Величина $P_{\text{о}}(t)$ может быть сформирована как произведение условных вероятностей реализации событий, каждое из которых определяется критериями соответствующих БС образца БИКО. На этом этапе уже возможны математические зависимости, связывающие показатели эффективности с конкретными параметрами и характеристиками технической системы. Например:

$$P_o(z,u,t)=k\lambda\gamma+(1-k)\lambda\gamma\rho+$$
$$+\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{i!}\left\{k(1-\lambda)^i\left[1-(1-\lambda)^{i+1}\right]\rho^i\gamma+(1+k)(1-\lambda)^i\left[1-(1-\lambda)^{i+1}\right]\rho^{i+1}\gamma\right\}, \qquad (5)$$

где $P_o(z,u,t)$ – вероятность выполнения ЕТК задачи (z) за заданное время (t) при обеспечении условий (u); k – коэффициент готовности ЕТК к выполнению задачи (z); λ – вероятность безотказной работы ЕТК при выполнении задачи (z); γ- вероятность того, что при выполнении задачи (z), в условиях противодействия со стороны агрессивных сред, ЕТК выполнит свои функции; ρ – вероятность устранения отказов при выполнении задачи (z).

Очевидно, что взаимосвязанные между собой величины $N_{\min}^{mp}$ и P_o будут характеризовать обобщенную производительность образцов БИКО. Следует также отметить и то, что на практике величина $P_{\text{о}}$ сама может рассматриваться как одна из форм критерия функциональной компоненты качества ЕТК, отражающая достаточно наглядно их функциональную эффективность. Это значит, что $R_{\phi}(t)$ можно представлять в таком виде

$R_{\phi}^{/}(t)=P_o(t)$ - для ЕТК одноразового действия;

$R_{\phi}^{/}(t)=1-\left[1-P_o(t)\right]^{n_{ц}}$ - для ЕТК многоразового действия.

На основании выражений (2) и (3) критерий ПК ЕТК образцов БИКО можно представить, например, в виде произведения критериев его основных компонент, вкладывая в это произведение физический смысл обратной величины потребных затрат ресурсов на выполнение с уровнем вероятности P_{mp} элементарного фрагмента функциональной задачи с использованием создаваемых образцов БИКО. Критерий ПК ЕТК в этой форме определяется всеми критериями БС, характеризующих их полную промышленно-функциональную эффективность, и имеет вид

$$R_{ПК}(t) = R_{П}(t) R_{Ф}(t) \qquad (6)$$

Таким образом, представленный подход к формированию критериев основных компонент ПК ЕТК современных образцов БИКО, является реализацией методики оценки качества в системе "стоимость-эффективность", лежащей в основе общей квалиметрии при ИКМ [7]. Такая оценка в целом пригодна и для оценки критериев качества образцов БИКО более сложных, чем ЕТК, например, ТК. На основании выражений (2)…(4) и (6) можно установить связь между критериями качества образцов БИКО более высокого и низкого уровня структурной организации, в частности ЕТК и ТК, имеющих в своем составе (N) ЕТК

Изложенные принципы формирования критериев качества создаваемых ИКС могут быть положены в основу практической деятельности проектных организаций и промышленных предприятий, на которых внедряется комплексная система управления качеством продукции и экономным использованием ресурсов.

Библиографический список

1. Курносов В.И., Лихачёв А.М. Методология проектных исследований и управление качеством сложных технических систем электросвязи. СПб.: «Тема», 1997. 511 с.

2. Автономов В.Н. Создание современной техники: Основы теории и практики. М.: Машиностроение, 1991. 304 с.

3. Никифоров А.Д., Бойцов В.В. Инженерные методы обеспечения качества в машиностроении. М.: Изд-во Стандартов,1987. 384 с.

4. Моисеева Н.К. Выбор технических решений при создании новых изделий. М.: Машиностроение, 1980. 181с.

5. Джонс Дж.К. Методы проектирования / Пер. с англ. 2-е изд. М.: Мир, 1986. 326 с.

6. Управление качеством продукции: справочник. М.: Изд-во стандартов, 1985. 464 с.

7. Шишкин И.Ф., Станякин В.М. Квалиметрия и управление качеством: учебник для вузов. М.: Изд-во ВЗПИ, 1992. 254 с.

УДК 613.648

М. Ю. Егоров*
кандидат технических наук, доцент
А. С. Степашкина*
кандидат технических наук, доцент
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОЛИМЕРЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ИЗЛУЧЕНИЯ

Представлены результаты исследования воздействия сверхвысокочастотного излучения на оригинальные композиционные материалы на основе полипропиленовой и полиэтиленовой матрицы. В качестве наполнителя использованы углеродные частицы и металлы. Показано, что такие композиционные материалы могут применяться в качестве сырья для изготовления защитных средств от сверхвысокочастотного излучения.
Ключевые слова: защита от сверхвысокочастотного излучения, композиционные материалы, полипропиленовая и полиэтиленовая матрицы.

M. Yu. Egorov*
PhD, Tech., Associate Professor
A. S. Stepashkina*
PhD, Tech., Associate Professor
*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

COMPOSITE POLYMERS FOR MICROWAVE PROTECTION

The paper presents the results of a study of microwave radiation impact on composite materials based on polypropylene and polyethylene matrices; carbon particles and metals are used as fillers. It is shown that such composites can be used for the manufacture of protective equipment against microwave radiation.
Keywords: protection against microwave radiation, composite materials.

Введение

В результате развития техники и технологий широкое применение получили различные источники электромагнитных полей как в промышленности (термическая обработка металлов, диэлектриков и полупроводников, навигация, медицинское оборудование), так и в быту (телевидение, мобильные телефоны, бытовые приборы). Сверхвысокочастотный (СВЧ) диапазон является одним из перспективных направлений и сегодня. Энергию СВЧ частот используют

- в навигации,
- в спектроскопии,
- в медицине,
- в радарных транспортных системах и др.

Воздействие электромагнитных полей СВЧ-диапазона существенно влияет на организм человека, вызывая нарушения в работе сердечнососудистой, дыхательной, нервной и эндокринной систем.

При проведении мониторинга физиологического состояния сотрудников на предприятиях наблюдается ухудшение самочувствия с увеличением профессионального стажа. В связи с этим законодательством в области охраны труда отводится особое внимание защите от воздействия электромагнитных полей [1]. Для снижения вредного воздействия электромагнитных полей на человеческий организм используют специальные экраны, одежду с металлическими нитями. Как правило, большинство средств защиты от электромагнитных полей изготавливают на основе металлов. За счет этого, защитные конструкции имеют значительные массы, а текстильные изделия не обладают необходимой эластичностью.

В работе получены оригинальные пленочные образцы композиционных полимерных материалов, обладающие экранирующими свойствами.

Образцы

По расплавной технологий получены композиционные полимерные материалы с электропроводящими наполнителями в виде пленок. На первом этапе проводилось приготовление навески материала матрицы и наполнителя, которые впоследствии перемешивали в вибрационной шаровой мельнице. В расплаве полимерного материала осуществлялось диспергирование наполнителей в двухшнековом компаундере. Формование образца осуществлялось через щельевую фильеру. На выходе из фильеры пленка обдувается струей сжатого воздуха, после чего наматывается на катушку приемного устройства (рис.1). Толщина пленок составляет 100-200 мкм [2].

Рис. 1. Формование пленочных композиционных материалов через щельевую фильеру

В роли матрицы выступают термопласты, обладающие высокой эластичностью: полипропилен (ПП). Материалы используются в различных сферах человеческой деятельности, могут быть использованы после переработки.

Известно, что введение проводящих частиц в полимерную матрицу может значительно снизить электрическое сопротивление [3]. Поэтому в качестве наполнителей выбраны медь (М), технический углерод (ТУ), углеродные нанотрубки (УНТ). Массовые доли наполнителя в образцах

- ПП-М (полипропилен-медь) составляет 0,5, 1%,
- ПП-ТУ составляет 10, 20, 30%,
- ПП-УНТ составляет 0,5%, 1%, 2%.

Методика экспериментального исследования

Для определения степени защиты от СВЧ излучения (магнетрон) воспользуемся источником СВЧ излучения на расстоянии 30 см поместим детектор СВЧ-излучения. Частота излучения источника составляет 2,3–2,5 ГГц, данный диапазон является наиболее часто встречающимся в быту при использовании микроволновой печи, сотовых телефонов. На расстояние 5 см от источника будем натягивать композиционные пленки. Схема установки приведена на рис. 2.

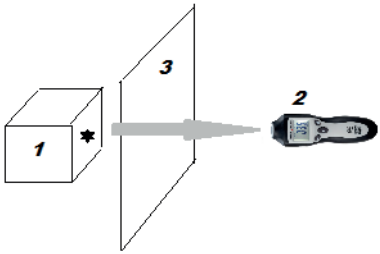


Рис. 2. Схема установки для исследования влияния СВЧ-излучения:
1 – источник СВЧ-излучения (магнетрон), 2 – детектор СВЧ-излучения,
3 – образцы пленочных материалов

Обсуждение результатов

Результаты измерений приведены в таблице.

Таблица

Эффективность экранирования исследованных материалов

	Материал	Эффективность экранирования δ, %
1.	ПП-М, 0,5%	89.4
2.	ПП-М, 1%	99.8
3.	ПП-ТУ, 10%	68.3
4.	ПП-ТУ, 20%	97.1
5.	ПП-ТУ, 30%	100
6.	ПП-УНТ, 0,5%	18.1
7.	ПП-УНТ, 1%	78.2
8.	ПП-УНТ, 2%	95.6

Наибольший интерес представляют композиции с медью. Во-первых, при меньших значениях массовой доли наполнителя наблюдается высокая эффективность при использовании пленочного материала в качестве экрана. Во-вторых, композиции на основе меди являются полупрозрачными материалами с медными вкраплениями. Композиции, в состав которых входят углеродные ча-

стицы имеют черный цвет даже при малых концентрациях наполнителя, что не позволяет окрашивать материалы, в отличии от композиций ПП-М.

Существует несколько механизмов экранирования СВЧ-полей: первый заключается в отражении излучения (такое механизм характерен для металлов), второй – в поглощении (чаще за счет включений и в полупроводниковых материалах). Поскольку первый механизм наиболее характерен для металлов, считаем, что именно отражение излучения наблюдается в случае композиции ПП-М.

В работе [4] показано, что материалы на основе полимерной матрицы и углеродных наполнителей (ТУ – технический углерод, УНВ – углеродные нановоокна) имеют сложную зависимость электрического сопротивления от температуры (рис. 3), можно выделить два участка. На первом участке при низких значениях температуры (80-240К) наблюдается плавный спад удельного электрического сопротивления с ростом температуры. На втором участке при температурах от 250К и выше наблюдается линейное увеличение электрического сопротивления с увеличение температуры. На втором участке преобладает металлический (электронный) тип проводимости, таким образом, будем считать, что по аналогии с композитом ПП-М преобладаем механизм отражения излучения в полимерах ПП-ТУ и ПП-УНВ.

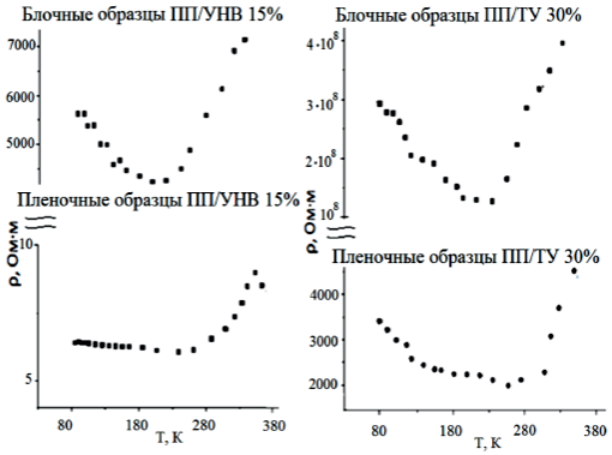


Рис. 3. Зависимость удельного электрического сопротивления от температуры для материала ПП/ТУ и ПП/УНВ [4]

Заключение

В работе получены композиционные пленочные материалы на основе полипропилена и наполнителей в виде технического углерода, углеродных нанотрубок и меди. Показано, что такие пленки могут быть использованы для защи-

ты от СВЧ-излучения. Основным механизмом экранирования СВЧ-полей для полученных композиционных материалов является отражение излучения.

Библиографический список

1. Малаян К.Р. Безопасность жизнедеятельности. Основы охраны труда. СПб.: Изд-во Политехи, ун-та, 2020. 207 с.

2. Степашкина А. С. Разработка методов исследования и моделирование электро- и теплпроводящих свойств пленочных и волокнистых композитных материалов: дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук: 05.19.01 / А. С. Степашкина; СПбГУПТД. СПб., 2015 140 с.

3. Седакова Е.Б., Козырев Ю.П., Тарасенко Е.А., Москалец А.А. Структурные модели полимерных композитов триботехнического назначения. Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2020.

4. Stepashkina A.S., Aleshin A.N., Rymkevich P.P. Influence of the temperature on current-voltage characteristics of composite materials fabricated based on a polypropylene matrix and carbon fillersPhysics of the Solid State. 2015. Т. 57. № 4. С. 832–836.

УДК 658

Г. Н. Иванова*
кандидат экономических наук, доцент
Н. В. Андросенко*
кандидат экономических наук
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ – ЭВОЛЮЦИЯ ПОДХОДОВ

Статья посвящена рассмотрению эволюции толкований понятия «устойчивое развитие предприятия». Приводятся примеры подходов различных авторов, указываются их недостатки и достоинства. Особое внимание уделяется так называемой комплексной модели, более соответствующей международному пониманию данного понятия. Также освещаются вопросы социальной ответственности предприятия как еще одному инструменту для достижения устойчивого развития.
Ключевые слова: устойчивое развитие, предприятие, системы менеджмента, социальная ответственность.

G. N. Ivanova*
PhD, Economic, Associate Professor,
N. V. Androsenko*
PhD, Economic
*St. Petersburg State University Aerospace Instrumentation

SUSTAINABLE ENTERPRISE DEVELOPMENT – EVOLUTION OF APPROACHES

The article is devoted to the evolution of the interpretation of the concept of "sustainable development of the enterprise". Examples of approaches of various authors are given, their disadvantages and advantages are indicated. Special attention is paid to the so-called complex model, which is more appropriate to the international understanding of this concept. It also highlights the issues of social responsibility of the enterprise as another tool for achieving sustainable development.
Keywords: sustainable development, enterprise, management systems, social responsibility.

Экономические проблемы, нарастание масштабов и частоты экологических бедствий, социальная напряженность – все эти причины убедительно доказывают необходимость самого пристального внимания к изучению проблемы практического применения концепции устойчивого развития как к первооснове повышения качества жизни. В настоящее время международным сообществом накоплен большой опыт в этом направлении. И хотя единого толкования понятия «устойчивое развитие» до сих пор так и не принято, но все же большинство специалистов опирается на наиболее распространенную трактовку, предлагаемую ООН. Напомним, что согласно ей, устойчивое развитие является суммой трех составляющих – экономического роста, охраны окружающей среды и социального развития. При этом особо подчеркивается, что экономический рост является решающим фактором, так как именно он создает материальную основу (материальные блага) для прогресса по другим составляющим.

Как известно, материальные блага производятся на предприятиях, то есть именно они создают необходимую материальную основу такого развития. Следовательно, решение проблем устойчивого развития территории (общества), зависит в первую очередь от решения проблем устойчивого развития предприятий, расположенных на ней.

К сожалению, анализ существующих отечественных трактовок понятия «устойчивое развитие предприятий» показал, что большинство из них абсолютизируют роль экономического фактора и рассматривают устойчивость предприятия только в связи с его экономической деятельностью [4, 5]. Иными словами, для ряда авторов устойчивое предприятие – это, прежде всего, экономически успешное предприятие. Соответственно чему, устойчивость предприятия характеризуется его платежеспособностью, прибыльностью, конкурентоспособностью продукции, инвестиционную и инновационную активностью.

Некоторые специалисты, рассматривая с таких позиций устойчивость работы предприятия, придают большее значение инновационной активности, как характеристике возможностей предприятия (наличие возможностей для роста). Однако это не способствует преодолению главного недостатка таких трактовок – их ограниченности. Воспринимая предприятие как «вещь в себе» авторы не учитывают того факта, что оно расположено на определенной территории, с которой предприятие определенным образом взаимодействует. А также, что предприятие основывает свою деятельность на определенной нормативной базе, которая может меняться и что главная цель предприятия – удовлетворение потребностей потребителей, причем только соответствующих принципам и положениям устойчивого развития. Одним словом, данные трактовки можно отнести к периоду начального этапа эволюции понятия «устойчивое развитие предприятия», когда оно было равнозначно понятию «прибыль».

К следующей ступени эволюции моделей можно отнести представление о предприятии уже как об открытой социально-экономической системе, то системе, испытывающей внешние воздействия [6] (рис. 1). Однако согласно этому подходу на предприятии главными подсистемами являются финансовая и экономическая, а другие – информационная, организационно-управленческая, экологическая – рассматриваются как вспомогательные. Такой подход снова суживает понимание устойчивого развития до экономического аспекта. Хотя и подчеркивается, что устойчивое развитие такой системы не должно происходить за счет ущерба окружающей среде.

Такого же мнения придерживаются и другие специалисты [7], сосредотачивающиеся на анализе факторов, действующих на предприятие, и возможности измерения данных факторов. Например, с помощью таких показателей как объемы используемых ресурсов, численность персонала, стоимость привлеченного капитала, расходы на новую технику, технологии, количество выбросов в атмосферу и т. д. На этой основе строится система показателей эффективности развития, состоящую из таких, например, показателей, как ресурсоемкость продукции, производительность труда, капиталоотдача, скорость внедрения инноваций, динамика загрязнения окружающей среды.

Преимуществом данного подхода является то, что он учитывает экологическую составляющую устойчивого развития. Однако не учтена третья – социальная, которая в современной экономике имеет в некоторых случаях решающий характер. Ведь сегодня фактором успеха становятся не материальные активы, а знания и их обладатели. Не случайно, именно отсутствие нужных высококвалифицированных специалистов многие руководители предприятий считают главным препятствием для развития.

Близко к этому пониманию устойчивого развития находится и подход, основанный на том, что главной характеристикой устойчивого развития является реакция на внешние воздействия [8]. Вследствие этого предлагается система оценки, основанная на трех группах показателей – входного воздействия, состояния, управления. Первая группа характеризуют то, что влияет на устойчивое развитие. Вторые – текущее состояние различных аспектов устойчивого развития. А третья – индикаторы реагирования, а именно способ реагирования для изменения текущего состояния. Также предлагаются критерии оценки эффективности устойчивого развития. Например, достижение устойчивых темпов экономического роста, получение прибыли, достаточной для самофинансирования экономического развития и обеспечения ее устойчивого роста в динамике.

Рис. 1. Эволюция моделей устойчивого развития предприятия

Таким образом, мы видим, что подход большинства отечественных авторов страдает односторонностью, не учитывает всей совокупности действующих

на предприятие факторов, а также не соответствует международной трактовке данного понятия.

Более новой выглядит так называемая комплексная модель [9], основанная на методологии, предложенной академиком В.В. Окрепиловым, суть которой заключается в применении принципов всеобщего управления качеством за счет применения инструментов стандартизации.

Несомненным положительной чертой рассматриваемой трактовки служит то, что устойчивость предприятия рассматривается сразу по трем составляющим в соответствии с международной трактовкой. Более того, авторы предлагают рассматривать и четвертую – ресурсосбережение.

Более того, разработчики комплексной трактовки рассматривают предприятие не изолированно, а как микроуровень общей социально-экономической системы. Это сразу позволяет учесть взаимодействие предприятия с внешней средой (партнерами, потребителями, органами государственной или муниципальной власти, населением и др.). Следствием такого положения является условие о том, необходимой предпосылкой устойчивого развития предприятия является согласование его целей с целями развития системы (например, региона). Без выполнения этого условия достижение устойчивости становится труднорешаемой задачей.

Трактовка предлагает также возможность измерять устойчивость развития, поскольку авторами разработана система показателей, соответствующая составляющим устойчивого развития. Показатели измеримы, адекватны и поддаются сравнению. Можно сказать, что данная система, представляя состояние предприятия в тот или иной момент времени, является его цифровым аналогом и позволяет отслеживать и прогнозировать тенденции развития. То есть, является его моделью.

Также предлагается рассматривать и интегральный показатель устойчивости, рассчитанный как среднее арифметическое показателей (с учетом их удельных весов). Это позволяет сравнивать устойчивость предприятий, различающихся размерами, формой собственности, выпускаемой продукцией, местонахождением.

Новой ступенью в эволюции трактовок понятия «устойчивое развитие предприятия» можно считать и управление с позиций социальной ответственности. Тем более, что согласно современному пониманию социальной ответственности предприятия, главной его целью как раз и является содействие устойчивому развитию [2]. Здесь стоит упомянуть и то, что согласно международным документам в этой области социально ответственный бизнес отходит от принципа «прибыль любой ценой» и принимает общечеловеческие ценности в интересах всей планеты [10].

При сравнении аспектов социальной ответственности и устойчивого развития выявляются совпадения. Например, такое аспект как трудовые права явственно соответствует такой составляющей, как социальное развитие, а защита окружающей среды – экологической составляющей. Кроме того, интересен и такой аспект как участие в жизни сообществ, то есть организация стремиться стать одним из членов местного сообщества. Это ведь не что иное, как коорди-

нация целей развития организации и целей развития территории. Не случайно, основой развития социальной ответственности является анализ ожиданий заинтересованных сторон и идентификация их потребностей. Иными словами, социально ответственная организация ведет постоянный диалог с заинтересованными сторонами. Это позволяет лучше просчитывать последствия принимаемых решений для увеличения их положительного воздействия, снижать риски конфликтов и негативных последствий, учитывать все мнения и интересы, а значит, повысить степень доверия к организации и улучшить ее имидж. Кроме того, такой диалог позволяет получать информацию из разных источников, а также дает возможности создать партнерство.

Таким образом, социально ответственная организация осуществляет постоянное взаимодействие с окружением и согласует свои интересы с интересами заинтересованных сторон. Такое согласование чаще всего означает, что организация не только строго выполняет требования действующего законодательства, но и берет на себя некоторые добровольные обязательства, фиксируемые в заключаемых ею договорах. Кроме того, в ряде случаев организация может осуществлять и благотворительную деятельность, т. е. действия, предпринимаемые по собственной инициативе.

Как известно, устойчивое развитие предполагает повышение качества, что влечет за собой постоянное внедрение инноваций во всех процессах предприятия, в том числе и в процессах управления им. Многолетний отечественный и зарубежный опыт показывает, что в этом случае инновацией с наибольшей эффективностью является внедрение различных систем менеджмента с учетом рассматриваемых составляющих устойчивого развития, применяя наилучшие международные практики, в том числе установленные в национальных и международных стандартах. о менеджмента и т. д. Говоря кратко, системы менеджмента есть наилучший инструмент для достижения устойчивости развития предприятия.

Например, совершенно очевидно, что устойчивость в экономическом аспекте обеспечивается за счет постоянного повышения качества продукции, то есть за счет применения системы менеджмента качества, соответствующей требованиям международных стандартов серии 9000. Устойчивость в экологическом аспекте невозможна без использования систем экологического менеджмента, соответствующим требованиям стандартов серии 14000. А устойчивость в социальном аспекте – без применения систем охраны труда и здоровья (международный стандарт ИСО серии 45000) (рис. 2).

Необходимо сказать и о взаимовлиянии данных систем. Например, система экологического менеджмента, уменьшая нагрузку на окружающую среду, способствует и улучшению экономических показателей, так как уменьшаются сумму соответствующих штрафов и выплат. Улучшение экологии положительно сказывается и на здоровье работников, что приводит как к уменьшению выплат по больничных листам, так и к увеличению производительности. К аналогичным результатам приводит и внедрение систем менеджмента в социальной сфере.

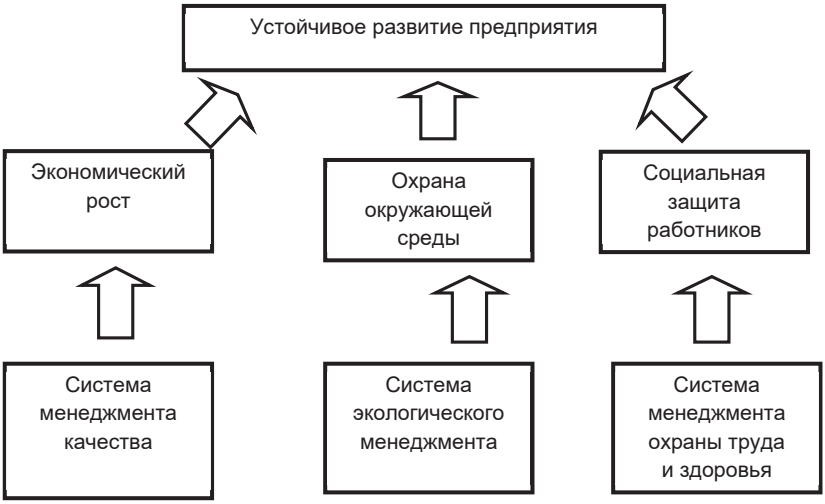


Рис. 2. Влияние систем менеджмента на устойчивое развитие предприятия

Помимо весомого экономического эффекта внедрение таких систем создаст возможность и для развития и управления социальной ответственностью [3].

В заключение стоит сказать, что повышение устойчивости развития предприятия означает решения и еще одной важной задачи – поиск методов оценки эффективности управления (управляющих мероприятий). В литературе уже описано достаточно большое количество подобных методов, суммируя которые можно сказать следующее. Управление может считаться эффективным, если поставленные цели достигнуты в возможно короткие сроки при наименьших затратах ресурсов – экономических, финансовых, трудовых и так далее. Однако нельзя абсолютизировать устойчивость, так как в таком случае существует опасность подмены главной цели. Кроме того, достижения не могут быть сопоставимыми с затратами («цена победы» не должна быть высокой). Должна присутствовать комплексная оценка, которая по возможности учитывает не только все действующие факторы, но и взаимоотношения между ними. Особенно это касается оценки эффективности управления территориями, то есть оценке эффективности деятельности органов государственной власти. В настоящее время утверждена новая система оценки, состоящая из 20 показателей [1]. Анализ этих показателей станет основой для распределения грантов между регионами. Ввиду недостатка информации еще пока неясно насколько новая система будет способствовать устойчивому развитию регионов и повышению качества управления ими. Однако бесспорно, что такая оценка необходима Вопрос лишь в выборе системы показателей. И было бы весьма желатель-

но, чтобы такая система соответствовала лучшим международным практикам, в том числе и в области устойчивого развития.

Библиографический список

1. Указ Президента РФ от 04.02.2021 № 68 « Об оценке эффективности деятельности высших должностных лиц и органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации».

2. Национальный стандарт ГОСТ Р 26000-2012 «Руководство по социальной ответственности».

3. Бондарь Л.А, Иванова Г.Н, Чудиновских И.В. Управление социальной ответственностью организации на основе стандартов // Сб. трудов 70-й Международной научно-практической конференции Евразийского Научного Объединения «Итоги науки в теории и практике 2020» М.: Изд-во Евразийское научное объединение, 2020.

4. Ковалев Д., Сухорукова Т. Экономическая безопасность предприятия // Экономика Украины, 1998. № 5.

5. Коротков Э.М. Антикризисное управление. М.: Инфра-М, 2003. №. 53.

6. Кочетков Е.П. Финансово-экономическая устойчивость: теоретические аспекты оценки и управления // Эффективное антикризисное управление. 2011. № 2.

7. Коряков А.Г. Экономическая устойчивость развития предприятий: классификация и ключевые факторы. / Серия «Экономика и Право». 2012 № 3.

8 Рябов В.М. Устойчивое развитие промышленных предприятий в современных условиях // Вектор науки. 2011 № 4 (18).

9. Черных Ю,В., Иванова Г.Н. Стандартизация в устойчивом развитии предприятий. М.: Изд-во «Научный консультант», 2020.

10. Интернет-портал www.globalcompact.ru/.

УДК 537.63

А. В. Копыльцов*
доктор технических наук, профессор
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ, ПОРОЖДАЕМЫХ ЭРИТРОЦИТАМИ В УЗКИХ КАПИЛЛЯРАХ

Рассмотрены подходы к моделированию магнитных полей в системе микроциркуляции. Показано, что в узких капиллярах заряды, расположенные на мембране эритроцитов, порождают магнитные поля за счет перекатывания эритроцитов в узких капиллярах. Проведенные расчеты позволили оценить напряженность магнитного поля в окрестности эритроцита и распределение напряженности магнитного поля между соседними эритроцитами.
Ключевые слова: напряженность магнитного поля, система микроциркуляции, эритроцит, взаимодействие магнитных полей, математическое моделирование.

A. V. Kopyltsov*
Dr. Sc., Tech., Professor
*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

ON THE FEATURES OF MATHEMATICAL MODELING OF MAGNETIC FIELDS GENERATED BY ERYTHROCYTES IN NARROW CAPILLARIES

Approaches to modeling magnetic fields in the microcirculation system are considered. It has been shown that in narrow capillaries the charges located on the erythrocyte membrane generate magnetic fields due to the rolling of erythrocytes in narrow capillaries. The calculations made it possible to estimate the magnetic field strength in the vicinity of the erythrocyte and the distribution of the magnetic field strength between adjacent erythrocytes.
Keywords: magnetic field strength, microcirculation system, erythrocyte, interaction of magnetic fields, mathematical modeling.

Введение

Рассмотрена проблема магнитных полей, порождаемых зарядами, расположенными на мембране эритроцита в узких капиллярах и их влияние на кровоток. Мембраны эритроцитов отрицательно заряжены дискретными элементами, представляющими собой окончания белковых и других молекул [1]. Предполагается, что заряды распределены равномерно по поверхности эритроцита. При попадании в узкий капилляр диаметром менее 7 мкм эритроцит изменяет свою форму, становится несимметричным и начинает перекатываться вдоль капилляра [2]. Заряды, перемещающиеся вместе с мембраной, порождают магнитное поле, которое воздействует на соседние элементы кровотока и стенки капилляров.

Математическая модель

Если заряд Q перемещается со скоростью V, то в некоторой точке на расстоянии R от заряда генерируется магнитное поле с напряженностью

$$H = \frac{Q\,V \sin\alpha}{4\pi\,R^2},$$

где α – угол между вектором скорости и прямой соединяющей место расположения заряда и точку, в которой генерируется магнитное поле.

Если исходить из предположений, что окружающая среда является изотропной и магнитные токи отсутствуют, то уравнения Максвелла могут быть записаны в следующем виде [3, 4]

$$\frac{\partial B}{\partial t} + \nabla \times E = 0,\ \frac{\partial D}{\partial t} - \nabla \times H = J,\ B = \mu H,\ D = \varepsilon E,$$

где H и E – напряженности, B и D – индукции, ε и μ – диэлектрическая и магнитная проницаемости среды, J – вектор электрического тока, ∇ – оператор набла.

В декартовой системе координат (x, y, z) эти уравнения можно переписать в следующем виде:

$$\nabla = \left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z}\right),$$

$$\nabla \times F = rotF = i\left(\frac{\partial F_z}{\partial y} - \frac{\partial F_y}{\partial z}\right) + j\left(-\frac{\partial F_z}{\partial x} + \frac{\partial F_x}{\partial z}\right) + k\left(\frac{\partial F_y}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial y}\right),$$

$$\frac{\partial B_x}{\partial t} = \frac{\partial E_y}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial y},\ \frac{\partial B_y}{\partial t} = \frac{\partial E_z}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial z},\ \frac{\partial B_z}{\partial t} = \frac{\partial E_x}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial x},$$

$$\frac{\partial D_x}{\partial t} = -\frac{\partial H_y}{\partial z} + \frac{\partial H_z}{\partial y} - J_x,\ \frac{\partial D_y}{\partial t} = -\frac{\partial H_z}{\partial x} + \frac{\partial H_x}{\partial z} - J_y,$$

$$\frac{\partial D_z}{\partial t} = -\frac{\partial H_x}{\partial y} + \frac{\partial H_y}{\partial x} - J_z.$$

где i, j, k – единичные орты, F – функция.

Решая эти уравнения численными методами на компьютере можно получить распределения напряженностей E и H вблизи эритроцита.

Результаты и их обсуждение

Расчеты на компьютере были проведены для входных параметров: Q_{RBC}=0,32×10^{-11} Кл (заряд мембраны эритроцита), w=20 об/сек (число оборотов мембраны эритроцита в секунду), V_{RBC}=94 мкм^3 (объем эритроцита), S_{RBC}=135 мкм^2 (площадь поверхности эритроцита), r=2 мкм (радиус капилляраr), V=100 мкм/сек (скорость эритроцита). Расчеты проводились с шагом h=0,1 мкм. На рис. 1 представлено распределение напряженности H (А/м) на расстоянии 1 мкм от передней части эритроцита при частоте вращения мембраны w=1 об/сек.

На рис. 1. видно, что распределение *H* не симметричное, что может быть объяснено тем, что в узком капилляре эритроцит принимает несимметричную форму, и заряды на мембране несимметрично расположены относительно оси капилляра. При удалении от эритроцита напряженность резко уменьшается. Так, при изменении расстояния от 1 мкм до 4 мкм напряженность уменьшается в 5,6 раза от $2{,}2\times10^{-6}$ А/м до $3{,}9\times10^{-7}$ А/м.

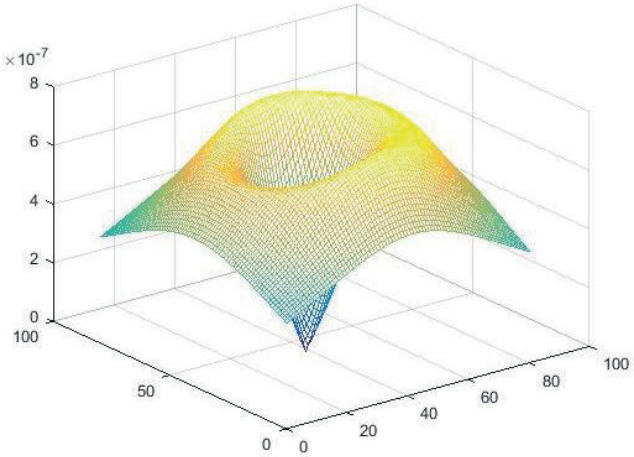


Рис. 1. Распределение напряженности магнитного поля H на расстоянии 1 мкм от эритроцита

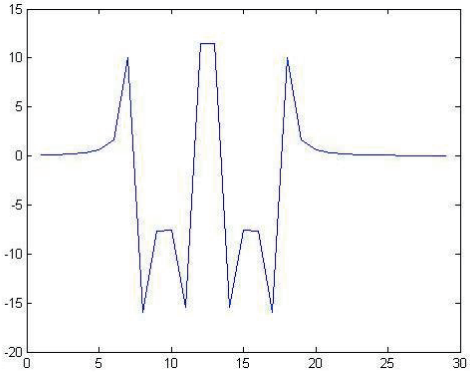


Рис. 2. Зависимость напряженности магнитного поля H (А/м) (ось ординат) от координаты оси капилляра (мкм) (ось абсцисс). Мембраны эритроцитов вращаются в одну сторону. Расстояние между эритроцитами 2 мкм

Расчеты проводились вдоль оси капилляра при различных расстояниях между эритроцитами и направлениях вращения мембраны эритроцита. Так, на

рис. 2 приведено изменение напряженности магнитного поля при условии, что эритроциты перемещаются по капилляру диаметром 4 мкм, вращаются с частотой 10 об/сек в одну сторону и расстояние между эритроцитами 2 мкм. На рис. 3 приведено изменение напряженности магнитного поля, как и на рис 2. Отличие в том, что расстояние между эритроцитами 8 мкм.

На рис. 4 и 5 показано изменение напряженности магнитного поля *H* (А/м) вдоль оси капилляра (мкм) при условии, что мембраны эритроцитов вращаются в разные стороны. На рис. 4 расстояние между эритроцитами 2 мкм, а на рис. 5–8 мкм.

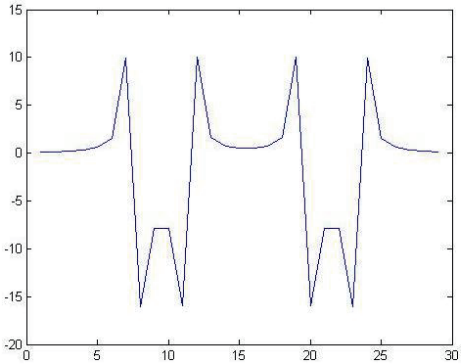


Рис. 3. Зависимость напряженности магнитного поля H (А/м) (ось ординат) от координаты оси капилляра (мкм) (ось абсцисс). Мембраны эритроцитов вращаются в одну сторону. Расстояние между эритроцитами 8 мкм

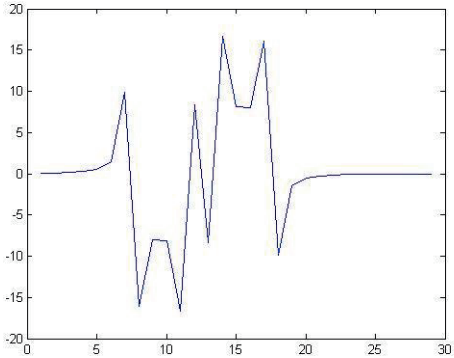


Рис. 4. Зависимость напряженности магнитного поля H (А/м) (ось ординат) от координаты оси капилляра (мкм) (ось абсцисс). Мембраны эритроцитов вращаются в разные стороны. Расстояние между эритроцитами 2 мкм

Из рисунков видно, что при небольших расстояниях между эритроцитами (меньших диаметра капилляра) взаимовлияние магнитных полей соседних эритроцитов существенно и его нужно учитывать. При увеличении расстояния между соседними эритроцитами взаимовлияние магнитных полей уменьшается и при расстояниях больших диаметра капилляра различие составляет менее 5%. Сравнивая однонаправленные вращения эритроцитов и разнонаправленные видно, что во втором случае перепады напряженности магнитного поля больше в 1,2 раза. Это можно объяснить тем, что напряженности магнитных полей складываются как векторные величины и итоговая картина поля распределения напряженности магнитного поля зависит от угла между плоскостями вращения мембран эритроцитов.

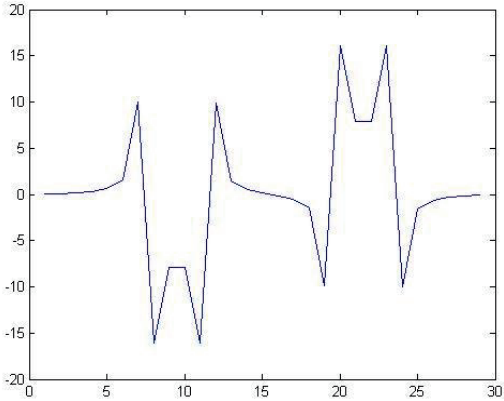


Рис. 5. Зависимость напряженности магнитного поля H (А/м) (ось ординат) от координаты оси капилляра (мкм) (ось абсцисс). Мембраны эритроцитов вращаются в разные стороны. Расстояние между эритроцитами 8 мкм

Заключение

Расчеты на компьютере показали, что в узких капиллярах заряды, расположенные на мембране эритроцита, порождают магнитное поле за счет изменения формы эритроцита с симметричной на несимметричную и, как следствие, перекатывания его вдоль капилляра. Магнитное поле, порождаемое зарядами на соседних эритроцитах, отличается от поля порождаемого одиночным эритроцитом на небольших расстояниях, которые меньше диаметра капилляра. На расстояниях больших диаметрах капилляра напряженность магнитного поля резко убывает обратно пропорционально квадрату расстояния. Напряженность магнитного поля между соседними эритроцитами зависит от угла между плоскостями вращения мембран эритроцитов, и перепады напряженности могут составлять до 20%. На больших расстояниях, составляющих несколько диаметров капилляра, эритроциты можно рассматривать как магнитные диполи.

Библиографический список

1. Ивенс И., Скейлак Р. Механика и термодинамика биологических мембран. М.: Мир, 1982. 304 с.

2. Kopyltsov A.V. Mathematical model of the motion of asymmetric erythrocytes along narrow capillaries // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modeling. 2012. V. 26. № 6. P. 535–553.

3. Курушин А.А., Пластиков А.Н. Проектирование СВЧ устройств в среде CST Microwave Studio. М.: Изд-во МЭИ, 2011. 155 с.

4. Weiland T. A discretization method for the solution of Maxwell's equations for six-component fields // Electronics and Communications AEEU. 1977. V. 31, № 3. P.116–120.

УДК 504.058/528.88/614.842.3

И. В. Мателенок*
кандидат технических наук
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения

ВИДИМОСТЬ РАСПОЛОЖЕННЫХ ПОД ПОЛОГОМ ЛИСТВЕННОГО ЛЕСА ВОЗГОРАНИЙ С ВОЗДУХА И ЕЕ ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ФОРМЫ ДРЕВЕСНЫХ КРОН

Рассмотрены вопросы обнаружения расположенных под пологом лиственного леса возгораний с воздуха. Созданы и внедрены в виртуальные сцены трехмерные модели полога, представляющие собой системы крон-эллипсоидов. Сцены задействованы в вычислительных экспериментах, в ходе которых выполнено моделирование распространения излучения очага горения в пологе, образованном кронами разной формы деревьев двух видов. Полученные в результате экспериментов значения коэффициента пропускания излучения использованы для оценки видимости пламени при разной геометрии визирования и структуре полога.
Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, лесной пожар, лесной полог, обнаружение пламени, перенос излучения, трехмерные модели.

Работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых и по государственной поддержке ведущих научных школ Российской Федерации (проект МК-1004.2020.5).

I. V. Matelenok*
PhD, Tech.
*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

VISIBILITY OF FIRES LOCATED UNDER THE CANOPY OF DECIDUOUS FOREST FROM THE AIR AND ITS DEPENDENCE ON THE SHAPE OF TREE CROWNS

The problems of detecting fires located under the canopy of deciduous forest from the air are considered. Three-dimensional canopy models composed of ellipsoidal crowns were created and inserted into virtual scenes. The scenes were used in computational experiments, during which the propagation of fire radiation through the canopy formed by the differently shaped crowns of two tree species was simulated. Values of the radiation transmittance obtained during the experiments were used to characterize the visibility of the flame at different sensing geometries and canopy structures.
Keywords: three-dimensional models, flame detection, image processing, forest canopy, forest wildfires, radiation transfer, unmanned aerial vehicles.

Введение

Важным условием для предупреждения и оперативной ликвидации чрезвычайных ситуаций, вызванных возгораниями в лесах, является регулярное наблюдение и контроль за предпожарной обстановкой и своевременное обнаружение пожаров с помощью наземных и дистанционных средств мониторинга. В последние годы все чаще для решения задач контроля возгораний применяются беспилотные летательные аппараты, оснащенные аппаратурой видимого и

ИК диапазонов [1]. Однако существующие методы автоматизированного обнаружения очагов горения по данным съемки предназначены для детектирования лесных пожаров как площадных объектов [2, 3]. Обнаружению возгораний в начальной стадии, являющемуся залогом оперативного принятия мер по их устранению, по-прежнему уделяется мало внимания. Также слабо изученным остается влияние характеристик полога леса на возможность обнаружения расположенных под ним возгораний.

Настоящая работа направлена на получение информации, которая позволит принимать обоснованные решения по выбору геометрии визирования и режима съемки с воздуха для эффективного обнаружения возгораний. При этом в качестве основного инструмента мониторинга рассматриваются камеры видимого диапазона, использование которых более предпочтительно по экономическим причинам по сравнению с применением ИК-камер (с учетом необходимости обеспечения широкого пространственного охвата при съемке с малых высот). В работе производится сбор данных о характеристиках лесного полога, создаются его трехмерные виртуальные модели, пригодные для симуляции распространения излучения, а также проводятся вычислительные эксперименты по анализу видимости расположенного на земле пламени на основе оценки значений коэффициента пропускания излучения пологом с кронами разной формы.

Материалы и методы

На первом этапе работы осуществлялся поиск данных о характеристиках полога леса, необходимых для построения трехмерных моделей и выполнения вычислительных экспериментов. В качестве объектов моделирования были выбраны деревья двух распространенных на территории Российской Федерации пород – березы и осины. При работе с публикациями и открытыми базами информации о лесах отбирались и сводились в архив следующие данные по березе повислой (*Betula pendula*) и осине обыкновенной (*Populus tremula*): углы, задающие ориентацию листовых пластинок, индекс листовой поверхности, форма кроны, сомкнутость крон. На основе выборок углов наклона листьев определялся вид распределений листьев по углам наклона, и данные зависимости описывались аналитически с помощью двухпараметрических бета-функций (описаны в [4, 5]).

По сравнению с моделями полога в виде блок-параллелепипедов и массивов сферических крон, которые рассматривались в прошлой работе [6], используемые в настоящем исследовании модели близки по своим геометрическим характеристикам к реальным природным объектам – деревьям указанных двух пород. Модельные кроны вытянуты в направлении нормали к земной поверхности. В рамках настоящего исследования созданы и использованы в экспериментах модели двух типов, отличающиеся формой, или, если точнее, соотношением размеров крон по двум взаимно перпендикулярным направлениям. В модели типа А полог составлен кронами-эллипсоидами с отношением длин полуосей 4:3:3, диаметрами 3 м. Высота дерева равна 5 м, расстояние между кронами – 1 м. В модели типа Б кроны имеют вид эллипсоида с отношением длин

полуосей 8:3:3, диаметр кроны равен 3 м, высота дерева – 9 м, расстояние между кронами – 1 м.

Виртуальные линейные размеры крон, значения индекса листовой поверхности и детальность описания фитоэлементов выбраны с учетом необходимости обеспечения возможности генерации моделей на персональных компьютерах типа "ноутбук" офисного класса (с объемом оперативной памяти 8 Гб, процессором Intel Core i5, объемом видеопамяти 2 ГБ). Наиболее сбалансированным решением с точки зрения соотношения затрат ресурсов на генерацию и получаемой детальности описания явилось создание моделей, состоящих из 750 тыс. полигонов.

Для создания моделей указанных типов использован программный код, написанный на языке R [7]. Данный код, разработанный на основе предыдущих программных решений автора и задействующий функционал подключаемой библиотеки rgl [8], позволяет в автоматизированном режиме генерировать трехмерные представления полога с детальным описанием фитоэлементов, визуализировать их и экспортировать в графические файлы формата Stereo Lithography (с расширением .stl). В этом виде данные о структуре полога могут быть использованы и для решения задач пространственного планирования, дизайна и светотехнического моделирования. Угол наклона каждого отдельного фитоэлемента при создании трехмерных моделей полога извлекался из выборки, сгенерированной на основе бета-функции (распределения листьев по углам наклона) с характерными для конкретной породы деревьев параметрами. Заполнение фитоэлементами осуществлялось в соответствии с данными о листовом индексе и размере листовых пластинок. Значение индекса листовой поверхности, равное 2,5, было выбрано с опорой на работу [9], где рассматриваются молодые деревья небольшой высоты.

Для реализации вычислительных экспериментов по анализу видимости пламени были созданы виртуальные сцены, каждая из которых включает в себя как основу сгенерированную трехмерную модель полога, а также модели окружающих рассеивающих поверхностей, модель очага горения, систему чувствительных поверхностей, регистрирующих поверхностную плотность потока излучения источника, модель естественного освещения. Все чувствительные поверхности в сцене расположены на одном расстоянии от очага горения, под одним азимутальным углом, но под разными углами к горизонту. При этом азимутальные углы датчиков и их удаление от источника излучения могут меняться от сцены к сцене. Отражательные свойства поверхностей подобраны в соответствии с данными из открытых источников. Сцены сохранены в файлы формата 3ds Max (расширение .3ds).

Вычислительные эксперименты, а также работы по автоматизированному анализу их результатов выполнялись с помощью инструментария специализированного программного обеспечения для светотехнических расчетов от DIAL GmbH, среды и языка программирования R. В экспериментах было задействовано 28 сцен с моделями одного типа и двух пород деревьев (т. е. в сумме 56 сцен). В ходе экспериментов оценивалась поверхностная плотность потока излучения очага горения для набора удаленных чувствительных поверхностей,

для конкретных углов визирования определялись значения коэффициента пропускания излучения источника пологом (γ). На основе последних делались выводы об особенностях видимости пламени.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 представлены гистограммы значений углов наклона листьев θ, построенные по данным работы [10] для двух рассматриваемых видов. Посредством аппроксимации были получены параметры бета-функций, описывающих такие распределения. Данные для березы повислой лучше всего описываются функцией с $\mu = 2{,}02$, $\nu = 1{,}13$, данные для осины обыкновенной – функцией с $\mu = 1{,}53$, $\nu = 1{,}28$.

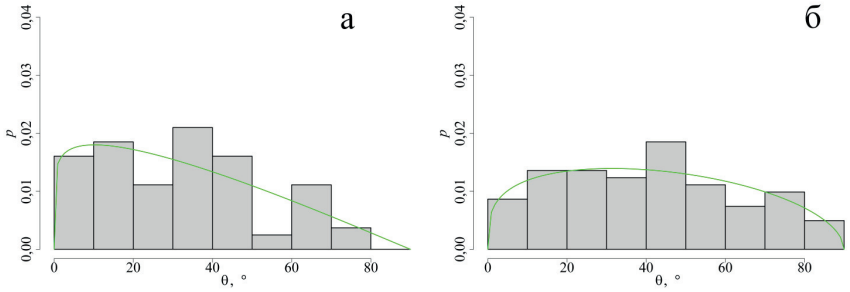


Рис. 1. Распределение листьев по углам наклона по данным исследования [10] для березы повислой (Betula pendula) (а) и осины обыкновенной (Populus tremula) (б); зеленая линия – аппроксимация двухпараметрической бета-функцией

На генерацию каждой пространственной модели с помощью упомянутого выше программного кода было затрачено около 15 часов машинного времени. Примеры моделей, сгенерированных на основе данных для осины обыкновенной, приведены на рис. 2.

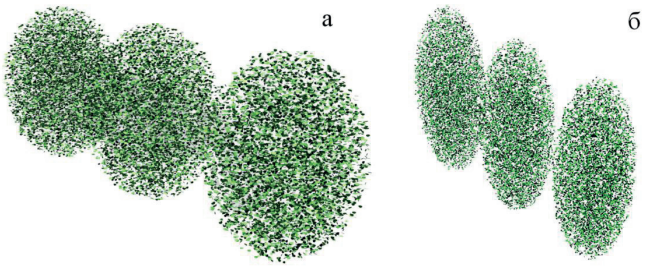


Рис. 2. Примеры использованных в виртуальных экспериментах моделей полога, образованного Populus tremula: а – модель в виде массива крон-эллипсоидов с отношением длин полуосей 4:3:3; б – модель в виде массива крон-эллипсоидов с отношением длин полуосей 8:3:3

Вычислительные эксперименты со сформированными на основе трехмерных моделей полога сценами проводились в течение февраля-марта 2021 г. Полученный в результате массив данных позволил исследовать зависимость коэффициента пропускания излучения очага горения пологом от углов, под которыми выполняется визирование (съемка), а также охарактеризовать видимость пламени при разном взаимном положении очага горения, сенсора, крон. Далее рассматриваются обнаруженные особенности изменчивости γ в связи с несколькими факторами, определяющими геометрию визирования.

На рис. 3 показан пример зависимости коэффициента пропускания γ от угла визирования h (угловой высоты сенсора) для модели типа А, состоящей из крон осины, при совмещении очага горения с центром проекции кроны на поверхность земли. Даже при относительно небольшом значении индекса листовой поверхности (LAI = 2,5) датчики регистрируют глубокие колебания поверхностной плотности потока излучения из-за большого количества преград (фитоэлементов) на его пути. Как итог, мы наблюдаем пеструю картину изменчивости γ даже в границах малого по площади участка чувствительной поверхности. Усреднение же значений в 10-градусных интервалах позволяет оценить угловую изменчивость коэффициента пропускания. Каждое из значений γ, показанных на следующих изображениях, является математическим ожиданием выборки из 200 значений.

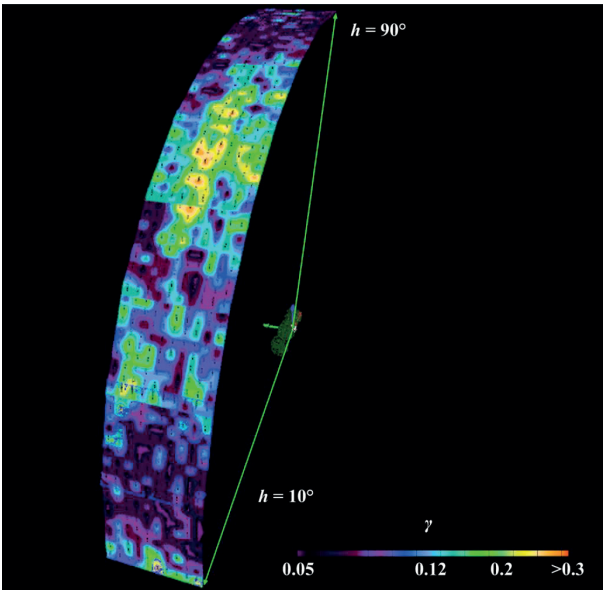


Рис. 3. Пример угловой зависимости γ по результатам экспериментов с использованием модели типа А для Populus tremula при LAI = 2,5

Рассмотрим картину изменчивости параметров видимости пламени при его смещении относительно центров проекций крон в плоскости поверхности земли в направлении сенсора. Для случая моделирования полога, сформированного кронами осины обыкновенной, зависимости коэффициента пропускания излучения пологом от величины смещения при использовании модели типа А представлены на рис. 4а, при использовании модели типа Б – на рис. 4б.

На изображениях 4а, 4б четко видны максимумы коэффициента пропускания на углах визирования, при которых визирующий луч проходит через зоны разреженного полога (промежутки между кронами). При изменении положения очага горения относительно проекций крон положение главного максимума меняется. Приближение очага горения к центру проекции кроны на поверхность земли (к стволу дерева) ведет к смещению данного «пика» в сторону малых углов и, как следствие, к уменьшению его высоты из-за удлинения среднего пути, проходимого излучением в неразреженном пологе. Положение малых «пиков», соответствующих прохождению излучения через более удаленные от пламени межкроновые промежутки, также зависит от взаимного расположения проекции кроны и очага горения, однако данные максимумы оказываются относительно слабо выраженными.

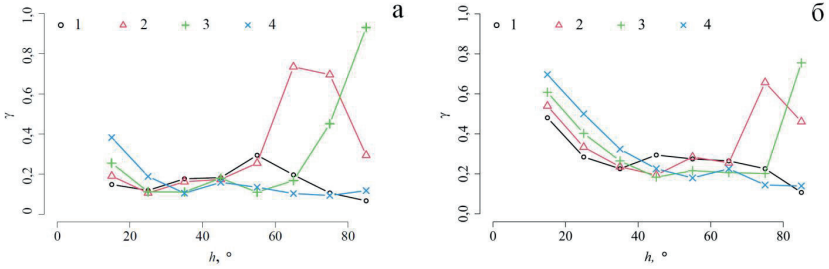


Рис. 4. Вид угловой зависимости γ = f(h) для Populus tremula по результатам экспериментов с использованием модели типов А (а) и Б (б), LAI = 2,5, при разных значениях смещения m источника относительно крон (1 – m = 0 м, 2 – m = 1,0 м, 3 – m = 2,0 м, 4 – m = 3,0 м)

При изменении формы кроны (удлинении в вертикальном направлении) максимумы коэффициента пропускания обнаруживаются на других углах, причем угловой диапазон, в границах которого данные максимумы ясно различимы, оказывается более узким. При заданных соотношениях размеров крон и расстояний между ними для модели типа А главный максимум детектируется на углах более 50°, для модели типа В – на углах более 70°. В последнем случае это практически полностью исключает использование наклонной съемки для поиска возгораний под густым пологом. Также стоит отметить, что малые «пики» при визировании сквозь вытянутые кроны выражены значительно слабее, чем при визировании сквозь кроны модели типа А.

Видовая принадлежность деревьев, как следует из результатов проведенных вычислительных экспериментов, оказывает небольшое влияние на вид рассматриваемых угловых зависимостей. Отмечается одинаковое расположение «пиков» при одной и той же геометрии визирования для полога, сформированного кронами березы, и полога, состоящего из крон осины. Выраженность максимумов для указанных пород различается в диапазоне малых углов, где, благодаря пересечению визирующим лучом большего по толщине растительного слоя, углы наклона листьев влияют на значения коэффициента пропускания в большей степени, чем промежутки между кронами. Для осины малые «пики» оказываются более четко различимы (коэффициент пропускания увеличивается в конкретном диапазоне в среднем на 27% по сравнению с соседними 10-градусными диапазонами углов, в противоположность случаю березы, где данное различие в среднем равно 19%).

При расположении очага горения под кронами небольшой группы деревьев (3–4 дерева в линию) именно малые углы визирования (до 20° для модели типа А и до 30° для модели типа В) позволяют со значительного расстояния детектировать пламя. Удлинение в вертикальном направлении эллипсовидных крон при сохранении заданного значения листового индекса обеспечивает более эффективное обнаружение за счет увеличения коэффициента пропускания при разрежении полога и истончении силуэта кроны вблизи поверхности земли (соответствующее увеличение γ в области малых углов ярко проявляется на графиках рис. 4, б).

На рис. 5 демонстрируется пример зависимости $\gamma = f(h)$ в полярной системе координат для случая визирования очага горения, смещенного относительно центра проекции кроны на 1,5 м (модель типа А).

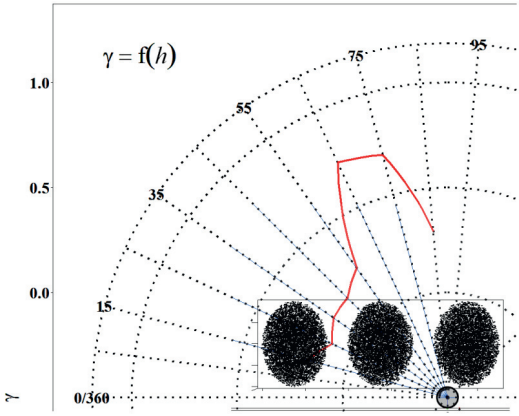


Рис. 5. Угловая зависимость $\gamma = f(h)$ по результатам экспериментов с использованием модели типа А, Populus tremula, LAI = 2,5 (серым цветом обозначен очаг горения)

Как видно из результатов моделирования, увеличение размера кроны в вертикальном направлении влияет на видимость расположенного на земле пламени таким же образом, как и увеличение сомкнутости крон [6]: уменьшается вероятность пересечения излучением разреженных областей полога. Т.е. при больших значениях листового индекса в геометрии наклонного зондирования обнаружение пламени через полог становится затруднительным. Возможность использования малых углов визирования (до 40°) появляется лишь при уменьшении листового индекса или изменении соотношения между размерами крон в разных направлениях и расстоянием между ними.

Для обеспечения возможности эффективного применения съемочной аппаратуры в условиях изменчивости характеристик лесного полога оптимальным решением видится использование широкоугольных объективов, позволяющих охватить широкий диапазон углов визирования. При этом, как отмечалось ранее в работе [6], результаты детектирования возгораний будут зависеть не только от особенностей геометрии визирования и свойств полога, но и от условий освещения поверхностей, окружающих детектируемый объект.

Заключение

В ходе исследования получены новые данные, которые могут быть использованы для принятия решений о выборе геометрии визирования и режимов функционирования аппаратуры, наиболее подходящих для конкретных условий съемки расположенных под пологом возгораний.

Трехмерные модели полога, созданные в рамках работы для двух древесных пород, пригодны для внедрения в другие виртуальные пространства и применения в экспериментах по симуляции распространения в пологе леса излучений, относящихся к разным диапазонам электромагнитного спектра. Также эти модели могут служить основой для оценки производных характеристик лесных экосистем, зависящих от количества попадающей на листовые пластинки и усваиваемой солнечной радиации.

Показанные результаты вычислительных экспериментов подтверждают предположение, что форма кроны является важным фактором, влияющим на количество достигающего сенсора излучения очага горения и, в конечном итоге, определяющим возможность обнаружения пламени при зондировании через полог.

Программный код, использованный при подготовке моделей и обработке данных, будет использован в сериях экспериментов, направленных на дальнейшее исследование связей между структурой лесного полога и эффективностью обнаружения находящихся под ним возгораний.

Библиографический список

1. Ambrosia V. G., Zajkowski T. Selection of appropriate class UAS/sensors to support fire monitoring: experiences in the United States // Handbook of Unmanned Aerial Vehicles. Springer, 2015. P. 2723-2754.

2. Sudhakar, S. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) based Forest Fire Detection and monitoring for reducing false alarms in forest-fires / S. Sudhakar, V. Vijayakumar, C. S. Kumar et al. // Computer Communications. 2020. Vol. 149. P. 1-16.

3. Yuan, C. UAV-based forest fire detection and tracking using image processing techniques / C. Yuan, Z. Liu, Y. Zhang //2015 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS). IEEE, 2015. P. 639-643.

4. Goel, N. S. Simple beta distribution representation of leaf orientation in vegetation canopies / N.S. Goel, D.E. Strebel //Agronomy Journal. 1984. Vol. 76. No. 5. P. 800-802.

5. Wang, W. M. Comparison of leaf angle distribution functions: Effects on extinction coefficient and fraction of sunlit foliage / W.M. Wang, Z.L. Li, H.B. Su //Agricultural and Forest Meteorology. 2007. Vol. 143. No. 1-2. P. 106-122.

6. Matelenok, I. V. Influence of the canopy structure of a birch forest on the visibility of the fires below / I.V. Matelenok, F.A. Alekseev, E.A. Evdokimova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. Vol. 677. No. 5. P. 052122.

7. R Core Team 2020. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. URL: https://www.R-project.org.

8. Adler, D. Rgl: A r-library for 3d visualization with opengl / D. Adler, O. Nenadic, W. Zucchini // Proceedings of the 35th Symposium of the Interface: Computing Science and Statistics, Salt Lake City. 2003. Vol. 35. P. 1-11.

9. Wang, T. Photosynthesis and canopy characteristics in genetically defined families of silver birch (Betula pendula) / T. Wang, P. M. A. Tigerstedt, A. Viherä-Aarnio // Tree Physiology. 1995. Vol. 15. No. 10. P. 665-671.

10. Is the spherical leaf inclination angle distribution a valid assumption for temperate and boreal broadleaf tree species? / J. Pisek, O. Sonnentag, A. D. Richardson, M. Mõttus, // Agricultural and Forest Meteorology. 2013. Vol. 169. P. 186-194.

УДК 658.562

Т. П. Мишура*
кандидат технических наук, доцент
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения

АНАЛИЗ СТАБИЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ МАССЫ СДОЗИРОВАННОГО СЫРЬЯ

Представлены результаты исследования стабильности процесса контроля массы сдозированного сырья – одного из этапов производства электродной, катодной и другой высокотехнологичной углеграфитовой продукции для машиностроительной, алюминиевой, ферросплавной, сталелитейной, химической и кремниевой отрасли. Подобный анализ является эффективным инструментом оценки качества выпускаемой продукции, совершенствования технологических процессов и внедрения автоматизированной системы управления технологическими процессами на производстве.
Ключевые слова: технологический процесс, воспроизводимость, пригодность.

T. P. Mishura*
PhD, Tech., Associate Professor
*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

ANALYSIS OF THE STABILITY OF THE PROCESS OF CONTROLLING THE MASS OF DOSED RAW MATERIALS

The article presents the results of a study of the stability of the process of controlling the mass of dosed raw materials – one of the stages of production of electrode, cathode and other high-tech carbon-graphite products for the machine-building, aluminum, ferroalloy, steel, chemical and silicon industries. Such an analysis is an effective tool for evaluating the quality of products, improving technological processes and implementing an automated process control system in production.
Keywords: technological process, reproducibility, suitability.

Введение

Управление предприятием, производством строится на получении достоверной информации о качественных показателях сырья и готовой продукции, о количестве сырья и его расходах. При получении недостаточно точной или не полной информации возрастает вероятность выпуска брака, что ведет к экономическим потерям. Оперативное выявление брака приводит к уменьшению затрат на производстве. Полный комплекс измерительных мероприятий в ходе технологического процесса изготовления продукции позволяет оценить стабильность, прослеживаемость основных и вспомогательных технологических операций в рамках производственного цикла, получить полную картину для анализа и возможности своевременного изменения технологии изготовления, ввода корректировок в процесс, обеспечить рациональность и правильность принимаемых решений на различных уровнях управления.

ГРУППА ЭПМ – российская ведущая компания, которая специализируется на выпуске углеграфитовой продукции. Направление деятельности компа-

нии – это производство электродной, катодной и другой высокотехнологичной углеграфитовой продукции для машиностроительной, алюминиевой, ферросплавной, сталелитейной, химической и кремниевой отрасли.

Весь технологический процесс производства готовой продукции включает контроль параметров на всех этапах [1], один из которых – контроль стабильности результатов измерения массы сырья, дозированного в сортировочную тележку. Это позволит определить степень устойчивости данного технологического процесса. Измерение и контроль осуществляется с использованием измерительной системы, состоящей из тензорезисторного датчик М50 и весоизмерительного преобразователя ТВ-003П. Результаты измерения представлены выборкой n=15 (табл. 1).

Таблица 1

Результаты измерений массы сдозированного сырья

№	Знач. x_i	Знач. R_i	№	Знач. x_i	Знач. R_i	№	Знач. x_i	Знач. R_i
1	1997,3	–	16	1997,6	1,10	31	1998,7	2,38
2	1997,1	0,14	17	1998,9	1,27	32	1998,0	0,77
3	1997,7	0,52	18	1997,1	1,82	33	1998,1	0,11
4	1998,1	0,44	19	1998,8	1,76	34	1997,5	0,61
5	1996,8	1,29	20	1997,8	0,97	35	1997,6	0,12
6	1998,3	1,47	21	1998,4	0,58	36	1996,9	0,72
7	1997,4	0,91	22	1997,1	1,35	37	1997,3	0,42
8	1996,7	0,66	23	1996,7	0,43	38	1999,9	2,62
9	1998,6	1,85	24	1999,5	2,84	39	1996,1	3,84
10	1998,7	0,18	25	1995,7	3,84	40	1997,4	1,32
11	1998,5	0,27	26	1999,4	3,74	41	1996,8	0,58
12	1999,5	1,02	27	1998,4	1,02	42	1996,2	0,63
13	1997,6	1,92	28	1996,4	2,02	43	1997,7	1,50
14	1996,6	1,02	29	1997,6	1,10	44	1996,7	0,99
15	1996,5	0,06	30	1998,9	1,27	45	1998,4	1,74

Оценим основные параметры данного процесса.

Среднее значение для выборки будет равно

$$CL_{\bar{X}} = \bar{X} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i = 1997,727.$$

Среднее значение скользящего размаха будет равно $CL_{\bar{R}} = 1{,}257$.

Рассчитаем верхнюю ($UCL_{\bar{X}}$) и нижнюю ($LCL_{\bar{X}}$) контрольные границы индивидуальных значений для карты Шугарта:

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{X} + \mathrm{A}_2 \cdot CL_{\bar{R}} = 1997,727 + 2,660 * 1,257 = 2001,069,$$

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{X} - \mathrm{A}_2 \cdot CL_{\bar{R}} = 997,727 - 2,660 * 1,257 = 1994,384,$$

где A_2= 2,660 – коэффициент, зависящий от объема выборки *n* [2].

Рассчитаем верхнюю $UCL_{\bar{R}}$ и нижнюю $LCL_{\bar{R}}$ контрольные границы для карты скользящих размахов:

$$UCL_{\bar{R}} = D_4 \cdot \bar{R}, UCL_{\bar{R}} = 1{,}257 \cdot 3{,}267 = 4{,}105, \quad LCL_{\bar{R}} = D_3 \cdot \bar{R}, LCL_{\bar{R}} = 1{,}257 * 0 = 0,$$

где D_4=3,267, D_3=3,267 – коэффициенты, зависящие от выборки *n* [2].

Допустимые границы контрольной карты в соответствие с нормами на измеряемый параметр будут равны:

- верхняя допустимая граница USL=2000;
- нижняя допустимая граница LSL=1995.

Построим контрольные карты индивидуальных значений (рис. 1, 2).

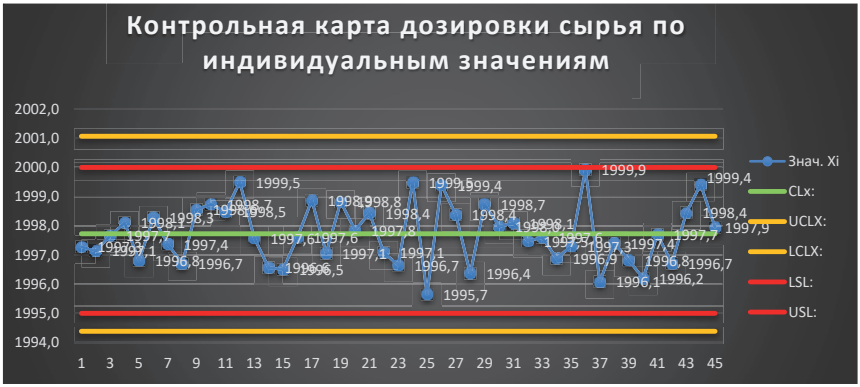


Рис. 1. Карта Шухарта процесса измерения массы сдозированного сырья

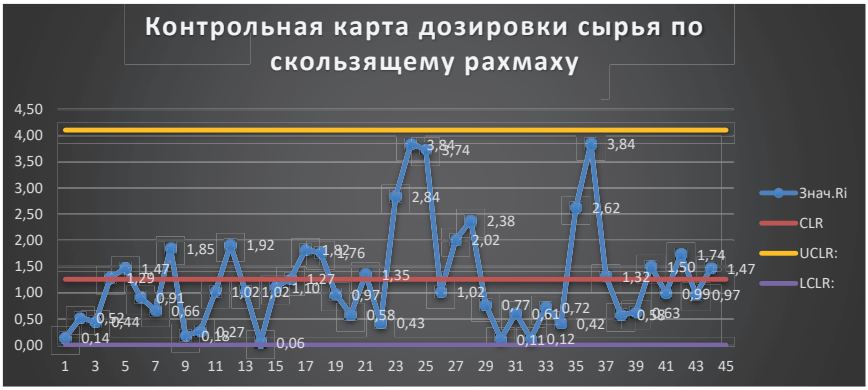


Рис. 2. Карта Шухарта скользящих размахов

Проанализировав карты в соответствие с критериями [3], можно сделать вывод о стабильности процесса контроля массы сдозированного сырья.

Для дальнейшего анализа устойчивости процесса рассчитаем стандартное отклонение процесса $\hat{\sigma}$, индексы воспроизводимости C_p и пригодности P_p.

$$\hat{\sigma} = \frac{\overline{R}}{d_2} = \frac{1,257}{1,128} = 1,11,$$

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6 \cdot \hat{\sigma}} = \frac{2000 - 1995}{6 * 1,11} = 0,75,$$

где $\overline{R}$ – среднее значение скользящих размахов, а d_2 – коэффициент контрольной карты для оценки стандартного отклонения процесса [3, с. 22].

Находим меньший индекс воспроизводимости процесса. Для двухстороннего допуска C_{pk} должен быть всегда меньше, чем C_p.

$$C_{pk} = \min\left(\frac{USL - \overline{X}}{3\hat{\sigma}_I}, \frac{\overline{X} - LSL}{3\hat{\sigma}_I}\right) = \min\left(\frac{2000 - 1997,727}{3 \cdot 1,11}, \frac{1997,727 - 1995}{3 \cdot 1,11}\right) = 0,68.$$

Условие стабильности процесса ($C_{pk}<C_p(0,68 < 0,73)$) выполняется.

Производим расчет стандартного отклонения $\hat{\sigma}_t$, индекс пригодности процесса P_p и наименьшего индекса пригодности процесса

$$\hat{\sigma}_t = \sqrt{\frac{\left(x_i - \overline{X}\right)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\left(x_i - 1997,727\right)^2}{45-1}} = 1,02,$$

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}_T} = \frac{2000 - 1995}{6\hat{\sigma}_T} = 0,81,$$

$$P_{pk} = \min\left(\frac{2000 - 1997,727}{3 \cdot 1,02}, \frac{1997,727 - 1995}{3 \cdot 1,02}\right) = 0,74.$$

Сравнительный анализ рассчитанных параметров позволяет считать, что предложенная выборка соответствует требованиям заказчика, а процесс массы сдозированного сырья статистически контролируем. Однако, значения индексов воспроизводимости и пригодности процесса малы. Это означает высокую вероятность выхода значений за допустимые границы с течением времени. В качестве рекомендации предлагается сузить границы разброса значений, а также расширить границы контроля.

В заключение следует отметить, что единый подход к процедурам измерений позволяет [5] не только проводить анализ производственных процессов и качества выпускаемой продукции, но и обеспечивает гарантии стандартизации и унификации средств, методов измерений, требований к испытаниям продукции для создания благоприятных условий торговли и взаимодействия в научной отрасли на международном уровне.

Библиографический список

1. Рошка Д.С. Мишура Т.П. Анализ стабильности технологического процесса производства электродной продукции // Сборник трудов по материалам всероссийского конкурса научно-исследовательских работ «Инновации в науке и практике» (30 марта 2021г., г. УФА). УФА: Изд. НИЦ Вестник науки, 2021.

2. ГОСТ Р ИСО 7870-2-2015. Статистические методы. Контрольные карты. Часть 2. Контрольные карты Шухарта. Введен в действие 01.12.2016. М.: Стандартинформ, 2019. 41 с.

3. ГОСТ Р 50779.46-2012/ISO/TR 22514-4:2007 Статистические методы. Управление процессами. Часть 4. Оценка показателей воспроизводимости и пригодности процесса. Введен в действие 29.09.2012. М.: Стандартинформ, 2014. 42 с.

4. РМГ 64-2003 ГСИ. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Методы и способы повышения точности измерений. Введен в действие 01.01.2005. М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. 17 с.

5. РМГ 64-2003 ГСИ. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Методы и способы повышения точности измерений. Введен в действие 01.01.2005. М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. 17 с.

УДК 658.562

Т. П. Мишура*
кандидат технических наук, доцент
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОДНОЙ ПРОДУКЦИИ

Представлены результаты метрологической экспертизы метрологического обеспечения производства высокотехнологичной электродной продукции. Рассчитаны допустимые погрешности средств измерений, используемых на всех технологических этапах производства. Даны рекомендации для проведения корректирующих мероприятий целью повышения качества выпускаемой продукции.
Ключевые слова: технологический процесс, средство измерений, погрешность.

T. P. Mishura*
PhD, Tech., Associate Professor
*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

STUDY OF THE METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF MEASURING EQUIPMENT IN THE MANUFACTURE OF ELECTRODE PRODUCTS

The results of the metrological examination of the metrological support of the production of high-tech electrode products are presented. The permissible errors of measuring instruments used at all technological stages of production have been calculated. Recommendations are given for corrective measures to improve the quality of products.
Keywords: technological process, measuring instrument, error.

Введение

Выбирая средства измерения для контроля технологического процесса нельзя не учитывать экономических и метрологических показателей. Для корректного ведения процесса необходимо подбирать средство измерения (СИ) достаточно высокой точности по сравнению с требуемой точностью к измерению одного или нескольких контролируемых параметров. Ошибочный выбор СИ приводит к ошибкам при контроле качества выпускаемой продукции, что в свою очередь повышает затраты на лишние операции для выполнения заложенных при планировании объемов выпуска [1]. В эти затраты входит потребляемая энергия, затраты на оплату труда персоналу, затраты на израсходованное сырье.

Проведем оценку правильности подбора СИ для технологического процесса на заводе при изготовлении электродной продукции. Для этого необходимо провести метрологическую экспертизу используемых СИ по точности, тем самым, оценить погрешность измерения, и установить оптимальные контролируемые параметры технологического процесса (таблица 1). Поскольку весь производственный процесс состоит из одиннадцати технологических опе-

раций при расчете основной предельно допустимой погрешности измерительного оборудования каждой из операций необходимо определить предел суммарной допускаемой погрешности для всех используемых в операции СИ [3, 4].

1. Оценка погрешности измерительного оборудования по расходу сырья.

Для контроля расхода сырья из сортовых бункеров используется расходомер сыпучих материалов MaxxFlow. Абсолютная погрешность расходомера, согласно его нормативной документации, составляет Δ=0,6 кг. Оценим правильность выбора при установленном нормативном значении расхода на 1 замес айриха 690±10 кг. Соответственно диапазон допустимых значений равен *Д*= (680-700) =20 кг.

Таблица 1

Состав СИ для контроля технологических процессов

Параметр	Ед. измерения	Допустимые знач.	СИ	Класс точн.	Диапазон	Межповерочный интервал
Расход сырья	Кг	680-700	Расходомер сыпучих материалов MaxxFlow	0,1	От 20 до 6000	4 года
Масса сырья	Кг	1955 – 2000	Весоизмерительный преобразователь ТВ-003П	0,02	От 0 до 3000	1 год
			Тензорезисторный датчик М50	0,04	От 0 до 3000	1 год
Давление прессования	кгс/см^2	45-65	Метакон 515 (микропроцессор)	0,1	От 0 до 400	2 года
			Метран 55 (Датчик)	0,25	От 0 до 160	3 года
Давление подпрессовки	кгс/см^2	170-200	Метакон 515 (микропроцессор)	0,1	От 0 до 400	2 года
			Сапфин 22 МТ	0,5	От 102 до 1020	3 года
Температура калибрующей зо-	°С	121-	Метакон 515 (микропро-	0,1	От -100 до	2 года

Параметр	Ед. измерения	Допустимые знач.	СИ	Класс точн.	Диапазон	Межповерочный интервал
ны мундштука		135	цессор)		+1300	
			Датчики температуры КТХА	0,1	От – 40 до +1300	5 лет
Температура контейнера	°С	121-135	Метакон 532	0,1	От -100 до +1300	2 года
			Датчики температуры КТХА	0,1	От – 40 до +1300	5 лет
Температура пятака плунжера	°С	115-135	Метакон 532	0,1	От -100 до +1300	2 года
			Датчики температуры КТХА	0,1	От – 40 до +1300	5 лет
Температура массы по окончанию смешивания	°С	165-175	Метакон 532	0,1	От -100 до +1300	2 года
			Датчики температуры КТХА	0,1	От – 40 до +1300	5 лет
Температура массы по окончанию охлаждения	°С	118-124	Метакон 532	0,1	От -100 до +1300	2 года
			Датчики температуры КТХК	0,1	От – 40 до +1300	5 лет
Температура слива пека	°С	195-225	Метакон 532	0,1	От -100 до +1300	2 года
			Датчики температуры КТХА	0,1	От – 40 до +1300	5 лет
Вес полуфабриката	Кг	570 – 600	Платформенные весы ВП-3000	0,03	От 20 до – 3000	1 год

Оценим выбранное СИ по точности для использования при контроле параметра в данном диапазоне [3]. Основная предельно допустимая погрешность измерительного комплекса:

$$\Delta_{\sum} = K * \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \Delta_i^2}, \qquad (1)$$

где n – количество СИ в данном технологическом процессе; K – коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью (при Р=0,95 K=1,1).

Измерительный прибор по точности выбран верно, если выполняется условие

$$\Delta_{\sum} \le \frac{1}{3} Д. \qquad (2)$$

$$0,6 \le \frac{1}{3} * 20.$$

Условие (2) выполнено, СИ выбрано верно.

2. Для контроля массы сырья в сортировочной тележке используется весоизмерительный преобразователь ТВ-003П и тензорезисторный датчик М50.

Абсолютная погрешность весоизмерительного преобразователя ТВ-003П $\Delta_{пр}$=0,6 кг, тензорезисторного датчика М50:

$$\Delta_{M50} = \frac{Кл.\text{Т} * \text{Пред.шкалы}}{100} = \frac{0,04 * 3000}{100} = 1,2 кг.$$

Суммарная предельно допустимая погрешность измерительной системы (1) по измерению массы в сортировочной тележке:

$$\Delta_{\sum} = 1,1 * \sqrt{(0,6^2 + 1,2^2)} = 1,48 кг.$$

Д=(2095–2100)=5 кг. Измерительная система по точности выбрана верно, так как выполняется условие (2):

$$1,48 \le \frac{1}{3} * 5.$$

3. Оценка погрешности измерительного оборудования по измерению давления прессования.

Абсолютная погрешность датчика давления Метран 55:

$$\Delta_{M55} = \frac{Кл.\text{Т} * \text{Пред.шкалы}}{100} = \frac{0,25 * 160}{100} = 0,4 кг.$$

Абсолютная погрешность микропроцессорного измерителя Метакон 515:

$$\Delta_{M515} = \frac{Кл.\text{Т} * \text{Пред.шкалы}}{100} = \frac{0,1 * 400}{100} = 0,4\, кг/см^2.$$

Суммарная предельно допустимая погрешность измерительной системы (1):

$$\Delta_{\sum} = 1,1 * \sqrt{(0,4^2 + 0,4^2)} = 0,6\, кг/см^2.$$

Д=(46–65)=19 кг/см^2. Измерительная система по точности выбрана верно, так как выполняется условие (2):

$$0,6 \le \frac{1}{3} * 19.$$

4. Оценка погрешности измерительного оборудования по измерению давления под прессовки

Абсолютная погрешность преобразователя давления Сапфин 22 МТ:

$$\Delta_c = \frac{Кл.Т * Пред.шкалы}{100} = \frac{0,5 * 1020}{100} = 5,1 кг/см^2.$$

Абсолютная погрешность Метакон 515:

$$\Delta_{M515} = 0,4 кг/см^2.$$

Суммарная предельно допустимая погрешность измерительной системы (1):

$$\Delta_{\sum} = 1,1 * \sqrt{(5,1^2 + 0,4^2)} = 5,63 кг/см^2.$$

Д=(170–200)=30 кг/см^2. Измерительная система по точности выбрана верно, так как выполняется условие (2):

$$5,63 \le \frac{1}{3} * 30.$$

5. Оценка погрешности измерительного оборудования по измерению температуры калибрующей зоны мундштука.

Абсолютная погрешность датчика температуры КТХА (кабельный термопреобразователь градуировки хромель-алюмель), установленная паспортом на измерительный прибор, равна $\Delta_{пр}$=1,2 С^0. Предел абсолютной погрешности выбран из таблицы для датчиков с преобразователем выходного сигнала. Погрешность включает в себя погрешность первичного и измерительного преобразователя, а также погрешность температуры холодных спаев, вызванной автоматической компенсацией.

Абсолютная погрешность микропроцессорного измерителя Метакон 515 при работе с термопреобразователем типа ТХА:

$$\Delta_{M515} = 0,4 кг/см^2.$$

Суммарная предельно допустимая погрешность измерительной системы (1) по измерению температуры:

$$\Delta_{\sum} = 1,1 * \sqrt{(1,4^2 + 1,2^2)} = 2,03 C^0. \quad (3)$$

Д=(121–135)=14 С^o. Измерительная система по точности выбрана верно, так как выполняется условие (2):

$$2,0 \le \frac{1}{3} * 14.$$

6. Оценка погрешности измерительного оборудования по измерению температуры контейнера пресса.

Абсолютная погрешность датчика температуры КТХА равна $\Delta_{пр}$=1,2 С^0.

Абсолютная погрешность Метакон 532 (микропроцессорный измеритель) при работе с термопреобразователем типа ТХА:

$$\Delta_{M532} = \frac{Кл.\text{Т} * \text{Пред.шкалы}}{100} = \frac{0,1 * 1400}{100} = 1,4C^0.$$

Суммарная предельно допустимая погрешность измерительной системы (1) по измерению температуры равна 2,03 (3). *Д*=(121–135)=14 C^0. Измерительная система по точности выбрана верно, так как выполняется условие (2):

$$2,03 \le \frac{1}{3} * 14.$$

7. Оценка погрешности измерительного оборудования по измерению температуры пятака плунжера.

Абсолютная погрешность датчика температуры КТХА (кабельный термопреобразователь градуировки хромель-алюмель) установленная паспортом на измерительный прибор равна $\Delta_{пр}$=1,2 C^0. Абсолютная погрешность Метакон 532 (микропроцессорный измеритель) при работе с термопреобразователем типа ТХА $\Delta_{пр}$=1,4 C^0.

Суммарная предельно допустимая погрешность измерительной системы равна 2,03 согласно (1). *Д*=(115–125)=10 C^0. Измерительная система по точности выбрана верно, так как выполняется условие (2):

$$2,03 \le \frac{1}{3} * 10.$$

8. Оценка погрешности измерительного оборудования по измерению температура массы по окончанию смешивания.

Абсолютная погрешность датчика температуры равна $\Delta_{пр}$=1,2 C^0.Абсолютная погрешность Метакон 532 равна $\Delta_{пр}$=1,4 C^0. Суммарная предельно допустимая погрешность измерительной системы по измерению температуры массы по окончании смешивания равна 2,03^0 (3). *Д*=(165–175)=10 C^0. Измерительная система по точности выбрана верно, так как выполняется условие (2):

$$2,03 \le \frac{1}{3} * 10.$$

9. Оценка погрешности измерительного оборудования по измерению температура массы по окончанию охлаждения.

Абсолютная погрешность датчика температуры КТХА равна $\Delta_{пр}$=1,2 C^0. Абсолютная погрешность Метакон $\Delta_{пр}$=1,4 C^0. Суммарная предельно допустимая погрешность измерительной системы по измерению температуры массы по окончанию охлаждения равна 2,03^0 согласно (3). *Д*=(118–124) =6 C^0. Измерительная система по точности выбрана не верно, так как условие (2) не выполняется:

$$\frac{1}{3} * 6 \le 2,03.$$

Рекомендуется использовать более точные измерительные приборы или расширить границы допуска.

10. Оценка погрешности измерительного оборудования по измерению температура слива пека.

Абсолютная погрешность датчика температуры равна $\Delta_{\text{Терм}} = 1{,}2\ C^{o}$. Абсолютная погрешность Метакон 532 $\Delta_{пр}$=1,4 C^{0}. Суммарная предельно допустимая погрешность измерительной системы по измерению температуры слива пека равна 2,03 согласно (3). *Д*=(195-225)=30^{0}. Измерительная система по точности выбрана верно, так как выполняется условие (2):

$$2{,}03 \le \frac{1}{3} * 30.$$

11. Оценка погрешности измерительного оборудования по измерению веса полуфабриката.

Для контроля веса полуфабриката после отпрессовки используются платформенные весы ВП-3000. Абсолютная погрешность их, согласно нормативной документации, составляет Δ=1кг. Установленные допустимые значения на вес одного полуфабриката составляют 585±15 кг. *Д*=(570-600)=30 кг. Измерительный прибор по точности выбран верно, так как выполняется условие (2):

$$1 \le \frac{1}{3} * 30.$$

Возможно рекомендовать для использования оборудование более низкого класса точности или сузить границы допуска.

Проведенные расчеты и анализ полученных результатов показал, что необходимо внести корректирующие мероприятия в метрологическое обеспечение технологических процессов данного производства, а именно, подобрать класс точности СИ с учетом рекомендаций для операций 9 и 11.

Библиографический список

1. Рошка Д.С. Мишура Т.П. Анализ стабильности технологического процесса производства электродной продукции // Сборник трудов по материалам всероссийского конкурса научно-исследовательских работ «Инновации в науке и практике» (30 марта 2021г., г. УФА). УФА: Изд. НИЦ Вестник науки, 2021.

2. РМГ 63-2003 ГСИ. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Метрологическая экспертиза технической документации. Введен впервые. М.: Издательство стандартов, 2004. 16 с.

3. РМГ 62-2003 «Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Оценивание погрешности измерений при ограниченной исходной информации». Введен впервые. М.: Стандартинформ, 2008. 18 с.

4. ГОСТ Р 8.736-2011 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ) [. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. Введен в действие 01.01.2013. М.: Стандартинформ, 2019. 19 с.

УДК 654.16

О. В. Опалихина*
кандидат технических наук, доцент
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения

ДИСКРЕТНАЯ МОДЕЛЬ КОРРЕКТИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

В статье рассматривается дискретная модель корректирующей системы, с помощью которой можно обнаружить одиночные ошибки, возникающие при считывании данных, поступающих с датчика угла поворота роторного устройства. Для минимизации ошибок, которые могут появиться при преобразовании данных об угле поворота в цифровой код, при кодировании используется девятиразрядный помехозащищенный код Фрэнка Грея. Для обнаружения одиночных ошибок, которые могут возникнуть при наличии шумов в передающем канале, к передаваемой кодовой комбинации добавляется проверочный бит. Поступающая на вход компьютера информация преобразуется в двоичный код для ее дальнейшей обработки и хранения в файловой системе. Предлагается алгоритм комбинированного кодирования информации, позволяющий минимизировать ошибки. В основу алгоритма положена логическая операция суммы по модулю 2. Для исследования корректирующих свойств помехозащищенного кода Фрэнка Грея используется система перезаписи. Функции кодирующего и декодирующего устройств имитирует клеточный автомат, генерирующий последовательность бинарных кодовых комбинаций по заданным системой перезаписи правилам. Моделирование корректирующей системы проводится в компьютерной среде Wolfram Mathematica.
Ключевые слова: дискретная модель, система перезаписи, клеточный автомат, сумма по модулю 2, растояние Хэмминга.

O. V. Opalikhina*
PhD, Tech., Associate Professor
*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

DISCRETE MODEL OF CORRECTIVE SYSTEM

The article deals with the discrete model of the corrective system, which can detect single errors that occur when reading data coming from the rotary device angle sensor. To minimize errors that may occur when converting turn angle data into digital code an 9-bit protected Frank Gray code using is proposed when the coding is in process. A test bit is added to the code combination to detect single errors that may occur when there is noise in the transmitting channel. The information that comes to the computer input is converted into binary code for further processing and storage in the file system. To minimize errors an algorithm for combined information coding is proposed. The algorithm is based on the logical operation containing the sum module 2. To investigate the corrective properties of the protected Frank Gray code, we use the rewrite system. To simulate the functions of encoding and decoding devices we use the cellular automaton that generates a sequence of binary code combinations according to the rules set by the rewrite system. A corrective system is modeled in the Wolfram Mathematica computer environment.
Keywords: discrete model, rewrite system, cellular automaton, sum module 2, Hemming's distance.

Введение

Вопросами достоверной передачи данных при наличии шумов в передающем канале занимались Клод Шеннон, Ричард Хэмминг, Фрэнк Грей [1–3].

Код Фрэнка Грея используется в оптических датчиках угла поворота (абсолютный энкодер SJ50-J, EP50S, E6C2-AG5C-C). В таких устройствах преобразование измеряемого параметра в цифровой код происходит сразу. Количество отличающихся битов данных (расстояние Хэмминга) кода Фрэнка Грея равно единице, что позволяет минимизировать ошибки при записи данных об угле поворота при переходе от нулевого до максимального значения. Оптические датчики угла поворота имеют цифровой выход. Выпускаются устройства с различными вариантами выходного кода: двоично-десятичным, двоичным и кодом Фрэнка Грея. Помехозащищенный код Фрэнка Грея используется также для формирования сигналов обратной связи систем автоматического управления, в цифровом телевидении при перекодировке модуляционных символов [4]. Код Фрэнка Грея – невзвешенный. В таком коде ошибки, вызываемые шумами при передаче информационного сигнала, одинаковые для любого разряда. Поэтому при передаче данных по каналу связи невзвешенный код предпочтительнее взвешенного. Недостаток кода – усложнение арифметических операций.

Предлагается алгоритм моделирования дискретной корректирующей системы, в которой используется при кодировании данных девятиразрядный код Фрэнка Грея. Моделирование выполняется в компьютерной среде Wolfram Mathematica. Поскольку непрерывная модель при исследовании физических процессов дискретного характера дает приближенные значения, для моделирования такой системы используется бинарная дискретная модель – клеточный автомат [5-9].

Генерирование плана для определенного правила

Для преобразования двоичного кода в код Фрэнка Грея и преобразования кода Фрэнка Грея обратно в двоичный код генерируется план перезаписи:

```
In[]:=
RulePlot[SubstitutionSystem[{{1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0}
 →{1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0}}], Appearance → "Arrow",
 ColorRules →{1 → Red, 0 → Blue}]
RulePlot[SubstitutionSystem[{{1,1,1,1,0,0,0,0,0}→{1,0,1,0,0,0,0,0,0}}],Appe
arance→"Arrow",ColorRules→
{1→Red,0→Blue}]
```

Правила перезаписи показаны на рис. 1. Красным цветом окрашена «1», голубым – «0». В данном случае записывается одно из максимальных значений датчика угла поворота, равное 320°. Для записи этого числа требуется 9 разрядов. При переводе двоичного кода в код Грея используется логическая операция суммы по модулю 2 (⊕ (Xor)). После перезаписи любые две соседние кодовые комбинации отличаются друг от друга на один бит. Данное свойство кода дает возможность использовать его в качестве корректирующего. Запишем алгоритм. 1. Зададим последовательности битов: {a1,b1,c1,d1,e1,f1,g1,h1,i1} – двоичный код, {a2,b2,c2,d2,e2,f2,g2,h2,i2} – код Фрэнка Грея. 2. Применим логическую операцию Xor:

{a2= Xor [0,a1],b2= Xor [a1,b1],c2= Xor [b1,c1],d2= Xor [c1,d1], e2=Xor [d1,e1],f2= Xor [e1,f1],g2= Xor [f1,g1], h2= Xor [g1,h1], i2= Xor [h1,i1]}.

In[]:=b[1] = Xor[0, a[1]]
Do[Print[b[i] = Xor[a[i – 1], a[i]]], {i, 2, 9}]
Проверка:
In[]:=Xor[1∗(2^9−1)−1∗(2^8−1)+1∗(2^7−1)−1∗(2^6−1)+0∗(2^5−1)−0∗(2^4−1)+0∗(2^3−1)−0∗(2^2−1)+0∗(2^1−1)]
Out[ ]= 320

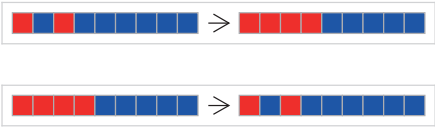


Рис. 1. Правила перезаписи

Моделирование последовательности битов

Свяжем генерацию кодовой последовательности с эволюцией клеточного автомата. Достоинством клеточного автомата является то, что такая структура может быть самовоспроизводящейся. Для имитации измеряемых величин зададим случайную выборку битов. Применим к ней логическую операцию суммы по модулю 2 [9]:

$$y_i^{t+1} = y_{i-1}^t \oplus y_i^t \oplus y_{i+1}^t, \qquad (1)$$

где $y^{t+1}{}_i$ – состояние i-й клетки в последующий момент времени t+1; $y^t{}_{i-1}$ – состояние i−1-й клетки в текущий момент времени t; $y^t{}_i$ – состояние i-й клетки в текущий момент времени t; $y^t{}_{i+1}$ – состояние i+1 клетки в текущий момент времени t. Используя правило (1), сформируем 9 шагов клеточного автомата:

In[]:=
u = RandomSample[Boole[CellularAutomaton[{Xor @@ # &, {}}, {{True}, False}, 9]]]
ArrayPlot[u, ColorRules → {1 →Red, 0 → Blue}]
Out[]=

{{0, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 0, 0},
{0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0},
{0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
{0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0},
{0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
{0, 0, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0},
{0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0},
{1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1},
{0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
{0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0}}

Эволюция клеточного автомата показана на рис. 2. Красный цвет соответствует живому состоянию клетки («1»), голубой – мертвому («0»). Каждая клетка имеет два соседа.

Для сдвига битов вправо на один шаг запишем:

```
In[ ]:=
u=RandomSample[Boole[CellularAutomaton[{Xor@@#&,        BitShiftRight[{}]},
{{True}, False}, 10]]]
ArrayPlot[u, ColorRules → {1 → Red, 0 → Blue}]
```

Эволюция клеточного автомата при сдвиге битов вправо показана на рис. 3

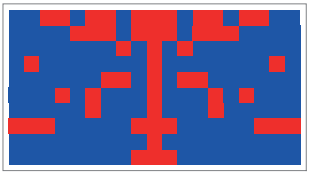


Рис. 2. Эволюция клеточного автомата

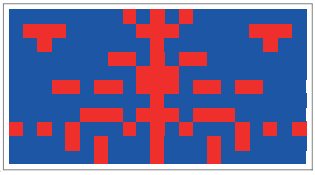


Рис. 3. Эволюция клеточного автомата (сдвиг битов вправо)

В зависимости от разрядности кода можно использовать один из 256 вариантов элементарных клеточных автоматов. Стивен Вольфрам назвал их числами от 0 до 255 [6]. При расчете фрактальной размерности за единичный отрезок элементарного куба выбираем расстояние Хэмминга, равное единице для кода Фрэнка Грея. Расстояние Хэмминга служит метрикой для векторов **X** и **Y** кодовых последовательностей, длина которых одинакова. Векторное пространство $\mathbf{V}^n$ упорядоченных n последовательностей действительных чисел имеет размерность $\dim\mathbf{V}^n=n$. Рассматривая евклидово векторное пространство, используем неравенство треугольника

$$\|\mathbf{X}+\mathbf{Y}\|\leq\|\mathbf{X}\|+\|\mathbf{Y}\|. \qquad (2)$$

С учетом неравенства (2) для расстояния Хэмминга справедливо неравенство

$$\mathrm{Dim}(\mathbf{X},\mathbf{Y})\leq n,$$

где n – длина кодовой комбинации (длина векторов **X** и **Y**).

Случайную кодовую последовательность можно представить дискретным случайным вектором. Обозначим число реализаций кодовой последовательности X_i. Функция вероятностей такого вектора может быть записана следующим образом

$$p_{i_1 i_2 \ldots i_k}=\mathbf{P}(X_1=i_1,X_2=i_2,\ldots,X_k=i_k)=\frac{n!}{i_1!\ldots i_k!}p_1^{i_1}\ldots p_k^{i_k},$$
$$i_1+i_2+\ldots+i_n=n. \qquad (3)$$

Для реализации выражения (3) в компьютерной среде Wolfram Mathematica используется команда RandomSample (случайная выборка).

При передаче данных могут возникнуть ошибки, вызванные шумами [10]. В этом случае к передаваемым кодовым комбинациям следует добавить прове-

рочный бит. Для имитации зашумленного сигнала запишем следующий программный код:

```
mes1 = u = RandomSample[Boole[CellularAutomaton[{Xor @@ # &, BitShiftRight[{}]}, {{True}, False}, 40]]]
mes2 = ArrayPlot[u, ColorRules →{1→ Red, 0 →Blue}]
mes3 = ImageConvolve[mes2, GaussianMatrix[10]]
mes4 = ImageConvolve[mes2, GaussianMatrix[40]]
key = GenerateSymmetricKey[]
Encrypt[%,{mes3, mes4}]
Decrypt[%%, %]
In[ ]:=
key = GenerateSymmetricKey[]
mes = Encrypt[%, {GeoGraphics[GeoMarker[], GeoRange → Quantity[1,"Miles"]], GeoNearest[Entity["Country"], Here]}]
Decrypt[%%, %]
```

Результаты моделирования показаны на рис. 4. На рис. 5 приведены искаженные шумами данные геолокации, которые принималась без корректирующего кода. Полностью загруженные плитки геолокации иллюстрирует рис. 6.

Для записи угла поворота использовался абсолютный энкодер типа EP50S с кодом Фрэнка Грея. Записанные в текстовый файл abcolut.txt данные импортировались в программу Wolfram Mathematica (рис. 7):

```
In[ ]:= Import["C:/Users/Ольга/Desktop/Python/abcolut.txt"]
```

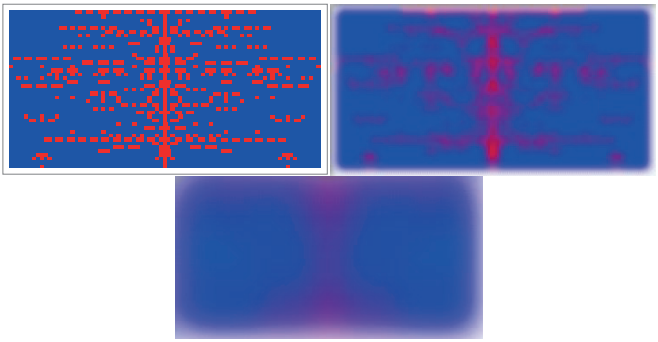


Рис. 4. Моделирование зашумленной дискретной структуры

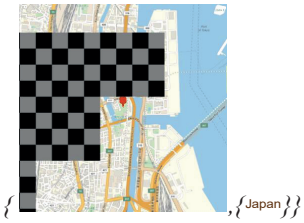
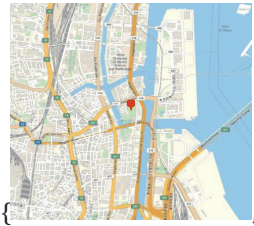


Рис. 5. Часть плиток геолокации не загружена



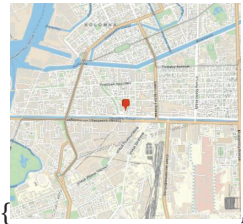


Рис. 6. Загружены все плитки геолокации

Out[]=

Время	Угол поворота, град, мин, сек
28/01/21	301°54´18´´
28/01/21	309°00´54´
28/01/21	318°27´54´´
28/01/21	320°51´00´´
28/01/21	000°51´18´´
28/01/21	005°18´36´´
28/01/21	012°06´18´´

Рис. 7. Обработка результатов измерений

Заключение

Моделирование в компьютерной среде Wolfram Mathematica показало, что клеточный автомат можно использовать для имитации корректирующей системы. Анализ результатов измерений и моделирования позволяет сделать вывод, что при генерации кодовой последовательности Фрэнка Грея с помощью клеточного автомата достоверные результаты получаются с целыми числами. Предлагаемый алгоритм моделирования дает возможность исследовать изменение углового положения роторной системы при получении зашумленных данных.

Библиографический список

1. C. Shannon, “A mathematical theory of communication,” Bell. System Techn. Short Hills. Vol. 27. pp. 379–423, 623–656, July, October, 1948.

2. Richard W. Hamming, Coding and information theory. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1986. p. 272.

3. Robert W. Doran, “The Gray Code,” Journal of Universal Computer Science. San Luis Obispo.CA. Vol. 13. P. 1573-1597, November,2007.

4. Marian K. Kazimierczuk, RF Power Amplifiers. New York: Wiley, 2015. P. 686.

5. T. Toffoli, “Cellular Automata as an Alternative to (Rather than an Approximation of) Differential Equations in M,” Physica D:Nonlinear Phenomena. Vol. 10. P. 117-127, January, 1984.

6. S Wolfram, A New Kind of Science. Champaign: Wolfram Media Inc, 2002. P. 1197.

7. S Wolfram, An elementary introduction to the Wolfram Language. Second Edition. Champaign: Wolfram Media Inc, 2017. p. 340.

8. Опалихина О. В. Применение метода подвижных клеточных автоматов при исследовании динамических систем // Актуальные проблемы преподавания математики в техническом ВУЗе, Материалы X Всероссийской научно-методической конференции. ОмГТУ, № 8. С. 204-209, Октябрь 2020. Омск, С. 281, 2020.

9. Опалихина О.В. Моделирование дискретной клеточной системы // Метрологическое обеспечение инновационных технологий: III Международный форум, СПб.: ГУАП, С. 260-263, Март 2021. Сборник статей III Международного форума, Санкт-Петербург, С.465, 2021.

10. Р. Морелос-Сарагоса, Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение. М.:Техносфера, 2005. С. 319.

УДК 658.5.011

Е. Г. Семенова*
доктор технических наук, профессор
Я. А. Ивакин*
доктор технических наук, профессор
А. Г. Ручьев**
М. С. Смирнова*
кандидат технических наук, доцент
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения
** АО «Проектный институт № 1»

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ КВАЛИМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА БАЗЕ ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКОГО ТРЕКИНГА

Геохронологический трекинг получил широкое признание как соответствующий научно-методический инструментарий и эффективная информационная технология квалиметрических исследований в интересах обеспечения качества транспортных услуг, результативности перевозок, анализа фактов недостаточного удовлетворения потребностей населения пространствено удаленными услугами, сервисами и пр. В статье поставлена задача анализа статистической устойчивости и обоснование необходимости выработки алгоритма оценки зависимости результатов квалиметрического исследования на основе геохронологического трекинга от достаточности учтенных исходных данных о перемещениях объектов иследования.
Ключевые слова: квалиметрические исследования, географические информационные системы, ГИС-технологии для квалиметрических исследований.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №19-07-00006).

E. G. Semenova*
Dr. Sc., Tech., Professor
Ya. A. Ivakin*
Dr. Sc., Tech., Professor
A. G. Ruchev**
M. S. Smirnova*
PhD, Tech., Associate Professor
*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
**SC «Design Institute No. 1»

STATEMENT OF THE PROBLEM OF ENSURING THE STATISTICAL STABILITY OF QUALIMETRIC STUDIES BASED ON GEOCHRONOLOGICAL TRACKING

Geochronological tracking has gained wide recognition as an appropriate scientific and methodological toolkit and an effective information technology of qualimetric research in the interests of ensuring the quality of transport services, transportation efficiency, analysis of the facts of insufficient satisfaction of the needs of the population with spatially remote services, etc. The article sets the task of analyzing statistical stability and justifying the need to develop an algorithm for as-

sessing the dependence of the results of a qualimetric study based on geochronological tracking on the sufficiency of the considered initial data on the movements of objects under study.
Keywords: qualimetric studies, geographic information systems, GIS technologies for qualimetric studies.

Введение

Квалиметрический статистически-значимый анализ интенсивности удаленного предоставления услуг, сервисов в информационном пространстве есть база для принятия решений по обеспечению качества функционирования различных пространственно-временных систем. Геохронологический трекинг получил широкое признание как соответствующий научно-методический инструментарий и эффективная информационная технология соответствующих квалиметрических исследований в интересах обоснования и рационализации маршрутных сетей предоставления услуг, логистики удаленных сервисов, анализа фактов устойчивых тенденций в изменении качества различных пространственно-временных процессов и пр. Основные принципы, процедуры и алгоритмы геохронологического трекинга описаны в [1–5]. Его математическая сущность сводится к поиску и оценке статистической значимости изоморфизма соответствующих графов: итоговый граф геохронотрекинга представляется как граф-базис в структуре которого выявляется подграф изоморфный заданному, т. е. устанавливается наличие взаимно однозначного отображения одного графа на подграф другого, при котором сохраняется отношение инцидентности [3]. Граф, на изоморфность к которому в составе базового графа геохронологического трекинга определяется подграф, топологически описывает ту или иную определенную гипотезу исследования об устойчивой особенности в перемещениях центров предоставления услуг, объектов или других сущностей в информационном (в т.ч. географическом) пространстве. Далее определяется степень устойчивости в признании гипотезы исследования о выявляемой особенности в перемещениях с использованием статистического аппарата доверительной вероятности и доверительных интервалов [4].

Вместе с тем, надежность и достоверность принятия той или иной гипотезы в рамках квалиметрического исследования определяется представительностью (репрезентативностью) объема исходных данных о перемещениях, рассматриваемых как выборка из генеральной совокупности. Статистическая значимость (устойчивость) результатов квалиметрического исследования на основе геохронологического трекинга зависит от достаточности учтенных исходных данных о перемещениях исследуемых объектов. Иными словами, для принятия исследовательских гипотез исследования на базе геохронотрекинга с заданной доверительной вероятностью должно быть обеспечено необходимое и достаточное (релевантное) число учтенных единичных пространственных перемещений, рассматриваемых как единичные статистические испытания. Обоснованная выработка математико-статистического аппарата и методики увязывания доверительной вероятности принятия гипотез исследований на базе геохронотрекинга с исходным числом учитываемых перемещений составляет существо обеспечения статистической устойчивости (значимости) выводов указанных исследований.

Разработка и обоснование математико-статистического аппарата и методики определения необходимого и достаточного (релевантного) числа разовых испытаний в ходе квалиметрических исследований на базе геохронотрекинга для обеспечения требуемого уровня доверия к итоговым результатам осуществлено путем последовательной реализации следующих логических шагов:

1. Теоретическая разработка и адаптация к условиям исследования математико-статистических основ определения необходимых и достаточных объемов выборки из генеральной совокупности данных о единичных перемещениях в информационном или географическом пространстве для обеспечения заданного значения доверительной вероятности получаемых выводов проводимого квалиметрического исследования;

2. Интерпретация выделенного математико-статистического аппарата, как аппарата обеспечения требуемого уровня надежности получаемых выводов проводимого квалиметрического исследования, применительно к подходам и моделям геохронотрекинга;

3. Конкретизация и описательное представление алгоритма расчета релевантного числа учитываемых перемещений объектов-единичных испытаний в ходе квалиметрического исследований методом геохронотрекинга для обеспечения приемлемого уровня рисков при принятии итоговых решений.

Детализация существа указанных шагов позволяет раскрыть существо методики определения необходимого и достаточного числа разовых испытаний в ходе квалиметрических исследований на основе геохронотрекинга для обеспечения требуемого уровня доверия к результатам и выводам исследования в целом.

Методы и материалы

В рамках постановки квалиметрических исследований на базе геохронотрекинга в работах [4, 5] в качестве генеральной совокупности данных рассматривается теоретическое число выборочных значений учитываемых перемещений рассматриваемых объектов, обеспечивающее доверительную вероятность принятия решений о выводе частного исследования равным 1. Очевидно, что размер генеральной совокупности, при данной постановке, теоретически не ограничен, однако на практике объем данных положенных в основу геохронотрека всегда конечен и ограничен. Тогда, частная задача определения релевантного (т. е. необходимого и достаточного) объема выборки из генеральной совокупности данных о перемещениях в географическом пространстве за заданный промежуток времени для обеспечения заданного уровня доверия к выводам исследования сводится к математическому увязыванию значения доверительной вероятности правильного вывода в оценке исследуемого параметра с таким числом единичных испытаний, которое обеспечивает оценку требуемого доверительного интервала в разбросе искомого параметра. В своей информационно-логической сущности данная задача детально рассмотрена и теоретически решена в работах, посвященных информационным технологиям компьютерного моделирования, трудах по теории вероятности и прикладной статистике. Например, в таких как [6–10]. Существо теоретического решения данной задачи

заключается в построении (оценке) доверительного интервала для исследуемого параметра, обусловленного заранее заданной доверительной вероятностью, как некоторого двумерного функционала, определяемого разницей между теоретическим значением искомого параметра и выборочным значением накопленной статистики его оценок.

В работах [7, 8, 10] решение указанной частной математической задачи сведено к построению конкретизированных эллипсов рассеивания выборочных значений исследуемых параметров применительно к назначаемым величинам доверительной вероятности. Очевидно, что в условиях гехронологического трекинга, т. е. в условиях дискретного прироста объема значений данных по итогам разовых испытаний, а также объективной ограниченности генеральной совокупности в силу конечности учитываемых данных о перемещениях анализируемых объектов, сводная теоретическая картина решения указанной частной математической задачи может быть преобразована к дискретному варианту представления. В частности, соотношение числа r выбросов в экспериментально получаемых значениях параметра вне обоснованного эллипса среднеквадратического отклонения к общему числу единичных испытаний (наблюдений) эксперимента N в рамках эксперимента позволяет формализовать решение указанной частной задачи (для дискретного варианта) в виде, показанном на рис. 1.

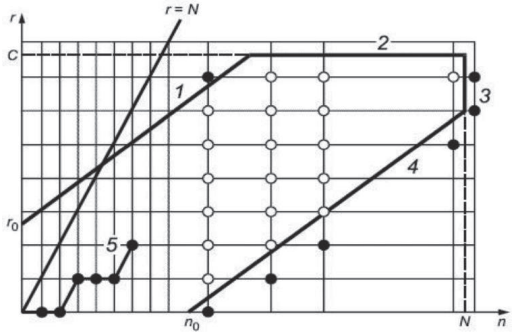


Рис. 1. Интерпретация наблюдаемых выборочных значений исследуемого параметра при накоплении его статистики в ходе геохронотрекинга

На рис. 1 фигура, ограниченная линиями 1-2-3-4, является дискретной интерпретацией эллипса среднеквадратического отклонения, определяемого доверительным интервалом и интервалом допуска, соответствующих задаваемой доверительной вероятности правильного принятия решения в квалиметрическом исследовании на базе геохронотрекинга. Соответственно, линии 1 и 2 обозначают границы зоны, за которыми регистрируемые экспериментальные значения параметра нельзя считать соответствующими теоретическому значению. Линии 3 и 4 обозначают границы зоны избыточного числа единичных испытаний при обоснованном принятии решения с заданной доверительной вероятностью, что принимаемые значения параметра геохронотрека следует считать соответствующими теоретическому значению. Линия 5 обозначает дискретный

процесс накопительного учета выбросов в экспериментально получаемых значениях исследуемого параметра вне обоснованного эллипса среднеквадратического отклонения при геохронотрекинге в зависимости от текущего суммарного числа одиночных испытаний (наблюдений) в ходе исследования. При этом, очевидно, что линия дискретного учета выбросов 5 в экспериментально получаемых значениях исследуемого параметра не может попадать в область, расположенную на рис. 1 выше границы:

$$r = N. \quad (1)$$

Приведенная на рис. 1 интерпретация решения логико-математической задачи определения релевантного (т. е. необходимого и достаточного) объема выборки из генеральной совокупности данных многократных испытаний – перемещений для обеспечения заданного уровня доверия к выводам квалиметрического исследования позволяет рассматривать указанный объем выборки как ключевой показатель обеспечения требуемой надежности выводов проводимого исследования. То есть, релевантным является такое не избыточное число единичных испытаний (учитываемых перемещений в информационном или географическом пространстве), которое обеспечивает заданную, в виде доверительной вероятности, надежность результатов проведения квалиметрических исследований. Именно такое понимание задачи определения релевантного объема выборки из генеральной совокупности данных геохронотрекинга для обеспечения заданного уровня доверия к выводам исследования позволило интерпретировать её в рамках подходов к определению надежности статистических выводов в рамках эксперимента на базе ГИС.

Разработка математико-статистического аппарата и методики определения необходимого и достаточного (релевантного) числа разовых испытаний в ходе квалиметрических исследований на базе геохронотрекинга позволит развить соответствующий научно-методический инструментарий и вытекающие из него информационные технологии ретроспективных геопространственных исследований в интересах инженерии, логистики, а также транспорт-сервисных услуг.

Библиографический список

1. Ивакин, Я.А. Рациональный алгоритм проверки гипотез ретроспективных исследований использования водного транспорта на базе геохронологического трекинга/ Я.А. Ивакин, С.Н. Потапычев, Р. Я. Ивакин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2019. Т. 11. No 3. С.448–460.

2. Потапычев, С.Н. Геохронологический трекинг – специализированный ГИС-инструментарий исторического исследования // Ивакин Я.А., Потапычев С.Н. Журнал «Историческая информатика. Информационные технологии и математические методы в исторических исследованиях и образовании», № 1-2 2016. с. 3-11.

3. Ивакин, Я.А. Информационная технология геохронологического трекинга для проверки гипотез ретроспективных исследований использования

водного транспорта / Я. А. Ивакин, С. В. Потапычев //Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2018. Т. 10. № 2. С. 452–461.

4. Ивакин, Р.Я., Ивакин, Я.А., Потапычев, С.Н. Оптимизированный алгоритм статистической проверки гипотез ретроспективных исследований на основе геохронологического трекинга// Труды учебных заведений связи. 2020. Т. 6. No1. С. 86–93.

5. Ивакин, Я.А., Потапычев, С.Н. Информационная технология исследований особенностей применения изделий гидроакустической техники на основе геохронологического трекинга // Информационные технологии и телекоммуникации. 2020. Том 8. No 2. С. 109–119.

6. M. Codescu, G. Horsinka, O. Kutz, T. Mossakowski, R. Rau DO-ROAM: Activity-Oriented Searh and Transport Navigation with Open Street Map / Geo Spatial Semantics // Proceedings of the 6th International Conference, GeoS 2015. 2015. Pp. 88-108.

7. Sigma Knowledge Engineering Environment [Электронный ресурс] – электронные данные, – режим доступа URL: http://sigmakee.sourceforge.net. Дата доступа: январь 2021г.

8. Советов, Б. Я. Моделирование систем / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. 7-е изд. М.: Юрайт, 2019. 343 с.

9. Юсупов, Р.М., Заболотский, В.П. Концептуальные и научно-методологические основы информатизации. – СПб.: Наука, 2009. 541 с.

10. Советов, Б. Я. Информационные технологии / Б. Я. Советов, В.В. Цехановский. 6-е изд., перераб. М.: Юрайт, 2016. 263 с.

УДК 629.039.58

А. Ю. Туманов*
кандидат технических наук, доцент
А. В. Кулинкович**
кандидат технических наук, доцент
В. А. Туманов**
студент
*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
**Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
***Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

МЕТОДОЛОГИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЩИЩЕННОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ И ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Проектирование и эксплуатация потенциально опасных объектов в настоящее время требуют обеспечения защиты от действия поражающих факторов в чрезвычайных ситуациях. Защищенность объекта в чрезвычайных ситуациях – это комплексная задача как прикладного, так и теоретического характера. Данная работа связана с разработкой общей методологии защиты объекта в чрезвычайных ситуациях. Разработка методологии позволит в дальнейшем разработать способы и модели защищенности и принять адекватные опасности меры по защите радиоэлектронных и приборостроительных производств в условиях воздействия чрезвычайных ситуаций от поражающего воздействия ионизирующего излучения.
Ключевые слова: методология, ущерб, автоматизированная система, потенциально опасные объекты, окружающая среда, радиоэлектронное производство.

A. Yu. Tumanov*
PhD, Tech., Associate Professor
A. V. Kulinkovich**
PhD, Tech., Associate Professor
V. A. Tumanov**
Student
*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentatio
**The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications
***The Peter the Great St. Petersburg Politechnic University

METHODOLOGY AND MODELING OF SECURITY AND STABILITY OF RADIO-ELECTRONIC AND INSTRUMENT-MAKING INDUSTRIES UNDER THE IMPACT OF EMERGENCY SITUATIONS

The design and operation of potentially hazardous facilities currently requires protection from the effects of damaging factors in emergency situations. The security of an object in emergency situations is a complex task of both applied and theoretical nature. This work is related to the development of a methodology for the protection of the object in emergency situations. The development of

the methodology will make it possible to further develop methods and models of protection and to take adequate measures to protect radio-electronic and instrument-making industries in the conditions of emergency situations from the damaging effects of ionizing radiation.
Keywords: methodology, damage, automated system, potentially dangerous objects, environment, radio-electronic production.

Введение

Возникающие проблемы безопасности и устойчивости технических объектов Российской Федерации от поражающих факторов при чрезвычайных ситуациях (далее – ЧС) связаны с ключевой ролью промышленности в обеспечении качественной жизни населения страны. Изучение влияния полей поражающих факторов (далее – ПФ) на различные элементы системы радиоэлектронных производств поиск способов уменьшения этого вредного влияния представляют в настоящее время не только теоретический интерес, но и ставят прикладные задачи, требующие быстрого и надежного решения. В связи с этим возникает необходимость при проектировании новых объектов приборостроения) – потенциально опасных объектов (далее – ПОО) обеспечивать такое их свойство, как защищенность и предусматривать меры защиты для уже существующих объектов. Главным направлением решения указанных прикладных задач является совершенствование методов расчета параметров и характеристик тех физических процессов и явлений, которые протекают при формировании поражающих факторов, и их влияния на системы объектов, а также разработка методов рационального проектирования потенциально опасных объектов с учетом ожидаемых воздействий и обеспечения требуемой надежности функционирования систем и объекта в целом [3, 5].

Проблемы и задачи, вытекающие в связи с ростом угроз различного характера для объектов, неизбежно ставят вопрос о создании теории защищенности, содержание которой включает теоретические основы, методологию и методический аппарат, направленные на решение проблемных задач. Это предполагает, на наш взгляд, структуру электромагнитной, радиационной, химической и биологической (далее – ЭМРХБ) защищенности, представленной на рис. 1 [1–4].

Теоретические основы ЭМРХБ защищенности потенциально опасных объектов должны базироваться на общетеоретических основах, свойственных любой теории, которые кратко можно сформулировать так: цели и задачи, методология, решение прикладных задач. Наибольшие проблемы возникают при формулировании общетеоретических основ защищенности. В связи с этим вопросы, разрабатываемые в рамках решения любой из приведенных составляющих теории защищенности (рис. 1), представляют несомненный интерес [5, 6].

Как всякая теория, теория ЭМРХБ защищенности потенциально опасных объектов должна включать следующие компоненты: объект и предмет исследований; цель и задачи исследований; систему основных понятий; методологическую основу; методы получения теоретических и экспериментальных результатов и их обоснования; научно-обоснованные пути использования методов тео-

рии для обоснования и прогнозирования направлений развития систем потенциально опасных объектов [2–4].

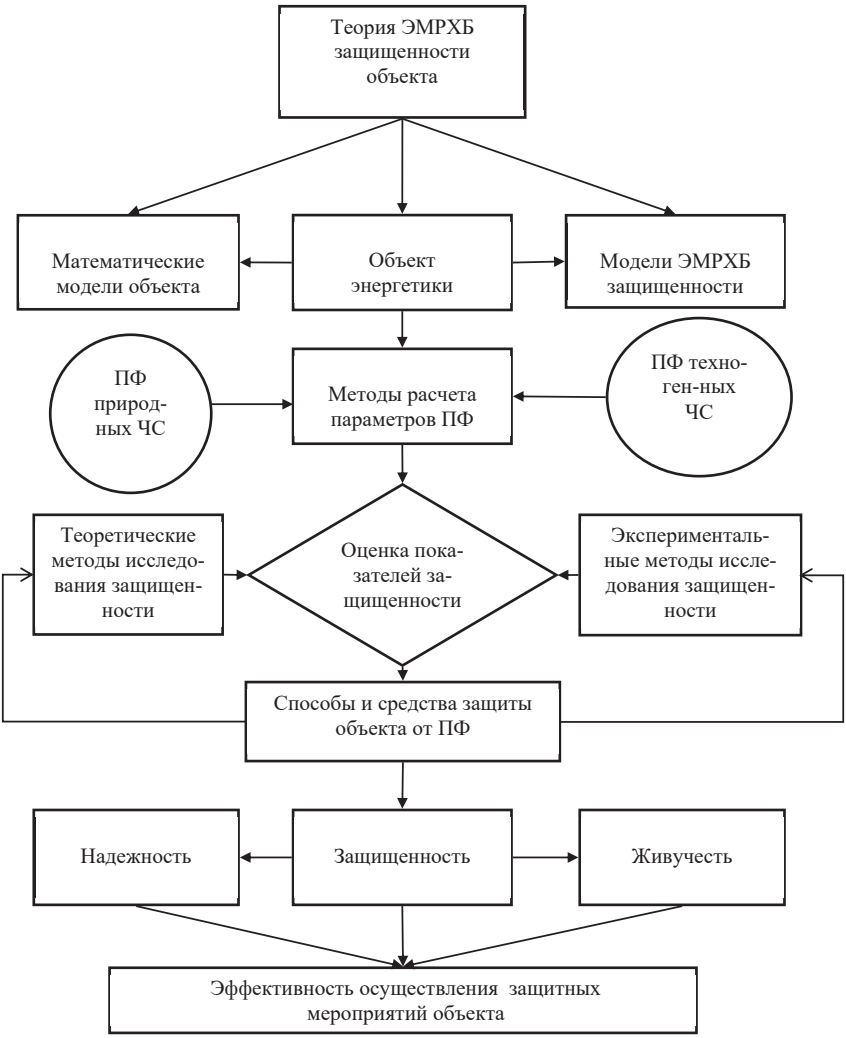


Рис. 1. Методология исследования ЭМРХБ защищенности объекта

Под ЭМРХБ защищенностью будем понимать совокупное свойство объектов, их технических систем противостоять воздействию поражающим факторам. Объектом изучения теории ЭМРХБ является защищенность объектов к

воздействию каждого конкретного поражающего фактора системы объекта. Предметом теории являются закономерности обеспечения оптимальной ЭМРХБ защищенности потенциально опасных объектов с учетом условий и специфики функционирования системы энергетики [2, 7].

Основным назначением теории (ее целью) является описание поведения потенциально опасных объектов при воздействии известных источников ЧС и их поражающих факторов и технических систем потенциально опасных объектов и на этой базе – обоснование оптимальных способов обеспечения ЭМРХБ защищенности применительно к конкретным системам (объектам) и условиям их функционирования при электромагнитных, механических, радиационных, химических и биологических воздействиях. Таким образом, проблемы, решаемые этой теорией, должны быть прямо или косвенно связаны с обоснованием и разработкой путей и средств обеспечения защиты потенциально опасных объектов от поражающих факторов ЧС. В дальнейшем под воздействием будем понимать именно ЭМРХБ поражающие факторы [3, 5].

Средством достижения цели теории служит решение ряда исследовательских задач. Основной задачей теории ЭМРХБ защищенности является разработка методологии количественной оценки защищенности и определения наиболее рациональных способов обеспечения требуемого уровня защиты создаваемых и функционирующих ПОО [4, 7].

В данной теории можно выделить две группы задач. Первая из них – прямая задача (задача анализа), которая заключается в разработке расчетных и экспериментальных способов определения общих результатов воздействия на системы потенциально опасных объектов и обоснованием требований по защищенности (нормирования) к основным системам потенциально опасных объектов на этапе их проектирования. К задачам этой группы относят [2, 4, 8]:

анализ основных характеристик источников поражающих факторов ЧС;

исследование физических основ и закономерностей формирования полей поражающих факторов в различных средах и самих объектах;

исследование физических процессов, возникающих в системах объектов при воздействии поражающих факторов, механизмов их повреждения;

установление закономерностей, характеризующих влияние ЭМРХБ защищенности на функционирование систем потенциально опасных объектов при воздействии поражающих факторов, механизмов их повреждения;

установление закономерностей, характеризующих влияние ЭМРХБ защищенности на функционирование объектов.

Вторая группа задач связана с разработкой методов создания потенциально опасных объектов с необходимым уровнем защищенности. При решении задач указанной группы проводится [1, 5]:

исследование и количественный анализ эффективности возможных методов и способов обеспечения ЭМРХБ защищенности разрабатываемых систем объектов;

выбор наиболее эффективных способов обеспечения защищенности элементов и системы энергетики в целом.

Таким образом, анализ целей и задач, решаемых в рамках теории ЭМРХБ защищенности потенциально опасных объектов, показывает, что она является теоретической базой для установления закономерностей формирования поражающих факторов и разработки методов обеспечения защиты при проектировании и эксплуатации потенциально опасных объектов и их систем. В методологическом отношении она тесно связана с более общей теорией защищенности и должна рассматриваться как один из ее разделов.

Рассмотрим некоторые ключевые понятия.

В самом общем случае понятие «стойкость» определяется как свойство некоторых объектов (технические системы объекта, сооружения и т.п.) сохранять параметры, определяющие их работоспособность в пределах установленных норм и, следовательно, осуществлять нормальное функционирование во время и после действия того или иного ПФ. В соответствии с общим определением формулируется понятие ЭМРХБ стойкости ОЭ, как свойство выполнять заданные функции и сохранять необходимые параметры в пределах установленных норм, выпускать продукцию в установленном объеме и номенклатуре во время и после действия ПФ до определенного их уровня [2, 7].

Понятия ЭМРХБ стойкости и ЭМРХБ защищенности являются частными по отношению к общим понятиям стойкости и защищенности соответственно. Следовательно, их соотношение может трактоваться следующим образом.

ЭМРХБ стойкость является внутренним свойством объекта, который она приобретает при его создании. Это свойство относят: к технологическому оборудованию ОЭ, системам управления, обеспечивающим системам и т. д.

Если ЭМРХБ стойкость ОЭ не удовлетворяет предъявляемым требованиям, то его наделяют свойством ЭМРХБ защищенности, которое использует специальные средства и способы защиты. Как правило, указанные средства и способы защиты не несут никакой другой функциональной нагрузки, и в отсутствие ПФ необходимость в них не возникает. В отличие от стойкости, такой параметр как защищенность, является внешним и соответственно более гибким свойством, так как оно может закладываться и изменяться как в период проектирования, так и во время эксплуатации объектов [1, 3, 9].

На стадии проектирования различных систем в конструкторской документации выбираются и реализуются основные способы и пути обеспечения ЭМРХБ защищенности как за счет выбора и назначения номенклатуры комплектующих элементов, обладающих определенной стойкостью, так и за счет существующих конструктивно-технических и основных схемных решений. В процессе эксплуатации технических систем значительное повышение ЭМРХБ защищенности может осуществляться как за счет выбора оптимальных и наиболее целесообразных способов применения системы, так и за счет дополнительных методов защиты, позволяющих максимально снизить эффективность применяемых средств поражения.

Если рассматривать техническую систему любой сложности, то в ее структуре свойством «чистой» ЭМРХБ стойкости обладают только первичные элементы (на уровне комплектующих изделий, материалов и т. п.). Функциональный блок, узел (подсистемы нижнего уровня) могут обладать как «чистой»

ЭМРХБ стойкостью, так и некоторым уровнем ЭМРХБ защищенности. Сочетание стойкости и защищенности в этом случае может рассматриваться как обобщенная ЭМРХБ защищенность, обеспечивающая предусмотренное функционирование данных подсистем. Тем более это относится к функциональным подсистемам верхнего уровня, функционирование которых направлено на обеспечение выполнения целевой функции системы – решение поставленной задачи. Подобные подсистемы, как правило, обладают обобщенными свойствами – ЭМРХБ стойкостью и ЭМРХБ защищенностью [4, 9].

Структуризация рассмотренных понятий показана на рис. 2 [5–7].

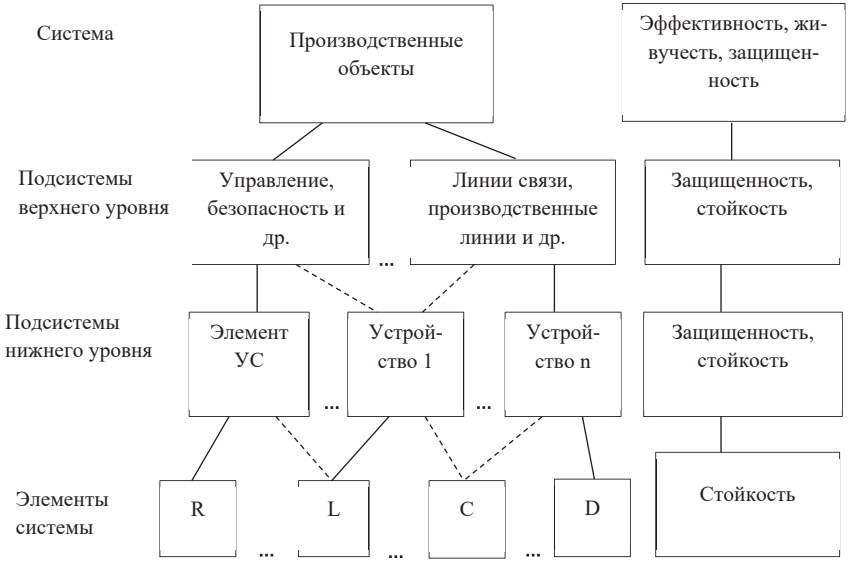


Рис. 2 Структура основных понятий

Подобная структуризация позволяет установить взаимосвязи между основными свойствами структуры системы и установить их взаимовлияние при введении количественных характеристик и разработке методов их расчета.

В дальнейшем будем пользоваться основным термином «ЭМРХБ защищенность», а «ЭМРХБ стойкость» рассматривать как ее частный случай на уровне неделимого элемента.

Таким образом, введенные выше понятия ЭМРХБ стойкости и ЭМРХБ защищенности являются составляющими или частными по отношению к стойкости и защищенности, трактуются и соотносятся они так же, как и общие понятия. Ниже для краткости вместо термина «ЭМРХБ защищенность» будем использовать термин «защищенность».

Конечной целью всех мероприятий по повышению защищенности ПОО в целом является наделение их такими защитными свойствами, которые в кон-

кретных условиях воздействия ПФ ЧС позволят выполнить поставленную задачу. Достигаемый при этом уровень защиты должен быть обеспечен разнообразными способами, являющимися неравноценными между собой с позиций затрачиваемых усилий. Возникает сложная задача выбора наиболее рациональных способов из существующего ряда возможных на основе конкретных показателей успешности – показателей и параметров эффективности защиты.

Если представить все многообразие мероприятий и способов защиты ОЭ от ПФ в виде совокупности функционально связанных элементов, то на системном уровне можно утверждать, что защита представляет собой единую целенаправленную упорядоченную систему, осуществляющую защитную функцию применительно к системе более иерархически высокого уровня, которой является ОЭ или его структурные элементы – функциональные подсистемы. Система защиты в этом отношении иерархически является составной частью ОЭ, являясь также одной из гарантированно обеспечивающих подсистем более низкого уровня.

Эффективность функционирования системы любой сложности при воздействии ПФ во многом зависит от ее характеристик и параметров воздействия. В общем случае зависимость для показателя эффективности может быть записано в виде функционала эффективности [2, 4]:

$$W = F(A, X, B, Y), \tag{1}$$

где $A_{\langle n \rangle} = \{a_1, a_2, ..., a_n\}$ – вектор активных средств рассматриваемой системы, в том числе и защитных.

Возможности действий указанной системы могут быть выражены как набор некоторых величин x_j ($j = 1 \ldots k$), образующих вектор $X_{\langle k \rangle} = \{x_1, x_2, ..., x_k\}$. Величины x_j можно интерпретировать как реальное разбиение совокупности активных средств на определенные функциональные группы, или просто как номер того или иного способа использования активных средств [1, 3].

Векторы $B_{(m)}$, $Y_{(q)}$ характеризуют аналогичные показатели для поражающих воздействий.

Вектор $B_{(m)}$ следует оценивать как набор некоторых величин b_P ($P = 1 \ldots m$), описывающих поля ПФ. Величины y_l ($Y = 1 \ldots q$) характеризуют возможные способы создания этих полей (например, для ядерных взрывов – их количество, мощность, высоты взрывов и т.д.). Как правило, параметры b_p и y_l характеризуют малоизвестные условия или факторы, включающие основные неопределенности при условии осуществления функционирования системы. Виды связей целесообразно отображать оператором $F(\cdot)$ [4, 5].

Если показатель эффективности системы, идеальной в смысле защиты, обозначить W_{ud} (A, X), то в условиях ПФ этот показатель изменится и будет равен

$$W_p(A, X, B, Y) = \varphi \cdot W_{ud}(A, X), \tag{2}$$

где φ – коэффициент сохранения эффективности системы, характеризующий вероятность того, что воздействие ПФ будет безуспешным $(0 \le \varphi \le 1)$.

Заметим, что $W_{ud}(A, X)$, определяется основными техническими характеристиками ОЭ и не зависит от условий и параметров воздействия и защищенности.

Коэффициент φ определяет способность как всей системы, так и любого элемента к осуществлению возложенных задач в условиях воздействия ПФ и, соответственно, является количественной характеристикой стойкости как всей системы или узла, так и отдельного элемента. Параметр φ находится в зависимости как от используемой защиты, так и от внутренних свойств самой системы. При отсутствии необходимой защиты [4]

$$\varphi_0 = \frac{W_p(A, X, B, Y)_0}{W_{ud}(A, X)}, \tag{3}$$

а при использовании совокупности средств защиты

$$\varphi_з(A_з, X_з, B, Y) = \frac{W_p(A_з, X_з, B, Y)_з}{W_{ud}(A, X)}, \tag{4}$$

где $\varphi_з(A_з, X_з, B, Y)$ характеризует вероятность того, что осуществляющие воздействие ПФ, описываемые векторами B, Y, будет безуспешным при выполнении условия использования необходимых средств защиты, которые характеризуются векторами $A_з$, $X_з$ [2, 7].

Величина разности

$$\Delta W'_з - W_p(A_з, X_з, B, Y)_з - W_p(A, X, B, Y)_0 \tag{5}$$

может рассматриваться в качестве внешнего признака существующей эффективности защиты ОЭ от ПФ. Величина $\Delta W'_з$ характеризует повышение эффективности ОЭ за счет включения в ее состав средств защиты. Становится очевидным, что при $\Delta W'_з \to 0$ влияние системы защиты оказывается несущественным.

Из вышеизложенного следует, что параметр вида (5) может использоваться для сравнительной оценки вариантов (уровней) защиты:

$$\Delta W''_з = W'_{з1}(A_{з1}, X_{з1}, B, Y) - W'_{з2}(A_{з2}, X_{з2}, B, Y), \tag{(6}$$

где индекс $i = 1,2$ относится к обеспечиваемым уровням защиты. При $\Delta W''_з > 0$ первый вариант характеризуется лучшими защитными свойствами и наоборот.

Если $\Delta W'_з = \Delta W_{ud}$, то можно оценить насколько рассматриваемая система удовлетворяет предельным требованиям по защищенности [4, 8]:

$$\Delta W'''_з = W'_{зud}(A_{зud}, X_{зud}, B, Y) - W'_{зi}(A_з, X_з, B, Y), \tag{7}$$

где $W'_{зud}(A_{зud}, X_{зud}, B, Y)$ – показатель эффективности функционирования ОЭ, обладающего «абсолютной» защищенностью, т. е. удовлетворяющей предельным

требованиям по защите; $\Delta W_з'''$ – показатель, характеризующий степень снижения эффективности функционирования ПОО по сравнению с «абсолютно» защищенным ПОО.

Если разность $\Delta W_з'''$ мала, то защита слабо влияет на эффективность, в противном случае проблема должна решаться.

На практике более удобными оказываются относительные (безразмерные) значения показателей в одной из следующих форм [2, 7]:

$$\delta W_з' = \frac{W_з\left(A_з, X_з, B, Y\right) - W_0\left(A_0, X_0, B, Y\right)}{W_0\left(A_0, X_0, B, Y\right)}, \tag{8а}$$

$$\delta W_з'' = \frac{W_{з1}\left(A_{з1}, X_{з1}, B, Y\right) - W_{з2}\left(A_{з2}, X_{з2}, B, Y\right)}{W_{з2}\left(A_{з2}, X_{з2}, B, Y\right)}, \tag{8б}$$

$$\delta W_з''' = \frac{W_з\left(A_з, X_з, B, Y\right) - W_0\left(A_з, X_з, B, Y\right)}{W_{зид}\left(A_{зид}, X_{зид}, B, Y\right) - W_0\left(A_0, X_0, B, Y\right)}. \tag{8в}$$

При $W_з\left(A_з, X_з, B, Y\right) = W_0\left(A_0, X_0, B, Y\right)$, $\delta W_з' = 0$, т. е. система защиты имеет нулевую эффективность. Если $W_з\left(A_з, X_з, B, Y\right) = W_{зид}\left(A_{зид}, X_{зид}, B, Y\right)$, то $\delta W_з''' = 1$, т. е. защита удовлетворяет предельным требованиям. Диапазону от 0 до 1 соответствуют все остальные значения показателей. Выражения 8 (а, б, в) позволяют при расчете эффективности защиты не вычислять показатель эффективности функционирования ПОО, а ограничиться определением показателей его защищенности [1, 8].

Результативность функционирования ПОО с учетом существующей защищенности в любых случаях будет заключаться в получении необходимых результатов, что, условно говоря, означает выполнение следующего условия:

$$A_{(n)} = \arg\max\left\{\Delta W_з'\left(A_n\right)\right\}, \qquad W_з\left(A_з, X_з, B, Y\right) \in W_з^{\text{треб}}\left(A_з, X_з, B, Y\right),$$

которое тождественно пригодности системы защиты по назначению; здесь $W_з^{\text{треб}}\left(A_з, X_з, B, Y\right)$ – область допустимых (требуемых) значений показателя.

Таким образом, показатель $W_з\left(A_з, X_з, B, Y\right)$ есть степень полноты решения заданных задач защищаемым ПОО в условиях его функционирования при воздействии различных ПФ, находящихся в зависимости от свойств и характеристик ПОО. Приращение рассматриваемого параметра в абсолютных или относительных единицах есть мера вклада, вносимого системой защиты в решение поставленных перед ПОО задач в условиях воздействия ПФ.

Рассмотренные параметры защищенности позволяют осуществить оценку вклада отдельного мероприятия в повышение эффективности функционирования ПОО в условиях воздействия ПФ.

Пусть в интересах увеличения защищенности ПОО осуществляется *n* мероприятий: организационных, технических и т. д. В соответствии с (4) пусть $W_p\left(A_з, X_з, B, Y\right)_{зi}$ – параметр эффективности функционирования ПОО при осуществлении всех мероприятий, за исключением одного с номером $\left\{i = 1 \ldots n\right\}$;

$W_з\left(A_з, X_з, B, Y\right)$ – показатель эффективности при организации всех мероприятий защиты. Тогда величина $\Delta W'_{зi} = W_p\left(A_з, X_з, B, Y\right)_з - W'_p\left(A_з, X_з, B, Y\right)_{зi}$ будет характеризовать полезный эффект от осуществления всей совокупности мероприятий, кроме одного [1, 3, 9].

Отсюда коэффициент весомости любого *i*- го мероприятия защиты будет равен:

$$\beta_i = \frac{\Delta W'_{зi}}{\sum_{i=1}^{n} \Delta W'_{зi}} = \frac{\Delta W'_{зi}}{\sum_{i=1}^{n} \left[W_p\left(A_з, X_з, B, Y\right)_з - W'_p\left(A_з, X_з, B, Y\right)_{зi}\right]}, \quad (9)$$

что позволяет ранжировать меры защиты по их вкладу в поддержание защищенности ПОО.

Сформулированные в данной статье ключевые элементы теории ЭМРХБ защищенности потенциально опасных объектов позволяют ставить и решать в дальнейшем теоретические и прикладные задачи. Представленные показатели эффективности защиты являются основой для разработки моделей защищенности потенциально опасных объектов и, в дальнейшем, выведением принципов комплексной защиты объектов.

Библиографический список

1. Гуменюк В. И., Туманов А. Ю., Толочко И. А. Моделирование защищенности объекта от поражающего воздействия электромагнитного импульса / В. И. Гуменюк // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2018. № 3. С. 72-80.

2. Гуменюк В. И., Толочко И. А., Туманов А. Ю. Разработка системы мониторинга чрезвычайных ситуаций для потенциально опасных объектов // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2017. Т. 23. № 4. С. 48-55.

3. Гуменюк В. И., Туманов А. Ю. Разработка математической модели и методики оценки риска чрезвычайной ситуации на потенциально опасном объекте энергетики с их программной реализацией // Технологии гражданской безопасности. 2017. Т. 14. №1 (51). С. 66-74.

4. Анализ критических ситуаций, вызванных неблагоприятным стечением обстоятельств / Клюев В. В., Резчиков А.Ф., Кушников В.А., Твердохлебов В.А., Иващенко В.А., Богомолов А.С., Филимонюк Л.Ю.// Контроль. Диагностика. 2014. № 7. С. 12–16.

5. Кармишин А. М., Киреев В. А. Математические методы фармакологии, токсикологии и радиобиологи: монография. М.: ООО «АПР», 2011. 330 с.

6. Махутов Н. А., Гаденин М. М., Неганов Д. А. Риски и безопасность энергетического оборудования // Электрические станции. 2017. № 2(1027). С. 2–9.

7. Обеспечение защищенности критически важных объектов на основе снижения их уязвимости / Н. А. Махутов, В. П. Петров, Д. О. Резников, В. И. Кускова // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2009. № 2. С. 50–69.

8. Тихонов М.Н., Богословский М. М. Электромагнитный терроризм – новая уникальная угроза в современном информационном мире // Проблемы анализа риска. 2015. Т. 12. № 1. С. 62-81.

9. Туманов А. Ю., Гуменюк В. И., Туманова М. М. Разработка усовершенствованной методики оценки обобщенного риска чрезвычайных ситуаций на потенциально-опасных технических объектах // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2018. № 2. С. 52-67.

10. Информационно-аналитическая система радиоэкологического мониторинга / А.И. Соболев, О.Г. Польский, В.А. Тихомиров и др. Серия изданий по радиоэкологической безопасности населения № 3, Москва, «Прима», 1996.

11. Соболев А.И., Вербова Л.Ф. Особенности статистической обработки данных в системе измерений радиоэкологического мониторинга // Гигиена и санитария. 2002. №3.

12. Туманов А. Ю. Научно-методические основы оценки опасности техногенных аварий на потенциально-опасных объектах. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. 241 с.

УДК 658.562.64

Е. А. Фролова*
доктор технических наук, доцент
А. С. Тур*
ассистент
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА ВЫЯВЛЕНИЯ НЕАУТЕНТИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ

В статье рассматривается статическая оценка эффективности методов испытаний, используемых для проверки неаутентичных компонентов, проводится оценка рисков для методов тестирования.
Ключевые слова: неаутентичная продукция, контрафактная продукция, электронная компонентная база, качество продукции.

E. A. Frolova*
Dr. Sc., Tech., Assistant Professor
A. S. Tur*
Assistant
*Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

IMPROVING THE QUALITY OF THE PROCESS FOR IDENTIFYING NON AUTHENTIC PRODUCTS

The article discusses the static assessment of the effectiveness of test methods used to test non authentic components, and conducts a risk assessment for testing methods.
Keywords: non authentic products, counterfeit products, electronic component base, product quality.

В настоящее время в мире накоплен достаточный объем данных, подтверждающих широкую распространенность неаутентичных радиоэлектронных компонентов [1]. Использование такой продукции в радиоэлектронной промышленности оказывает непосредственное влияние на качество, надежность, безопасность при эксплуатации продукции. Одним из вариантов выявления неаутентичной продукции является испытания, основанные на статической оценке методов тестирования. Поскольку необходимо оценить возможности тестовых лабораторий, статическая оценка предоставляет тестовым лабораториям оценку эффективности указанного плана тестирования, состоящего из последовательности тестов. Термин «статический» предполагает, что при такого рода оценках методы испытаний, включенные в эту структуру, не меняются, и оценка проводится на всем этом наборе методов испытаний.

В исследовании будет проведена оценка пяти методов тестирования для критического уровня тестирования (табл. 1).

Проводится анализ на основании пяти методов испытаний $\{M_1, M_2, M_3, M_4, M_5\}$ для обнаружения неаутентичных компонентов и пяти

несоответствий $\{D_1, D_2, D_3, D_4, D_5\}$, где уровень аутентичности обозначается CL и вектор частоты дефектов DF.

$$CL = \begin{bmatrix} 0{,}9 & 0{,}5 & 0{,}0 & 0{,}0 & 0{,}0 \\ 0{,}0 & 0{,}0 & 0{,}9 & 0{,}0 & 0{,}5 \\ 0{,}0 & 0{,}9 & 0{,}0 & 0{,}0 & 0{,}0 \\ 0{,}9 & 0{,}0 & 0{,}0 & 0{,}0 & 0{,}0 \\ 0{,}0 & 0{,}0 & 0{,}9 & 0{,}0 & 0{,}0 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Таблица 1

Оценка рисков для разных уровней тестирования

Уровень (TL)	Критичность риска	Диапазон баллов	Целевая доверенность (TC)
4	Критичный	> 170	0,95
3	Высокий	151-170	0,8
2	Умеренный	111-150	0,65
1	Низкий	71-110	0,5
0	Очень низкий	0-70	0,35

Каждая строка матрицы CL представляет методы тестирования (например, первая строка представляет метод M_1 тестирования, вторая строка представляет метод M_2 тестирования и т.д.). Каждый столбец (1) представляет несоответствие (например, первый столбец представляет несоответствие D_1, второй столбец представляет несоответствие D_2 и т.д.). Каждая запись обозначает достоверность обнаружения несоответствия с использованием метода тестирования [2]. Это означает, что тест M_1 имеет 0,9 вероятности обнаружения дефекта D_1, 0,5 вероятности обнаружения дефекта D_2 и 0 вероятности обнаружения остальных несоответствий.

Рассматривается три типа контрафакта $\{x, y, z\}$ с матрицами отображения дефектов DM и векторами индекса определения DL.

$$DM = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$DL = \begin{bmatrix} 0,9 \\ 0,5 \\ 0,1 \end{bmatrix}. \qquad (3)$$

Табл. 2 суммирует процесс оценки. *CDC* составляет 68,6%, тогда как *CTC* для контрафактов *x*, *y* и *z* составляет 55,8, 24,8 и 8,1% соответственно. Более низкое значение *CTC* для контрафактов y и z указывает на тот факт, что дефекты, связанные с этими контрафактными типами, не видны, как мы можем видеть из вектора DL, что вероятность обнаружения любого контрафактного дефекта составляет 0,5 и 0,1 соответственно.

Таблица 2

Образец примера для статической оценки

Шаг	Наименование	Описание
Строка 1	Чтение входных данных	Чтение M^S, *TL, CL, DI* и *DM*
Строки 2-4	Вычислить результирующую достоверность (x_R)	$X_{RD1} = 1-(1-0,9)(1-0)(1-0)(1-0,9)(1-0) = 0,99$ $X_{RD2} = 0,95$ $X_{RD3} = 0,99$ $X_{RD4} = 0$ $X_{RD5} = 0,5$
Строка 5	Вычислить *CDC* (Counterfeit Defect Coverage)	$CDC = \frac{1*0,99+1*0,95+1*0,99+1*0+1*0,5}{1+1+1+1+1} = 0,686$
Строка 6	Вычислить *CTC* (Counterfeit Type Coverage)	$CTC_x = 0,9\frac{1*0,99+1*0,95+1*0,99+1*0+1*0,5}{1+0+1+1+1} = 0,558$ $CTC_y = 0,248$ $CTC_z = 0,081$
Строка 7	Вычислить NCD_S (Not-Covered Defects)	*NCD*: Дефект D_4 при $X_{RD} = 0$

Шаг	Наименование	Описание
Строка 8	Вычислить UCD_S (Under-Covered Defects)	*UCD*: Дефект D_5 при $X_{RD} < TC$

В табл. 3 показана оценка методов испытаний для категории низкого риска. Колонка 3 представляет *CDC*. Общий *EVI* один обеспечивает покрытие 35,4%. Общий EVI и подробный *EVI* обеспечивают совокупный охват 47,6%. Комбинированное покрытие из всех 11 методов испытаний дает итоговый *CDC* 82,1%. Это означает, что с вероятностью 82,1% после выполнения испытаний контрафактная деталь найдена. Есть три дефекта, которые не могут быть обнаружены этими тестами и становятся *NCD*. За исключением *NCD*, все дефекты покрываются, поскольку результирующие уровни достоверности для этих методов испытаний становятся больше, чем целевая достоверность, отсутсвует *UCD*.

Таблица 3

Оценка методов испытаний для категории низкого риска CDC, NCD и UCD

Номер	Методы испытаний	CDC (%)	NCD	UCD
1	Общий EVI	35,4		
2	Подробный EVI	47,6		
3	Тестирование на перемаркировку (EVI)	48,1		
4	Тестирование на шлифовку (EVI)	48,3		
5	Проведение итогового анализа (XRF)	48,5		
6	Lead finish thickness (XRF)	48,5		
7	Состав материала (XRF)	51,4		
8	Внутренний осмотр	65,4		
9	Радиологический контроль	71,5		
10	Акустическая микроскопия	71,6		
11	DCтест при температуре окружающей среды	82,1		
12	План тестирования для категории низкого риска	82,.1	3	0

В табл. 4 показаны *CTC* для всех контрафактных типов.

Таблица 4

Оценка методов испытаний для категории низкого риска СТС

Номер	Тип контрафакта	СТС
1	Восстановленный	82,8
2	Замеченный(наблюдаемый)	84,5
3	Избыточный	1,6
4	Неисправный	53,3
5	Клонированный	6,3
6	Поддельная документация	68,9
7	Поврежденный	NA

Обнаружение дефектов может помочь идентифицировать компонент как контрафактный. Однако это не может обеспечить необходимую уверенность в том, что контрафактный компонент относится к определенному типу. *СТС* дает то, что нужно для поиска контрафактного типа. *СТС* для переработанных и отмеченных типов близки к *CDC*, так как вероятность обнаружения любых контрафактных дефектов близка к 1 (0,98 и 0,9 для переработанных и отмеченных типов, указанных в векторе *DI*). Однако в перепроизводимых и клонированных типах *СТС* довольно малы и составляют 1,6 и 6,3% соответственно. Вероятность обнаружения контрафактных дефектов в этих контрафактных типах чрезвычайно мала. Это означает, что нужен другой набор мер (предназначенный для борьбы с контрафактом, DFAC) для обнаружения этих поддельных типов.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 58789-2019 Система защиты от фальсификаций и контрафакта. Порядок проведения инспекции при контроле аутентичности продукции. М.: Стандартинформ, 2020. 23 с.

2. Ершов Л., Левин Р., Батурин А., Коломенская Н., Емельянова И., Кононов В. Что такое контрафакт и как с ним бороться. Нормативная основа и практика выявления контрафактных электронных компонентов // Электроника. Наука. Технология. Бизнес. 2016. №6. С. 88-93.

УДК 004.422.86

А. В. Чабаненко*
кандидат технических наук, доцент
М. Ю. Белова*
студент
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения

АВТОМАТИЗАЦИЯ СБОРОЧНОГО ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В статье рассмотрена автоматизация сборочного процесса проектирования сложных изделий, структура и функции САПР, ее составляющие. Описаны программы автоматизации и причины их использования. Также рассмотрены принципы действия аддитивных установок.
Ключевые слова: САПР, аддитивные установки, сборочный процесс, автоматизация.

A. V. Chabanenko*
PhD, Tech., Associate Professor
M. Y. Belova*
Student
*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

AUTOMATION OF THE ASSEMBLY PROCESS OF DESIGNING COMPLEX PRODUCTS USING ADDITIC PRODUCTION

The article discusses the automation of the assembly process of designing complex products, the structure and functions of CAD, its components. The automation programs and the reasons for their use are described. The principles of operation of additive installations are also considered.
Keywords: CAD, additive installations, assembly process, automation.

Автоматизация сборочного процесса проектирования сложных изделий в современной жизни является важным и актуальным направлением развития в производстве. Для решения данной многоаспектной задачи применяют различные методы и модели информатики, а также дискретной математики, например, теорию графов, искусственный интеллект, роботизацию, комбинаторную геометрию и др.

Раньше для создания сложных комбинаторных изделий в промышленности использовались различные методы, с помощью которых высчитывали степень нагрузки, давление и другие физические, размерные и кинематические свойства готового изделия на его отдельных составляющих, либо с помощью масштабных и сложных вычислений. Но с развитием человеческого общества приходит и развитие промышленности, куда все больше внедряется индустрия 4.0, основанная на автоматизации производства с помощью киберфизических систем. В связи с этим применим внедрение автоматизированного проектирования, позволяющего рассматривать сложное изделие сразу как совокупность элементов (деталей, поверхностей, геометрических примитивов и др.), на кото-

рых уже заранее заданы отношения различной физической природы (геометрические, механические и др. свойства).

Для решения поставленной задачи в 1970 году на производстве появилась уверенность, что проектирование теоретически подвергается компьютеризации. Сфера деятельности машины была невелика, в основном упор делался на возможности автоматического черчения. Так, с развитием этой темы появилась система автоматизированного проектирования (САПР), основанное на использовании вычислительных систем, а также телекоммуникационных технологиях.

Являясь одним из видов информационных систем, САПР относят к структурам с различным количеством структурам с разными по сложности ее составляющим, которые включают вычислительную технику, различные виды программного обеспечения и обслуживающий персонал.

Структура САПР регламентирована ГОСТ 23501.101–87 и включает два класса подсистем: проектирующие и обслуживающие. Основной функцией проектирующих модулей, за которые отвечает вычислительная техника, выступает решение конкретных проектных задач, а функции информационного обмена между ними возложены на подсистемы обслуживания (рис. 1), в частности на человека.

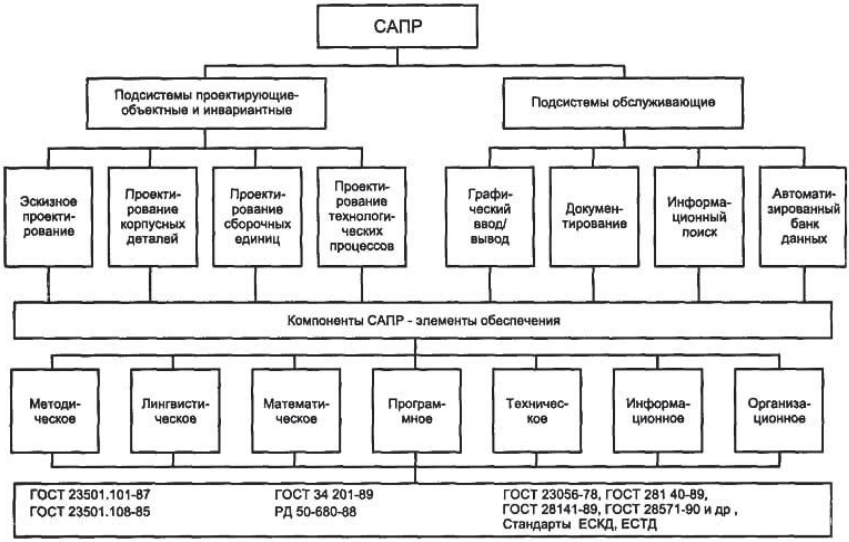


Рис. 1. Подсистемы и компоненты САПР

Главной целью системы автоматизированного проектирования является повышение качества выпускаемой готовой продукции и мгновенное реагирование на выявляющиеся дефекты этой продукции. С помощью вычислительных машин САПР имеет преимущества перед старыми методами проектирования, одними из них является быстрый и доступные процесс проектирования конструкции и

модели изделия, сокращения сроков выполнения проекта, минимизация тестирования готовой продукции, сокращения отходов материала и др.

Полный процесс системы автоматизированного проектирования упрощенно можно расписать схемой (рис. 2). Она отображает элементарную ячейку проектно-конструкторского процесса, входящая в реальный процесс САПР. На данный момент почти все системы проектирования с помощью современной вычислительной техники являются автоматизированные. В них важное место занимает человек – инженер, решающий все неформализованные проектные задачи и задачи планирования работ. Такое тесное взаимодействие человека и вычислительных машин позволяет современной системе проектирования быть инструментом высоко – квалифицированного инженера – проектировщика.

Одним из главных блоков в схеме процесса САПР (рис. 2) является блок проектных решений. На основе данных, которые получает система, и их ограничений этот блок изменяет параметры (факторы решения) до получения нужных проектных решений, которые могут быть выполнены либо автоматически, либо в интерактивном режиме.

Результаты, полученные на предыдущем этапе, должны быть в понятном для человека восприятии (наглядные), содержать нужную информацию, которую инженер сможет использовать для вывода о проектировании.

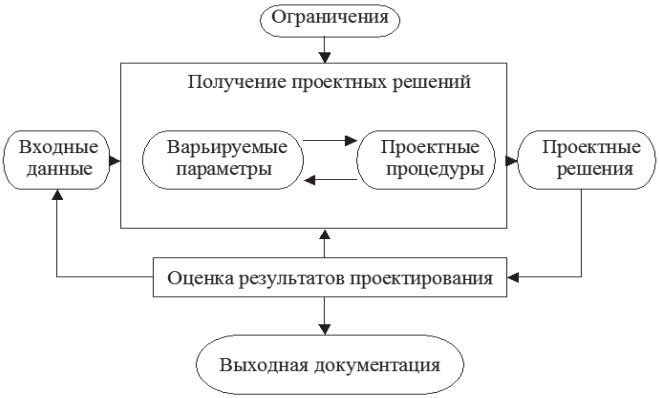


Рис. 2. Схема процесса

Схема процесса позволяет уточнить разделение функций и обязанностей между человеком – инженером и вычислительной техникой в системе проектирования. Так, в зависимости от математического обеспечения проектных процедур в ЭВМ, техника может предоставлять проектные решения в удобном представлении для человека виде. Но даже при таких условиях на человека все равно налагаются важнейшие функции – ввод исходных данных, окончательная оценка и утверждение проектных решении. Если использовать интерактивный режим, то при проектировании человек – инженер контролирует ход решения

задач, тем самым воздействует на выбор факторов решения и уточняет независимые переменные. Получение выходной документации возлагается непосредственно на ЭВМ.

На основании изложенного модель программного обеспечения автоматизированной проектной процедуры можно представить схемой, показанной на рис. 3.

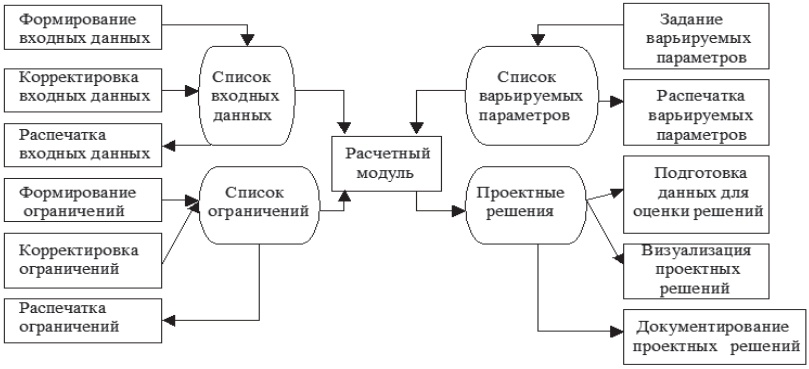


Рис. 2. Модель программного обеспечения проектной процедуры в САПР

Рис. 3. Модель программного обеспечения проектной процедуры в САПР

Автоматизация сборочного процесса проектирования на производстве достигается с помощью специальных программ, которые позволяют оценить все риски и степени воздействия на уже готовое изделие на начальных этапах ее разработки. Самыми распространенными программами являются NX, CATIA, Mastercam, AutoCad и др., которые представляют из себя универсальные программные продукты, предлагающие возможность многовариантных решений в разных режимах работы. Все эти преимущества достигаются с помощью основного модуля САПР – составление двумерных моделей и геометрического 3D моделирования. Высокое математическое обеспечение ЭВМ упрощает человеческие инженерные расчеты, позволяя в режиме реального времени визуально с помощью и 3D сканирования и построением на ее основе 3D моделей оценивать контролируемую величину и ее зависимость от изменения проектируемой конструкции. Таким образом, использование САПР с добавлением аддитивного производства в несколько раз увеличит преимущества автоматизации проектирования, ведь при изготовлении сложных изделий можно будет провести все опыты на начальных этапах, минимизируя риски большого количества дефектов у готовых продуктов, а также проведения разного рода испытаний на 3D моделях не только на электронно – вычислительных машинах, но и на напечатанных опытных образцах, изготовленных с помощью аддитивных технологий с минимальным количеством израсходуемого материала.

В постоянным развитием промышленности и внедрением роботизации, компьютерных технологий и других составляющих Индустрии 4.0, каждое

производство хочет сократить время изготовления в жизненном цикле продукции, при этом сохранив его качество. Именно поэтому использование аддитивных технологий на этапе проектирования поможет сделать этот процесс автоматизированным, так как каждый цикл аддитичного производства включает в себя контроль за качеством выполнения, а также отслеживание свойств исходной продукции. В этом процессе построение идет с постоянным контролем основных параметров процесса: мониторинг избыточного уровня кислорода в камере, поддержание нужной мощности лазера, контроль температуры в зоне построения и т.д.

Системы автоматизированного проектирования не просто так включают один из этапов создание геометрических моделей, ведь сам принцип действия аддитивных установок основан на построении тонких горизонтальных слоев из 3D-моделей, созданных с помощью систем автоматизированного проектирования (САПР).

Перспективы развития автоматизации проектирования определяются потребностями промышленного производства и состоянием развития науки и техники. Даже в экономически развитых странах из 100 % производственного времени, в течение которого изделие находится в цехе, 95 % его находится в транспортировке и ожидании и лишь 5 % непосредственно в изготовлении, а из времени изготовления только 30 % приходится непосредственно на обработку, тогда как остальное время уходит на загрузку, установку, закрепление.

Таким образом, основной задачей применения САПР можно считать повышение КПД промышленного производства, увеличение его производительности и эффективности, уменьшение стоимости создаваемых изделий. Автоматизация проектирования сложных изделий поможет в будущем достаточно сократить сроки изготовления, повысить качество и сложность готовых продуктов, обеспечить оптимальность технологических разработок путем выбора их из множества возможных решений, создаваемых на ЭВМ.

Опрошенные специалисты отмечают, что в будущем в системе автоматизированного производства тенденцией развития станет стандартизация и автоматизация комплексного проектирования. Другими словами, значительным будет обмен информацией между ее разными системами, а также внутри самой системы проектирования будет обеспечен переход к более тесной объединенной системе различных инструментов моделирования, проектирования и инженерного анализа в единую среду работы конструкторско-технологических подразделений.

Библиографический список

1. Управление качеством аддитивных изделий / А. В. Чабаненко // РИА: Журнал.: «Стандарты и качество». 2018. № 2. С. 90-94.

2. Комбинаторные модели для сборки и декомпозиции изделий / Божко А. Н. // Наука и образование МГТУ имени Н. Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. № 10. DOI: 10.7463/1015.0817524.

3. Virtual reality for assembly methods prototyping: a review / Seth A., Vance J., Oliver J. // Virtual Reality. 2011. Vol. 15. Issue 1. Pp. 5-20. DOI: 10.1007/s10055-009-0153-y.

4. Методы искусственного интеллекта в автоматизированном проектировании процессов сборки / Божко А. Н., Родионов С. В. // Наука и образование МГТУ имени Н. Э. Баумана. Электрон. журн. 2016. № 8. DOI: 10.7463/0816.0844719

5. Аддитивные технологии и аддитивное производство/ https://extxe.com/ (дата обращения 19.02.2021).

6. Индустрия 4.0: Big Data, цифровизация и рост экономики https://habr.com/ru/post/507822/.

УДК 004.422.86

А. В. Чабаненко*
кандидат технических наук, доцент
*Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММЫ ДЛЯ СТРУКТУРИРОВАНИЯ ФУНКЦИЙ КАЧЕСТВА «ДОМ КАЧЕСТВА QFD»

В статье рассмотрен программный продукт на основе оригинальной японской методологии – структурирование функции качества или сокращенно СФК – систематизированный путь развертывания нужд и пожеланий потребителя через развертывание функций и операций деятельности компании. Цель СФК гарантировать качество с самой первой стадии создания и развития нового продукта.
Ключевые слова: дом качества, СФК, структурирование производственных процессов, программный продукт.

A. V. Chabanenko*
PhD, Tech., Associate Professor
*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF THE PROGRAM FOR STRUCTURING THE QUALITY FUNCTIONS «QUALITY HOUSE QFD»

The article discusses a software product based on the original Japanese methodology – the structuring of the quality function or abbreviated SQF – a systematized way of deploying the needs and wishes of the consumer through the deployment of functions and operations of the company's activities. The goal of SFC is to guarantee quality from the very first stage of the creation and development of a new product.
Keywords: house of quality, SFC, structuring of production processes, software product.

Введение

Перед среднестатистическим потребителем сегодня открывается пространство выбора из множества продуктов и услуг с аналогичными характеристиками. Выбор большинства потребителей делается, основываясь на совокупном восприятии ценности того или иного объекта выбора или его качества. Потребители обычно пытаются получить «наилучший вариант за вложенные средства». Поэтому организациям для сохранения конкурентоспособности на рынке необходимо научиться определять, на чем основывается потребительское восприятие ценности и качество услуги или продукта, какие из характеристик являются для них приоритетными при выборе: рабочие, совместимость с другими продуктами или дизайн. Современные успешные организации применяют методику сбора и интеграции мнения потребителя (СФК) на этапы разработки и производства продукции. В ходе применения организациями структурированного процесса происходит определений потребностей и желаний своих клиентов с последующим преобразованием их в проекты конкретных продуктов и

разработку технологических планов производства. Характеристики разработанного продукта учитывают и удовлетворяют выявленным потребностям клиентов. Процесс или инструмент, который они используют, называется развертыванием функции качества (QFD на английском и СФК на русском).

Развертывание функции качества (QFD) – это процесс и набор инструментов, используемых для эффективного определения требований клиентов и преобразования их в подробные технические спецификации и планы по производству продуктов, соответствующих этим требованиям. QFD используется для преобразования требований заказчика в измеримые проектные цели и продвижения их от уровня сборки вниз до уровней подсборки, компонентов и производственного процесса. Методология QFD предоставляет определенный набор матриц, используемых для облегчения этого продвижения.

QFD был впервые разработан в Японии Ёдзи Акао в конце 1960-х годов, когда он работал на верфи Mitsubishi. Позже он был принят другими компаниями, включая Toyota и ее цепочку поставок. В начале 1980-х QFD был представлен в Соединенных Штатах в основном тремя крупными автомобильными компаниями и несколькими производителями электроники. Популяризация использования QFD в США первоначально было довольно медленным, но с тех пор приобрело популярность и в настоящее время используется во множестве организаций.

Структурирование качества

Являясь инструментом визуального представления, СФК получило также название «Дом Качества» (ДК), которое отражает применяемое графическое решение данного метода, представленное на рис. 1 вместе с его структурой.

Рис. 1. Структура «Дома качества»

Первая секция, как правило, представляет собой диаграмму сродства, применяемую для трансляции запросов и пожеланий потребителей. Особенно важным на данном этапе представляется корректность трактовок запросов потребителей, поскольку ошибки в данном сегменте приводят к ложным выводам из уже развернутого Дома Качества.

Предплановая матрица, вторая секция, состоит из множества разделов информации, собранной из результатов исследования рынка. Обычно она содержит информацию:

– об оценке значимости запросов потребителей;

– об оценке возможности произвести продукцию или услугу, отвечающим запросам потребителям;

– об оценке возможности конкурентов произвести продукцию или услугу;

– о восприятии продукции или услуги потребителями при продаже (обычно помимо рыночных данных описаются на опыт сотрудников и уже полученные данные для QFD).

Для работы с полученной информацией применяется математический аппарат и различные шкалы.

Оценка значимости для потребителя

– для формирования шкал значимостей используется абсолютная шкала значимость (от 3 до 10 баллов);

– шкала ценностей представляет собой стобалльную шкалу, в которой оценки чаще всего колеблются от 40 до 85;

После присвоения значений выполняется ранжирование запросов потребителей без ввода количественных оценок. Если не оговорено иного, то наибольшее значение балла подразумевает лучшее выраженное свойство.

Далее выставляются оценки будущему продукту, формулируя задачи о том, каким должен быть конечный продукт. Отображается уровень улучшения конечного продукта по сравнению с начальным продуктом. Для расчета пользуются выражением, а уровень берут эмпирически:

$$Y_i = C_i / B_i,$$

где Y_i – уровень улучшения, B_i – степень удовлетворения, C_i – задачи.

После проведения вычислений производится расчет обобщенной весовой характеристики для каждого запроса потребителя на основании информации предплановой матрицы и решений, принятых на предыдущем этапе:

$$Z_i = \frac{I_i \cdot C_i \cdot S_i}{B_i'},$$

где Z_i – вес строки, общая весовая характеристика, I_i – значимость для потребителя, S – точка продаж (определяется командой)

Технические термины «технические отклики» или «характеристики качества» (ХК) являются необходимыми в организации понятиями, применяемыми

для перевода описания продукта из матрицы голоса потребителей на язык понятный конструкторам продукции.

Характеристики качества размещаются в третьей секции в качественном виде и в шестую секцию в количественном виде, они описывают продукцию, технические параметры, включенные в техническое задание, и определяя область применения.

Техническая корреляция

«Крыша» дома качества, пятый сегмент, представляет собой корреляционную матрицу, описывающую взаимосвязи между различными характеристиками продукта и тесноту этих связей. При разработке проекта приходится вносить множество изменений в конструкцию и налаживать связь между отделами, ДК отражает степень влияния изменения характеристик друг на друга, что помогает в принятии решений.

Техническая матрица

Характеристики качества в QFD отражают качественную информацию. Приоритет технического отклика (количественное значение) рассчитывается как сумма всех значений каждого столбца матрицы зависимостей. Установка приоритетов позволяет сократить число ХК и выбрать контрольные ХК для конкурентного анализа.

Конкурентный анализ представляет из себя процесс сравнения контрольных ХК конкурентов и собственной продукции. Результаты в контрольных точках отражают недоработки и превосходство оцениваемой продукции. Результаты представляются в виде диаграммы и таблиц.

Особенности разработанного программного продукта

Запросы потребителей, собранные методом проведения опросов с последующей обработкой, заносятся в программе в матрицу сегмента один, носящую наименования «ЧТО». Для занесения полученной информации в данную матрицу необходимо кликнуть по выделенной клетке правой кнопкой мыши и выбрать пункт «Добавить строку ЧТО» контекстного меню. После этого появится «Диалоговое окно «Изменение заголовка», в котором возможно задать наименование ХК данной строки. Внешний вид программы и диалоговое окно, возникающее на данном этапе представлено на рис. 2.

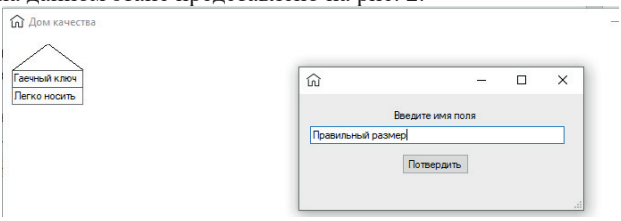


Рис. 2. Изменение названия ХК строки матрицы «ЧТО»

Для занесения следующих строк (запросов) возможно воспользоваться уже описанным способом, однако более удобным является способ цепного или связанного создания. Для этого нужно правой клавишей по уже созданному заголовку. В контекстном меню кликаем на пункт «Добавить». После нажатия появится окно, аналогичное первому способу «Название заголовка» рис. 2, в которое необходимо ввести очередное наименование и нажать «Подтвердить»/«ОК».

После внесения всех ХК в программе будет отображаться СФК с заполненными заголовочными областями матрицы «ЧТО». После это шага можно переходить к заполнению тела матрицы.

Для того чтобы заполнить первую пустую ячейку столбца, например «важность», нужно кликнуть по выбранной клетке левой клавишей и ввести во всплывшем диалоговом окне рассчитанное значение, например «2». Последующие значения вносятся аналогичным методом. Пример заполнения представлен на рис. 3.

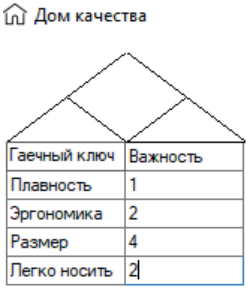


Рис. 3. Заполнение столбца «Важности» матрицы «ЧТО»

Добавление нового параметра в матрицу «ПОЧЕМУ» – «Относительная важность». Для добавления необходимо нажать правой кнопкой мыши и выполнить команду «Добавить». В появившемся окне «Изменение заголовка» необходимо выполнить следующее:

– в поле «Наименование» вписываем название ХК: «Относительная важность %»;

– далее в окне отмечается в пункт «Вставить формулу для расчета значений»;

– в поле «Формула» вносится формула, описывающая алгоритм расчета в клетке, например, «= (0)/СУММ (0) * 100»

– Далее вносится информация о необходимо отражении точности вычислений в поле «количество знаков после запятой» заносится натуральное число.

Для понимания функционирования введенной функции необходимо знать следующее: функция «(0)» возвращает значение из той же матрицы (ПОЧЕМУ), из столбца № 0 (нумерация столбцов начинается с нуля), из соответствующей

ячейки в столбце. Функция «СУММ (0)» возвращает сумму всех значений столбца 0. Результат заполнения представлен на рис. 4.

Результат в ячейке равен сумме произведений соответствующих ячеек двух столбцов. Один из которых – столбец «КАК», соответствующий результирующей ячейки, а второй – столбец «ПОЧЕМУ» имеющий номер 2. «Относительная важность» рассчитывается аналогично с разделом заполнения матрицы «ПОЧЕМУ».

Гаченый ключ	Длина ручки	Вес	Важность
Эргономичнос	9		3
Легко носить	9	3	2
Размер	9	9	2
Важность	80	18	

Рис. 4. Заполненная матрица в «Доме качества»

Реализация функций в разработанном программном обеспечении.

Любая формула должна начинаться с символа: «=». В формуле разрешается применять следующие операции: «+», «-», «*», «/», «()»; разрешено применение чисел, например: «=3+6». В формулах не допускается использование символа «пробел».

Для применения в программе доступны функции Microsoft Exel.

Функция «Зависим (2)» – Результат в ячейке равен сумме произведений соответствующих ячеек двух столбцов. Один из которых – столбец «КАК», соответствующий результирующей ячейки, а второй – столбец «ПОЧЕМУ» имеющий номер 2

Функция Сумм (0:0) производит расчёт суммы элементов в ячейках (в случае работы с матрицей «почему» цифры – номер соответствующего столбца, с матрицей «сколько» – номер строки). В качестве аналога приведем функции Exel; Сумм(A0:C0) или Сумм(A0:A7).

Развертывание функции качества не только позволяет формализовать процедуру определения ключевых характеристик качества с учетом потребностей потребителя, но получить данные для принятия обоснованных решений по управлению качеством процессов создания продукта или услуги.

Библиографический список

1. Chabanenko A V and Yastrebov A P. 2018 Quality Assurance of Hull Elements of Radio-Electronic Equipment by Means of Control System J. Phys.: Conf. Ser.1515 052065.

2. Семенова Е. Г., Чабаненко А. В., Назаревич С. А. Выявление ключевых показателей качества технологиического процесса производства корпуса РЭА на основе FDM РАДИОПРОМЫШЛЕННОСТЬ Вопросы радиоэлектроники. М. № 4. 2017. С. 53–59.

3. Chabanenko A.V., Anatoly P.Y. Quality Assurance of Hull Elements of Radio-Electronic Equipment by Means of Control System / IEEE International Conference. 2018.

4. Electrodynamic analysis of materials for the antenna elements Chabanenko, A., Frolova, E., Balashov, V., Smirnova, M. 2018 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering

5. Обеспечение качества аддитивного производства посредством системы контроля послойного синтеза / А.В. Чабаненко, Е.Г. Семенова, В.О. Смирнова, А.О. Смирнов, Н.Н. Рожков // Вопросы радиоэлектроники. 2018. №10. С. 75–79.

6. Чабаненко А. В. Управление качеством аддитивных изделий // РИА: Журнал.: «Стандарты и качество». 2018. №2. С. 90–94.

СОДЕРЖАНИЕ

ОБРАБОТКА И ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ В ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ 3

Афанасьева А. В. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДХОДОВ К ФОРМИРОВАНИЮ МЯГКОГО КАНАЛА В СТЕГАНОГРАФИИ 4

Белокуров Д. А., Шамакова Е. С., Коломойцев В. С. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ БОТ-АККАУНТОВ В СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ 10

Богатырев В. А., Богатырев А. В., Богатырев С. В. РЕЗЕРВИРОВАННОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ С РЕГУЛИРОВАНИЕМ ЧИСЛА МЕСТ ОЖИДАНИЯ В УЗЛАХ 17

Богатырев В. А., Богатырев С. В., Богатырев А. В. ПРИОРИТЕТНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ С РЕПЛИКАЦИЕЙ КРИТИЧНЫХ К ОЖИДАНИЮ ЗАПРОСОВ 25

Верхова Г. В., Акимов С. В. ИНТЕГРАЦИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНЫХ КИБЕРСРЕД ВИРТУАЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ В ЕДИНУЮ КИБЕРСРЕДУ ПОСТИНДУСТРИАЛЬНОГО ОБЩЕСТВА 34

Веселова В. А., Вересова А. М., Овчинников А. А. К ВОПРОСУ О СТОЙКОСТИ КОДОВЫХ КРИПТОСИСТЕМ К АТАКАМ ПОНИЖЕНИЯ ПЛОТНОСТИ МАТРИЦ 40

Волынкин П. А. ЧАСТОТНЫЕ ПОРТРЕТЫ В ИДЕНТИФИКАЦИИ АВТОРСТВА 46

Дранощук А. Д., Веселов А. И. СЖАТИЕ ФОТОРЕАЛИСТИЧНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ТЕКСТОМ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ 52

Егоров В. В., Смаль М. С., Маслаков М. Л. СИНТЕЗ АНСАМБЛЯ СИГНАЛОВ ДЛЯ НАДЕЖНОЙ ПЕРЕДАЧИ КОМАНД УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫМИ СИСТЕМАМИ 59

Егоров М. Ю., Исанов К. А., Джан Д. В. ПЕРЕДАЧА И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОКАНАЛЬНОЙ НЕЙТРИННОЙ СВЯЗИ 66

Елисеев С. Н., Филимонова Л. Н. ОЦЕНКА КАНАЛОВ СТАНДАРТА 802.11P В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ 72

Ерышов В. Г., Ильина Д. В. АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЕЙСТВИЙ НАРУШИТЕЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ ПО НЕГЛАСНОМУ ДОБЫВАНИЮ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ, ОБРАБАТЫВАЕМОЙ НА ЗАЩИЩАЕМОМ ОБЪЕКТЕ 79

Ерышов В. Г., Ильина Д. В. МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ 85

Ефимов С. Е., Степанов Н. В., Тюрликов А. М. ИССЛЕДОВАНИЯ LORAWAN-КОЛЛИЗИИ СИГНАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ SDR 92

Исаева М. Н. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПОВ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКИХ АТАК С ПОМОЩЬЮ ПОЛУХРУПКИХ МЕТОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ 99

Исаева М. Н., Овчинников А. А. О ПОСТРОЕНИИ БЛОЧНО-ПЕРЕСТАНОВОЧНЫХ НИЗКОПЛОТНОСТНЫХ КОДОВ ДЛЯ КАНАЛОВ С ПАМЯТЬЮ 106

Коломойцев В. С., Коломойцева К. Р. КОНТРОЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ В СИСТЕМАХ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ 113

Красильникова О. И. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОСПРОИЗВОДИМЫХ В СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОМ ИЗОБРАЖЕНИИ ИНТЕРВАЛОВ ГЛУБИНЫ ПРОСТРАНСТВА 120

Миронов М. А., Петров А. С., Аникин К. В. АНАЛИЗ СОЕДИНЕНИЯ УСТРОЙСТВ В СЕТИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ 127

Овчинников А. А., Фоминых А. А. О НЕКОТОРЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯХ ИРРЕГУЛЯРНЫХ НИЗКОПЛОТНОСТНЫХ КОДОВ В КАНАЛАХ С ДВУМЯ СОСТОЯНИЯМИ 132

Пастушок И. А., Янковский Н. А. О ЗАВИСИМЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯХ ПОЯВЛЕНИЯ И ОБСЛУЖИВАНИЯ ЗАЯВОК В СИСТЕМЕ M/M/1 139

Пойманова Е. Д., Татарникова Т. М. МИГРАЦИЯ ДАННЫХ ВНУТРИ ФИЗИЧЕСКОГО ХРАНИЛИЩА ПО ПРИНЦИПУ РАВНОМЕРНОСТИ ОБРАЩЕНИЯ К ДАННЫМ 145

Попов И. Д. АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА В НЕЙРОСЕТЕВОЙ СИСТЕМЕ ОБНАРУЖЕНИЯ СЕТЕВЫХ АТАК 151

Попок П. В., Аблязов Д. А., Овчинникова Н. А. МОДЕРНИЗАЦИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМ, ПРЕДУПРЕЖДАЮЩИХ СТОЛКНОВЕНИЯ САМОЛЕТОВ 158

Потапов Е. В., Половнёва Ю. А., Скитев А. А., Хайлов А. Н. РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ UVM-ДРАЙВЕРА АНАЛОГОВОГО ТВ-СИГНАЛА 162

Рындюк В. А., Варакин Я. С., Писаренко Е. А., Пронченко Е. Н. НОВАЯ АРХИТЕКТУРА ДИАЛОГОВОГО АГЕНТА ДЛЯ ПРИКЛАДНОЙ ГЕНЕРАЦИИ ДИАЛОГОВ 169

Сергиенко А. Б., Апалина П. В. НЕКОГЕРЕНТНЫЙ ПРИЕМ СИГНАЛОВ В РЭЛЕЕВСКОМ КАНАЛЕ С БЫСТРЫМИ ЗАМИРАНИЯМИ НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕННОГО ОТНОШЕНИЯ ПРАВДОПОДОБИЯ 175

Силуков А. П., Аграновский А. В. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ КЛАССИФИКАЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТИПА ФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ДАТЧИКОВ 184

Синицын Е. А., Фридман Л. Б. ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПОСАДКИ 191

Тарасов В. В., Прохоренко А. Ю., Федотов Д. О. ТЕХНОЛОГИЯ MIMO В СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ 198

Татарникова Т. М., Кутузов О. И., Пойманова Е. Д. НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ РЕАЛИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРЕТО ПРИ ИМИТАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ФРАКТАЛЬНЫХ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ 204

Татарникова Т. М., Пойманова Е. Д. УПРАВЛЕНИЕ НАГРУЗКОЙ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЯХ КАК ИНСТРУМЕНТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ УСЛУГ 211

Трофимов А. Н., Таубин Ф. А. УЛУЧШЕННАЯ ВЕРХНЯЯ ГРАНИЦА ВЕРОЯТНОСТИ ОШИБКИ ДЕКОДИРОВАНИЯ В КАНАЛЕ С АДДИТИВНЫМ ШУМОМ 217

Фомичева С. Г. ГЛУБОКИЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ КАК ОБЪЕКТ ЗАЩИТЫ 223

Чемоданов А. А., Климов Т. С., Нестеренков О. А., Пастушок И. А. ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПЕРЕДАЧИ WEB-ТРАФИКА В БЕСПРОВОДНЫХ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СЕТЯХ 229

МОДЕЛИРОВАНИЕ И СИТУАЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ В ЭЛЕКТРОНИКЕ И ПРИБОРОСТРОЕНИИ 235

Винниченко А. В., Назаревич С. А. МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ КЛЮЧЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ 236

Добросельский М. А., Гулевитский А. Ю., Курносов В. И., Белова М. Ю. К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАЗЦОВ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ 243

Добросельский М. А., Гулевитский А. Ю., Курносов В. И., Лукин К. И., Белова М. Ю. ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ УРОВНЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА СЛОЖНЫХ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ..... 249

Егоров М. Ю., Степашкина А. С. КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОЛИМЕРЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ИЗЛУЧЕНИЯ..... 256

Иванова Г. Н., Андросенко Н. В. УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ – ЭВОЛЮЦИЯ ПОДХОДОВ..... 261

Копыльцов А. В. ОБ ОСОБЕННОСТЯХ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ, ПОРОЖДАЕМЫХ ЭРИТРОЦИТАМИ В УЗКИХ КАПИЛЛЯРАХ..... 268

Мателенок И. В. ВИДИМОСТЬ РАСПОЛОЖЕННЫХ ПОД ПОЛОГОМ ЛИСТВЕННОГО ЛЕСА ВОЗГОРАНИЙ С ВОЗДУХА И ЕЕ ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ФОРМЫ ДРЕВЕСНЫХ КРОН 274

Мишура Т. П. АНАЛИЗ СТАБИЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ МАССЫ СДОЗИРОВАННОГО СЫРЬЯ 283

Мишура Т. П. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОДНОЙ ПРОДУКЦИИ 288

Опалихина О. В. ДИСКРЕТНАЯ МОДЕЛЬ КОРРЕКТИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ 295

Семенова Е. Г., Ивакин Я. А., Ручьев А. Г., Смирнова М. С. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ КВАЛИМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА БАЗЕ ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКОГО ТРЕКИНГА 302

Туманов А. Ю., Кулинкович А. В., Туманов В. А. МЕТОДОЛОГИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЩИЩЕННОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ И ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ 308

Фролова Е. А., Тур А. С. УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА ВЫЯВЛЕНИЯ НЕАУТЕНТИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ 319

Чабаненко А. В., Белова М. Ю. АВТОМАТИЗАЦИЯ СБОРОЧНОГО ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА 324

Чабаненко А. В. РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММЫ ДЛЯ СТРУКТУРИРОВАНИЯ ФУНКЦИЙ КАЧЕСТВА «ДОМ КАЧЕСТВА QFD»..... 330

Научное издание

XXIV Международная научная конференция

ВОЛНОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Сборник статей

Часть 3

9 785808 815841

Ответственный за выпуск
В. И. Казаков

Редакторская подготовка *С. В. Денисовой*
Компьютерная верстка *А. Н. Колешко*

Подписано к печати 11.05.2021. Формат 60×84 1/16.
Уч.-изд. л. 19,9. Усл.-печ. л. 20,3. Тираж 200 экз. Заказ № 156.

Редакционно-издательский центр ГУАП
190000, Санкт-Петербург, Б. Морская ул., 67