

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК

Том 7. IT-технологии и электроника

Сборник научных трудов
XXI Международной конференции студентов, аспирантов
и молодых ученых

23–26 апреля 2024 г.

PROSPECTS OF FUNDAMENTAL SCIENCES DEVELOPMENT

Volume 7. IT-technologies and Electronics

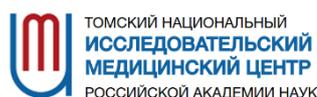
Abstracts

XXI International Conference of students, graduate students
and young scientists

April 23–26, 2024



Национальный
исследовательский
Томский
государственный
университет



Томск 2024

УДК 501:004(063)
ББК 72:32.81.л0
П27

Перспективы развития фундаментальных наук : сборник трудов XXI Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Томск, 23–26 апреля 2024 г.) : в 7 томах. Том 7. IT-технологии и электроника / под ред. И.А. Курзиной, Г.А. Вороновой. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2024. – 190 с.

ISBN 978-5-4387-1186-5 (т. 7)

ISBN 978-5-4387-1179-7

Сборник содержит труды участников XXI Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Перспективы развития фундаментальных наук», представленные на секции «IT-технологии и электроника».

Предназначен для студентов, аспирантов, молодых ученых и преподавателей, специализирующихся в области интеллектуальных систем управления, автоматизированных систем обработки информации и управления, информационной безопасности, наноэлектроники, получения и исследования наноматериалов, оптоэлектроники и нанофотоники, плазменной эмиссионной электроники, интеллектуальной силовой электроники, СВЧ электроники, систем радиолокации, телевидения, радиосвязи, радиометрии и распространения волн радиочастотного и акустического диапазонов, а также импульсных и радиочастотных измерениях.

УДК 501:004(063)
ББК 72:32.81.л0

Редакционная коллегия

И.А. Курзина, доктор физико-математических наук, доцент;

Г.А. Воронова, кандидат химических наук, доцент;

С.А. Поробова.

ISBN 978-5-4387-1186-5 (т. 7)
ISBN 978-5-4387-1179-7

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Digital image correlation (DIC): Decorrelation problem due to large strains <i>A.F. Abouellail</i>	6
Исследование частотных характеристик структуры с двукратным модальным резервирование <i>К.Н. Абрамова, А.В. Чуб</i>	9
Модель энергопотребления для сетей fanet в среде моделирования ns-3 <i>Д.А. Баранов, А.А. Конев</i>	12
Применение машинного обучения для анализа частотных характеристик двух связанных дифференциальных пар <i>Н.С. Павлов, С.В. Власов</i>	15
Способ трассировки двух дифференциальных пар с сильной электромагнитной связью между парами <i>С.В. Власов</i>	18
Анализ и автоматизация учета заявок на научные гранты при помощи современных программных средств <i>М.В. Галкина</i>	21
Эрозия катодов вакуумного дугового источника <i>В.Д. Гридилов</i>	24
Сравнение классификаторов для продлённой аутентификации по динамике движения зрачков <i>С.А. Давыденко</i>	27
Инициирование тлеющего разряда в форвакуумном источнике электронов с двухступенчатой разрядной системой <i>Ж.Э. Дагри, А.С. Климов, Т.В. Якобчук</i>	30
Верификация моделирования дипольного рассеивателя в системе TALGAT <i>Т.Ф. Данг, А. Ф. Алхадж Хасан</i>	33
Оценка качества голоса и речи <i>Г.Р. Егле, С.Д. Томилина, А.А. Чурилов</i>	36
Использование сиамской нейронной сети при отслеживании динамики реабилитации пациентов после инсульта <i>В.М. Ежова, Д.Е. Кошечко, С.А. Фоминых</i>	39
Обучение агентов в виртуальной среде KukaDiversObjectEnv <i>Н.Е. Залогин</i>	42
Влияние давления газа на ток эмиссии электронов в импульсном форвакуумном плазменном источнике электронов <i>А.В. Казаков, Н.А. Панченко, А.С. Попова</i>	45
Разработка асу для частного дома <i>К.И. Калашиников</i>	48
Доверенная система тестирования программного обеспечения устройств интернета вещей <i>Е.О. Калинин, Д.С. Беляков, Д.С. Брагин, О.Н. Дьяков</i>	51
Расчет отклонения и размеров сфокусированного электронного пучка прошедшего через изогнутую отклоняющую катушку <i>Г.А. Касьянов, И.Ю. Бакеев, А.А. Лыман</i>	54
Интерпретация данных системы контроля и управления доступом <i>К.И. Киселев</i>	57
Анализ временных откликов поглощающего полосно-заграждающего фильтра на воздействие преднамеренных электромагнитных помех <i>А.А. Киселева</i>	60
Исследование диэлектрических свойств слоистых покрытий на основе диоксида циркония и никеля <i>Т.О. Климкин, А.К. Нестеренко, С.А. Сальников</i>	63
Сбор данных электроэнцефалограмм для изучения методов биологической обратной связи <i>И.В. Ковалев</i>	67
Анализ и моделирование эксплуатации уязвимости «Apache Spark Unauthenticated Command Injection RCE» <i>А.С. Коваленко, В.С. Репкин, Н.И. Сермавкин</i>	70
Электронно-лучевая модификация Mn-Zn ферритов для СВЧ электроники <i>Н.С. Кораблев, А.С. Климов, А.А. Зенин</i>	73

Типизация механизмов защиты от угрозы добавления несанкционированного элемента в компьютерную систему <i>Д.А. Коровкин, Н.А. Коровкин</i>	76
Свёрточные нейронные сети при классификации изображений для выявления признаков болезней, связанных с мелкой моторикой <i>Д.Е. Кошечко, В.М. Ежова, С.А. Фоминых</i>	79
Определение состояния алкогольного опьянения с помощью методов машинного обучения <i>П.Ю. Лаптев, С.А. Литовкин</i>	82
Разработка автоматизированной системы обнаружения вредоносных URL-адресов <i>А.В. Ли, В.С. Репкин, Н.И. Сермавкин</i>	85
Классификация голоса и речи с точки зрения естественности с помощью средств машинного обучения <i>С.А. Литовкин, П.Ю. Лаптев</i>	88
Стенд для исследования нейронных сетей и методов противодействия состязательным атакам <i>Б.С. Лодонова, Я.А. Усольцев</i>	91
Модификация поверхности керамики из диоксида циркония импульсным форвакуумным плазменным источником электронов <i>А.В. Казаков, А.А. Лыман, Н.А. Панченко</i>	94
Двукратное модальное резервирование с переключением окончаний отказавших каналов <i>С.Р. Морозов</i>	97
Влияние шлейфов между проводниками двух связанных линий передачи на значения дальней перекрестной помехи <i>М.С. Мурманский</i>	100
Влияние числа витков модального фильтра на его частотные и временные характеристики <i>М.С. Мурманский</i>	103
Кремний-углеродные покрытия, полученные электронно-лучевым испарением карбида кремния <i>Л.Ж. Нгон А. Кики</i>	106
Разработка программного модуля для моделирования разреженных рупорных антенн в системе TALGAT <i>М.Т. Нгуен, А.Ф. Алхадж Хасан</i>	109
Синтез связанных микрополосковых линий передачи с помощью машинного обучения <i>Н.С. Павлов</i>	112
Оценка корреляции и взаимосвязи параметров состояния пациента <i>А.В. Павловский, А.А. Филипас</i>	115
Технологические решения для защиты аккаунтов от взлома <i>Д.В. Пекишев</i>	118
Сравнительная характеристика поверхности диоксида циркония обработанного электронным пучком и влияние параметров поверхности на экспрессию генов <i>А.Е. Петров, А.А. Зенин, Д.Е. Ивошин</i>	121
Разработка обучающего приложения–игры по высшей математике для студентов технических специальностей <i>Д.М. Петров</i>	124
Механизмы обеспечения безопасности цифровых профилей в системах интернета вещей <i>О.В. Пехов, Д.Р. Леконцев</i>	127
Автоматизация процесса управления ресурсами в рамках инженерных изысканий <i>Д.К. Пономарева</i>	130
Development of a Dynamic User Interface for an Electronic Device Descriptions Interpreter for Intelligent Sensors <i>R.V. Pushkarskiy V.A. Belsky</i>	133
Электрически управляемые спектральные фильтры на основе двухслойных чирпированных ФПМ-ЖК дифракционных структур <i>Д.С. Растрьгин, В.О. Долгирев</i>	136
Числовое определение для первой и второй формант безударных гласных русского языка <i>Н.С. Репьюк, В.И. Федосеев</i>	139
Разработка и апробация десктопного приложения офтальмологического профиля <i>Т.И. Романов, А.О. Аспомбитова</i>	142

Модификация свойств поверхностей керамических покрытий, синтезированных электронно-лучевым способом, при воздействии на них потоками ускоренных ионов металлов <i>С.А. Сальников, Т.О. Климкин, А.К. Нестеренко</i>	145
Разработка мобильного приложения для сопровождения психотерапии и самостоятельной психологической проработки <i>Т.С. Симонов, П.А. Пупенко, А.Ю. Пак</i>	148
Доказательство зависимости успеваемости ученика от его поведения в ходе моделирования автоматизированной системы управления обучением <i>А.С. Стецко</i>	151
Применение разряда с полым катодом для стимулирования реакции окисления при электронно-лучевом испарении алюминия <i>Ф.А. Суховольский, А.С. Попова, Л.Ж. Нгон А Кики</i>	154
Анализ качества устной речи с помощью метода LPC <i>С.Д. Томилина, Г.Р. Егле, А.А. Чурилов</i>	157
Анализ качества устной речи с помощью метода VOS <i>С.Д. Томилина</i>	160
Анализ диссипативных потерь в зеркально-симметричном модальном фильтре с электромагнитным поглотителем <i>В.А. Трубченинов, С.В. Власов</i>	163
Статистический анализ проводимых тестов для программного обеспечения <i>Е.В. Тулинова</i>	166
Моделирование рассеяния электромагнитных волн на объектах на основе параллельных вычислений <i>А.О. Хацкелева, А.В. Валиев</i>	169
Влияние режимов электронно-лучевого спекания на морфологию поверхности циркониевой керамики <i>А.С. Цымбалов, П.А. Самойлов, А.А. Зенин</i>	172
Ослабление электромагнитной помехи в структуре с двухкратным модальным резервированием до и после отказов <i>А.В. Чуб, К.Н. Абрамова</i>	175
Анализ качества устной речи с использованием LingWAVES 3 <i>А.А. Чурилов, С.Д. Томилина, Г.Р. Егле</i>	177
Исследование влияния толщины канального слоя на статические характеристики СВЧ транзистора на основе технологии 0,15 мкм рHEMT <i>А.Е. Шестериков, Д.А. Шестерикова</i>	180
Подсистема управления образовательным процессом на основе когнитивного подхода <i>Е.С. Шталина, Ф.Д. Пираков, Е.О. Ельцова</i>	183
Автоматизированное дешифрирование данных дистанционного зондирования Земли с применением нейросетевых моделей <i>А.Д. Элешкевич, М.С. Еременко</i>	186

Digital image correlation (DIC): Decorrelation problem due to large strains

A.F. Abouellail

Scientific Supervisor: Prof., Dr. M.V. Trigub

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: abuellail@tpu.ru

Abstract. *The digital image correlation (DIC) method was used to calculate the strain field of a sample experiencing large deformations during a tensile test. Two codes were used for the calculation (the iCorrelate-vision 2D code and GOM software). Three calculation options were applied; the spatial correlation of images was evaluated, as was the incremental correlation of successive images. A comparison of the results is given in the article. Mainly, the decorrelation problem arises due to the poor matching between the correlated subsets in the case of large strains. Poor matching can result from large changes in the speckle pattern. Updating the reference image can minimize these changes. When using a fixed reference image, the correlation algorithm will not be able to track significant changes in the deformed target subset, which will lead to a failure in the matching between the reference and deformed subsets, even when using correlation algorithms with very high efficiency.*

Key words: *Digital Image Correlation, Large strain, Decorrelation, optical inspection of surfaces.*

Introduction

In engineering, visual inspection of surfaces is regarded as the first conventional method for assessing the condition of mechanical and civil structures. The optical inspection technique is considered an extension of visual inspection. Optical inspection techniques are superior to visual inspection as they are capable of detecting not only microscopic defects on the tested surfaces but also cracks under the inspected surfaces [1]. A promising optical method for strain field evaluation is digital image correlation. The 2D-DIC method is an optical technique for non-destructive testing that must follow three basic steps: surface preparation to create an artificial speckle pattern; digital image recording during all the different loading stages; and image processing using computer code to extract the strain field and several other parameters [2].

A full-field strain might be easily calculated using DIC. Essentially, a series of sequential digital photos are taken as the surface deforms, and each distorted photo is compared to a single reference photo that was taken before any deformation. Using a fixed reference image, the prior method is regarded as a traditional DIC.

Methodology

The DIC method was used to inspect a metal surface that was experiencing large strains during a tensile test. The bead-blasting method was used to apply the speckle pattern to the surface of the stainless-steel specimen. Without changing the specimen's dimensions, the bead-blasting process eliminates material from the tested surface. The speckle pattern was created by shining the ring light on the bead-blasted surface. A set of images containing the reference image was selected from sample 13 of the DIC challenge report [3]. The general DIC parameters were set as follows: For the subset size, it was set at 81×81 pixels, and the step size was 40×40 pixels. The values of the subset size and the step size were chosen according to the recommendations of "A Good Practice Guide for Digital Image Correlation" issued by the International Digital Image Correlation Society (iDICs) [4]. The bi-cubic interpolation was applied to achieve sub-pixel accuracy. The full-field strain was computed by analyzing the tensile test photos using iCorrVision-2D code and GOM correlate software.

The deformed images were correlated spatially (by applying one reference image) and incrementally (by updating the reference image). In the case of the spatial correlation, the first

image served as a fixed reference image. In the scenario of incremental and spatial correlation, the strain field in the Y-direction E_{yy} was computed. The strain field was calculated, and a strain-field color map was displayed for stages 3 and 4. Based on the calculations of the iCorrVision-2D code and the GOM correlate program, the results of each case were compared.

Results

Both spatially and incrementally correlated images were used to compute the E_{yy} strain field results. Three cases (a, b, and c) with computed strain field data were compared. In case a, images were spatially correlated. The same calculations were repeated for cases b and c with incrementally correlated images. The results of the spatially correlated image were unreliable because of poor matching, or what is known as the de-correlation effect. It is clear from Figures 1 and 2 for the strain field data that the image began to de-correlate after the third-stage image. From spatially correlated images, the strain field value, up to a maximum of about 5 %, could be computed. The strain field values higher than 5 % between the reference image and the deformed image underneath the same scenario for correlation (e.g., the subset size of 81×81 pixels) lead to significant errors in the results. However, the incrementally correlated results showed good agreement for both codes.

This inaccuracy arises from a poor match between the original fixed reference picture prior to deformation and the images at the present stage of deformation. It's crucial to note that case a's maximum strain field value for the third stage of deformation is 4.9 %, which is extremely similar to case b's and case c's values of 4.6 % and 4.69 %, respectively. Figure 1 shows the results from the third stage of deformation, while Figure 2 shows stage 4 of the deformation of the sample.

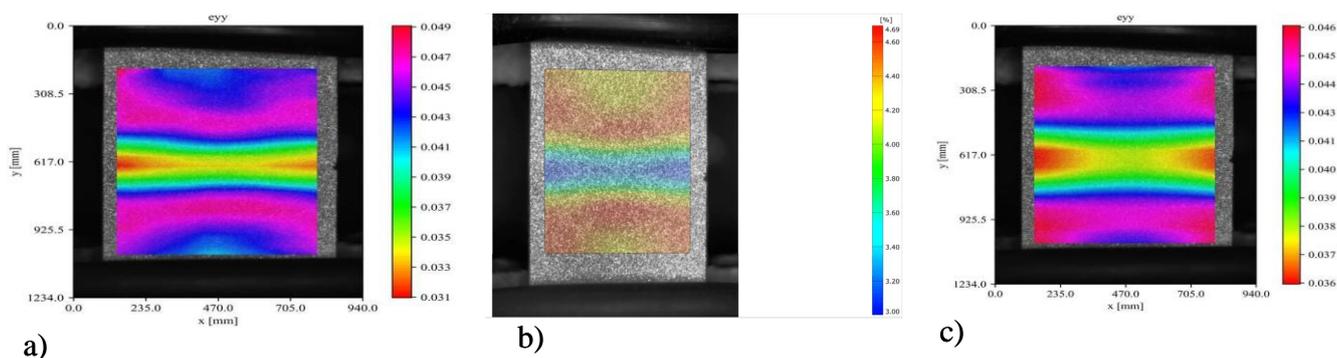


Fig. 1. The third stage strain field E_{yy} for the three cases: (a) spatial correlation using iCorrelate code; (b) incremental correlation using GOM software; and (c) incremental correlation using iCorrelate code

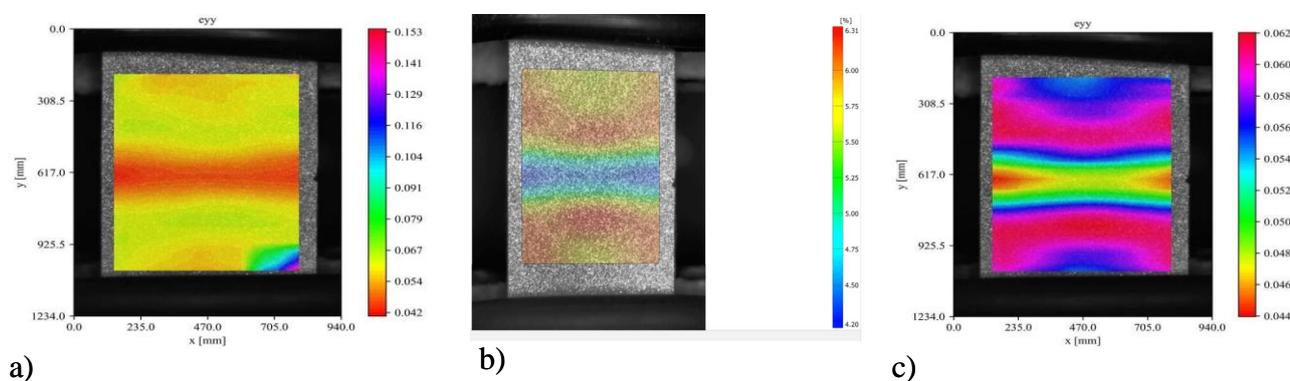


Fig. 2. DE correlation problem in the fourth stage of strain field E_{yy} for the three cases: (a) spatial correlation using iCorrelate code, (b) incremental correlation using GOM software, and (c) incremental correlation using iCorrelate code

Conclusion

For large strains, the DIC can suffer from the DE correlation. Based on the shown results, it is clear that the incremental correlation outperforms the spatial correlation in the case of large strains. Reducing the differences between the two images with large strains is one way to reduce the DE correlation impact. By employing a deformed image from the previous correlation as a new reference image in the current step of correlation rather than using the same initial image in each correlation step, updating the reference image might minimize the change. When utilizing a fixed reference image, the correlation algorithm will not be able to track significant changes in the deformed target subset, which will lead to a failure in matching between the reference and deformed subsets. Nevertheless, in the majority of cases, the traditional DIC with spatial correlation can provide a reliable strain field result. Large deformations, significant variations in surface illumination, or other factors might alter the speckle pattern during the correlation process, which can have a detrimental DE correlation effect. The problem could be solved by updating the reference image.

References

1. Viotti M.R., Albertazzi A. Society of Photo-optical Instrumentation Engineers. Robust speckle metrology techniques for stress analysis and NDT. 176 p.
2. Sutton M.A. et al. Scanning electron microscopy for quantitative small and large deformation measurements Part II: Experimental validation for magnifications from 200 to 10,000 // *Exp. Mech.* – 2007. – Vol. 47, № 6. – P. 789–804.
3. Reu P.L. et al. DIC Challenge: Developing Images and Guidelines for Evaluating Accuracy and Resolution of 2D Analyses // *Experimental Mechanics.* – 2018. – Vol. 58, № 7. – P. 1067-1099.
4. Jones E.M., Iadicola M.A. A Good Practices Guide for Digital Image Correlation - Standardization, Good Practices, and Uncertainty Qualification Committee // *Int. Digit. Image Correl. Soc.* – 2018. – 101 p.

УДК 621.372.22

**Исследование частотных характеристик структуры
с двукратным модальным резервированием**

К.Н. Абрамова, А.В. Чуб

Научный руководитель: к.т.н. Е.С. Жечев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: kseniiia.n.abramova@tusur.ru

Investigation of frequency characteristics of the structure with double modal redundancy

K.N. Abramova, A.V. Chub

Scientific Supervisor: PhD. Y. S. Zhechev

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,

Lenin str., 40, 634050

E-mail: kseniiia.n.abramova@tusur.ru

Abstract. *The paper presents the investigation results of the frequency characteristics of a structure with double modal redundancy (MR). The structure is implemented on a double-sided printed circuit board made of FR-4 with total dimensions of 130×75×1.5 mm. The authors used the FEM method to perform electrodynamic simulation of the structure characteristics in the frequency range from 0 to 18 GHz. The simulation and measurement results indicate that the structure with the double MR exhibits the characteristics of reflectionless low-pass filters. The cutoff frequency was 95 MHz when 1 conductor was primary.*

Keywords: *Electromagnetic interference, modal redundancy, electromagnetic compatibility.*

Введение

Одним из способов повышения надежности и отказоустойчивости электронных устройств является резервирование. При выходе из строя резервируемого устройства подключается его резервная копия, что позволяет продолжить работу в том же режиме без необходимости остановки для проведения диагностики и замены неисправного оборудования. Для одновременного повышения отказоустойчивости и помехозащищенности предложен способ холодного резервирования с применением модальной фильтрации, называемый модальным резервированием (МР) [1]. МР представляет собой способ трассировки, в котором предполагается наличие двух и более печатных проводников (основного и резервного/резервных), между которыми образуется сильная электромагнитная связь, что позволяет за счет модальных искажений реализовать защиту электронных устройств от электромагнитных помех. Увеличение кратности резерва позволяет повысить отказоустойчивость электронных устройств, за счет увеличения вариантов отказа, а также увеличить подавление ЭМП за счёт длительности импульсов разложения. Ранее уже были исследованы структуры с однократным [2] и трехкратным МР [3]. Целью же данной работы является проведение экспериментального исследования частотных характеристик структуры с двукратным МР.

Экспериментальная часть

На рисунке 1 приведены поперечное сечение и схема включения полосковой структуры с двукратным МР. Структура реализована на двухслойной печатной плате, на каждой стороне которой расположено по два проводника. Параметры поперечного сечения исследуемой структуры: толщина основания платы $h = 1,5$ мм, толщина фольги $t = 35$ мкм, ширина проводников $w = 1,8$ мм и расстояние между проводниками $s = 1$ мм. В качестве

основания платы выбран материал FR4 с относительной диэлектрической проницаемостью (ϵ_r) – 4,7 и тангенсом угла потерь ($\text{tg}\delta$) – 0,025.

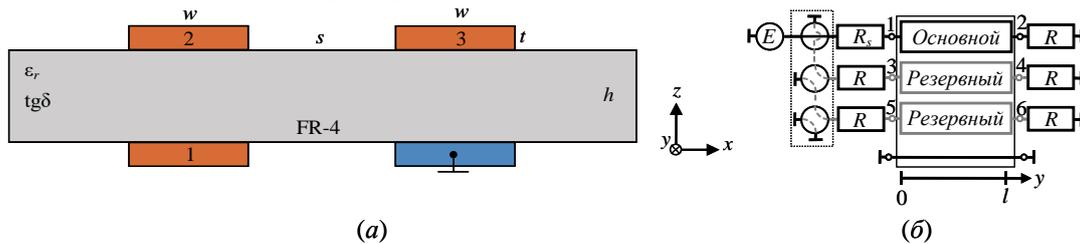


Рис. 1. Поперечное сечение и схема включения структуры с двукратным МР

Один из проводников 1, 2 или 3 может являться основным, в то время как два других будут резервными. Оставшийся (синий) проводник является опорным. Для согласования структуры с радиочастотным трактом, сопротивления резисторов R приняты равными 50 Ом. В случае отказа основной цепи, источник сигнала переключается на резервную цепь.

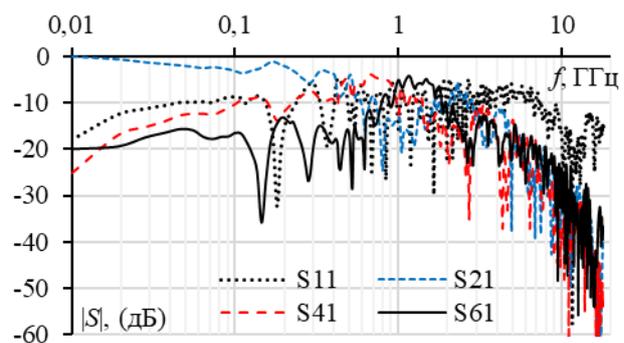
Для получения частотных характеристик структуры с двукратным МР выполнено электродинамическое моделирование и экспериментальное исследование в частотном диапазоне от 10 МГц до 18 ГГц. На рисунке 2а показана экспериментальная установка для анализа частотных характеристик, которая включает в себя: векторный анализатор цепей (ВАЦ) R4M18 (Микран), высокочастотные фазостабильные кабельные сборки, набор калибровочных мер (Микран), персональный компьютер и исследуемое устройство. Экспериментальное исследование проводилось на основе методики представленной в [4].

Результаты

Получены частотные зависимости вносимых и обратных потерь, а также перекрестных помех на дальних концах резервных проводников для случая, когда основным является первый проводник (рисунок 2б). В области нижних частот значения $|S_{21}|$, $|S_{43}|$ и $|S_{65}|$ близки к нулю, а на высоких частотах наблюдается характерный спад. Это говорит о том, что структура представляет собой фильтр нижних частот. Для случаев до отказа при подаче питания на первый проводник частота среза (f_c) составила 95 МГц. Частота первого резонанса (f_0) составила 0,81 ГГц.



(а)



(б)

Рис. 2. Экспериментальная установка (а) и частотные зависимости S -параметров для случая, когда основным является 1й проводники (б)

Часть энергии отражается в обратном направлении, для случаев до отказа возвратные потери получены в пределах -10 дБ. Максимальные значения $|S_{11}|$, $|S_{44}|$ и $|S_{66}|$ в полосе пропускания не превышают -8,7 дБ. Близкое расположение проводников приводит к тому, что значительная часть энергии передается на соседние резервные проводники – $|S_{41}|$ и $|S_{61}|$, $|S_{23}|$ и $|S_{63}|$ и $|S_{25}|$ и $|S_{45}|$. До 1 ГГц значения перекрестных помех на соседних проводниках возрастает, а с увеличением частоты начинает уменьшаться.

Для оценки результатов, полученных при моделировании и измерениях, выполнен FSV анализ. Для двух наборов данных, представленных на рисунке 3а, получены гистограммы глобальных параметров FSV (рисунок 3б). Видно, что частотные зависимости структуры с двукратным МР, полученные при моделировании и измерениях, согласуются с оценкой «Удовлетворительно». Тем не менее, 44 % дискретных значений частотных зависимостей согласуются с оценками «отлично», «очень хорошо», «хорошо».

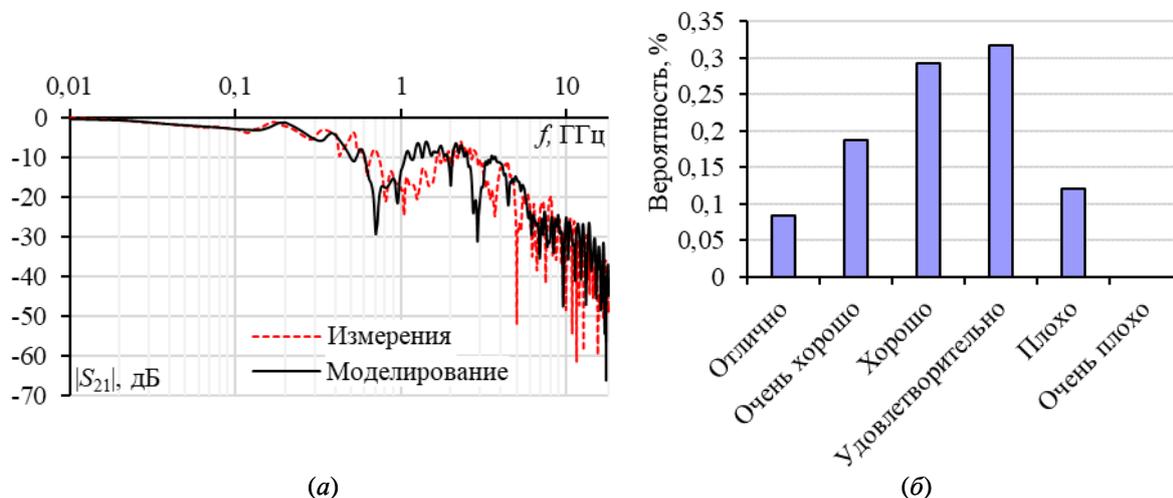


Рис. 3. Частотные зависимости $|S_{21}|$ (а), полученные при моделировании и измерениях, а также полученные для них гистограммы GDM (б)

Заключение

В результате проведенного исследования можно сделать вывод, что структура с двукратным МР обладает характеристиками фильтров нижних частот поглощающего типа. При подаче питания на 1 проводник частота среза составила 95 МГц. Частота первого резонанса составила 0,81 ГГц. Возвратные потери получены в пределах -10 дБ. Для оценки результатов моделирования и эксперимента выполнен FSV анализ. Результаты сравнения показали, что данные согласуются с оценкой «Удовлетворительно».

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда проект №20-19-00446, (<https://rscf.ru/project/23-19-45036/>) в ТУСУРе.

Список литературы

1. Газизов Т.Р., Орлов П.Е., Заболоцкий А.М., Буичкин Е.Н. Новый способ трассировки печатных проводников цепей с резервированием // Доклады ТУСУР. – 2015. – № 3 (37). – С. 129–131.
2. Medvedev A.V., Zhechev Y.S. and Gazizov T.R. Experimental study of a structure with single modal reservation before and after failure // IEEE Trans. Electromagn. Compat. – 2022. – Vol. 64, № 4. – P. 1171–1181.
3. Medvedev A.V., Zhechev Y.S. and Gazizov T.R. Experimental Study of a Structure With Triple Modal Reservation Before and After Failures // IEEE Trans. Electromagn. Compat. – 2023. – Vol. 65, № 1. – P. 360–363.
4. Kosteletskii, V.P. Method for experimental study of circuits with triple modal reservation in time and frequency domains // International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon 2022). – 2022. – P. 1–6.

Модель энергопотребления для сетей fanet в среде моделирования ns-3

Д.А. Баранов, А.А. Конев

Научный руководитель: профессор, д. т. н., А.А. Шелупанов
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск пр. Ленина, 40, 634050
Email: bda@csp.tusur.ru

Energy model for fanet networks in the ns-3 simulation environment

D.A. Baranov, A.A. Konev

Scientific Supervisor: Professor A.A. Shelupanov
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenina str., 40, 634050
Email: bda@csp.tusur.ru

Abstract. *The development of an energy consumption model in the NS-3 simulation environment, which will be safety-oriented in the future, is presented.*

Key words: *Energy model, UAV, FANET, NS-3.*

Введение

В современном мире применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) становится всё более разнообразным благодаря улучшению технологий их управления, полетных характеристик и обмена данными. Тем не менее, защита БПЛА от возможных атак становится значимой проблемой, так как они подвержены риску перехвата управления, блокировки или подмены передаваемых данных [1, 2].

Особую сложность представляет защита групповых операций БПЛА, где требуется не только обеспечить безопасность передачи данных, но и эффективное использование энергии каждого аппарата. При этом, существующие методы защиты часто не учитывают, как действия по обеспечению безопасности влияют на энергопотребление БПЛА, что может существенно сократить время их автономной работы. Таким образом, исследование и разработка оптимальных решений для минимизации потребления энергии при обеспечении безопасности становятся крайне важными для дальнейшего развития и эффективного использования БПЛА в различных областях [3].

Для разработки и анализа таких решений, направленных на минимизацию энергопотребления при сохранении высокого уровня безопасности БПЛА, активно используется моделирование [4]. Симулятор NS-3 представляет собой инструмент для имитации работы сетей, включая те, что задействованы в управлении БПЛА. Данный симулятор позволяет тестировать информационный обмен между участниками системы, а также учитывать процессы, влияющие на потребление энергии устройствами, реализуя разнообразные сценарии виртуальных атак. Благодаря возможностям NS-3 по детализации процессов на низком уровне, существует возможность точно оценить, как изменения в протоколах обмена данными или алгоритмах шифрования влияют на общее энергопотребление системы.

Экспериментальная часть

Текущая реализация модуля для анализа энергопотребления в симуляторе NS-3 обладает определенными ограничениями, которые могут затруднить точную оценку затрат энергии в условиях взаимодействия в сетевой среде (рис. 1). В частности, модуль работает отдельно от сетевых узлов и не принимает во внимание детали информационного обмена между ними. Это значит, что влияние передачи данных на потребление энергии не отражается в расчетах

модуля напрямую. Вместо этого, для анализа энергопотребления используется упрощенный подход, основанный на фиксации изменений тока в определенные моменты времени, без учета контекста этих изменений, связанного с активностью узлов сети:

$$E = P * t,$$

где E – емкость батареи, P – мощность нагрузки, t – время автономной работы батареи.

В результате модернизации, модель энергопотребления в симуляторе NS-3 была улучшена. Новая версия модуля, схема которой представлена на рисунке 1 (справа), включает в себя прямую связь между сетевыми узлами и источниками энергии. Это изменение обеспечивает более точное и гибкое управление энергопотреблением, позволяя настраивать взаимосвязь между потреблением энергии узлами сети и доступными источниками энергии. Такой подход значительно расширяет возможности для анализа и оптимизации энергоэффективности в различных сценариях использования сети.

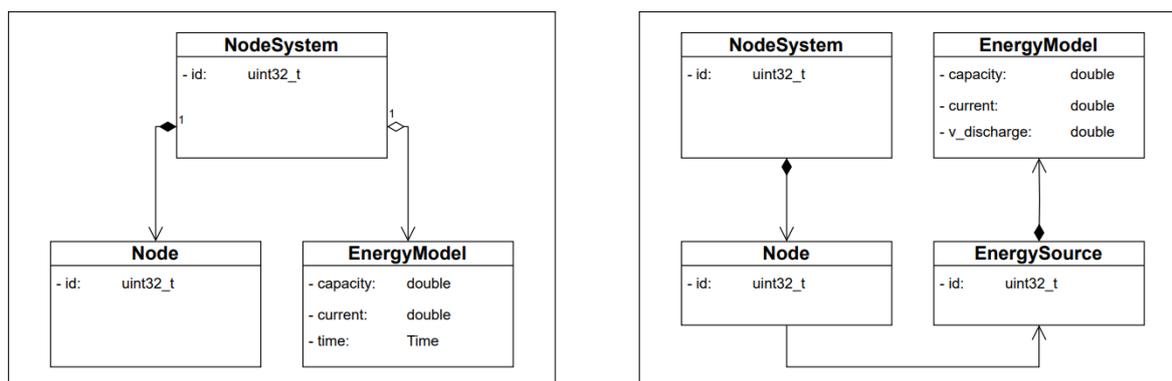


Рис. 1. Структурная схема моделей расчета энергии

Основной расчет позволяет модели учитывать временные промежутки, необходимые на отправку, получение и предобработку пакетов при обмене:

$$C = \frac{I}{C_v}$$

где C – номинальная емкость батареи, I – ток разряда батареи, C_v – относительная скорость разряда батареи за 1 час.

При постоянном токе нагрузки системы, относительная скорость разряда батареи будет полностью зависеть от затрачиваемого на обмен времени:

$$C = I * (3600 - \sum t)$$

Результаты

После успешного тестирования на точность расчётов, обновлённый модуль энергопотребления был интегрирован в симулятор. В эксперименте участвовал узел, двигавшийся линейно на 1 км, а также одна базовая станция и сервер, моделирующий атаковую сторону, при этом коммуникация осуществлялась через протокол LTE. Полученные данные эксперимента, демонстрирующие работу системы в двух разных сценариях, отображены на рисунке 2. Влияние атаки на узел сети сократило время автономной работы на 10 минут.

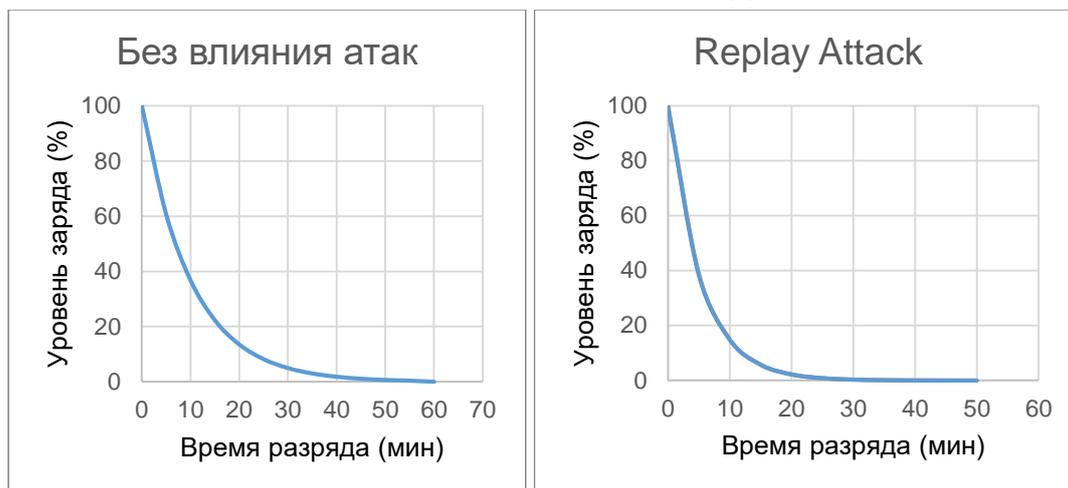


Рис. 2. Результаты влияния атак на энергопотребление узла

Заключение

Из анализа данных, демонстрируемых на рисунке 2, следует, что модель энергопотребления точно отражает расход энергии батареи узла, что подтверждено данными трассировки. Разработанный модуль эффективно анализирует эффекты атак на систему связи, предлагая высокую адаптивность к различным протоколам в симуляторе. Это расширяет возможности моделирования, позволяя исследовать защиту и устойчивость к атакам для групп движущихся и взаимодействующих объектов, таких как БПЛА.

Список литературы

1. Баранов Д.А., Брагин Д.С. Модель группового распределения БПЛА в среде моделирования NS-3 // Перспективы развития фундаментальных наук. – 2023. – Т. 7. – С. 22–24.
2. Bragin D.S., Urazayev D.R., Konev A.A., Cherepanova I.V. Onboard device for UAS remote identification // J. Phys.: Conf. Ser. – 2021. – Vol. 1989. – P. 012044.
3. De Rango F., Potrino G., Tropea M., Santamaria A.F., Fazio P. Scalable and lighthway bio-inspired coordination protocol for FANET in precision agriculture applications // Comput. Electr. Eng. – 2019. – Vol. 74. – P. 305-318.
4. Al-Mousa A., Sababha B.H., Al-Madi N., Barghouthi A., Younis R. UTSim: A framework and simulator for UAV air traffic integration, control, and communication. // Int. J. Adv. Robot. Syst. – 2019. – Vol. 16, Iss. 5. – P. 1-19.

УДК 621.391.31

**Применение машинного обучения для анализа частотных характеристик
двух связанных дифференциальных пар**

Н.С. Павлов, С.В. Власов

Научный руководитель: к.т.н. Е.С. Жечев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: lukashinka12@gmail.com

**The use of machine learning for analyzing of frequency characteristics
of two coupled differential pairs**

N.S. Pavlov, S.V. Vlasov

Scientific Supervisor: Ph.D. Y.S. Zhechev

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenina str., 40, 634050

E-mail: lukashinka12@gmail.com

***Abstract.** Careful computer simulation is more often used in the development of radio-electronic devices. However, that requires significant computational effort and time. The application of machine learning (ML) is becoming important to simplify the analysis of electronic devices characteristics. This paper presents the simulation results and application of ML for frequency response prediction.*

***Key words:** differential pair, machine learning, linear regression, polynomial regression, neural network.*

Введение

При разработке современных радиоэлектронных устройств необходимо тщательно моделировать их характеристики, что требует значительных вычислительных и временных ресурсов [1]. Для упрощения анализа характеристик таких устройств актуально использовать технологию машинного обучения (МО), позволяющую прогнозировать зависимости и параметры устройств [2, 3]. Целью данной работы является создание моделей МО для прогнозирования частотных характеристик двух связанных дифференциальных пар в зависимости от количества витков и длины проводников. В качестве исследуемой структуры выбрана многопроводная микрополосковая линия. Такой выбор обусловлен тем, что в этой области проведено недостаточно исследований.

Материалы и методы исследования

Эквивалентная схема включения и поперечное сечение исследуемой структуры представлены на рис. 1. Геометрические параметры структуры: ширина проводников $w = 170$ мкм, расстояние между проводниками $s = 350$ мкм, расстояние между витками $d = 70$ мкм, высота подложки $h = 101$ мкм, высота проводников $t = 35$ мкм. Диэлектрическая проницаемость подложки $\epsilon_r = 4,5$, тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta_1 = 0,025$. Сопротивление резисторов R составило 100 Ом. Для исследования характеристик структуры использован квазистатический подход, реализованный в системе TALGAT [4].

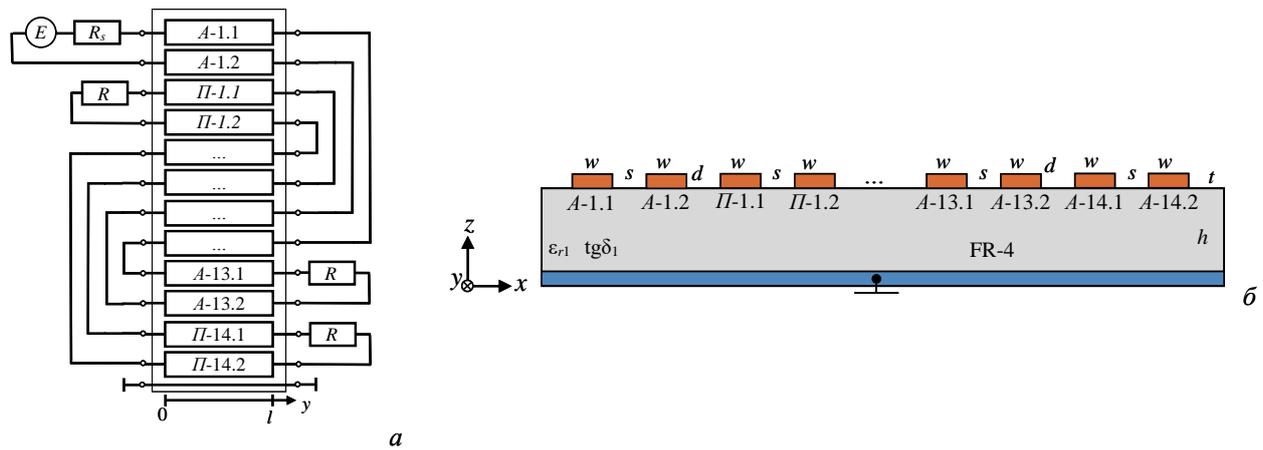


Рис. 1. Эквивалентная схема включения (а) и поперечное сечение (б) исследуемой структуры

Результаты моделирования

В результате моделирования получены графики зависимостей частоты среза (рис. 2(а)), среднего значения S_{21} в полосе заграждения (рис. 2(б)), максимального значения S_{41} (рис. 2(в)) и S_{11} (рис. 2(г)) в полосе пропускания от количества витков k и длины проводников l .

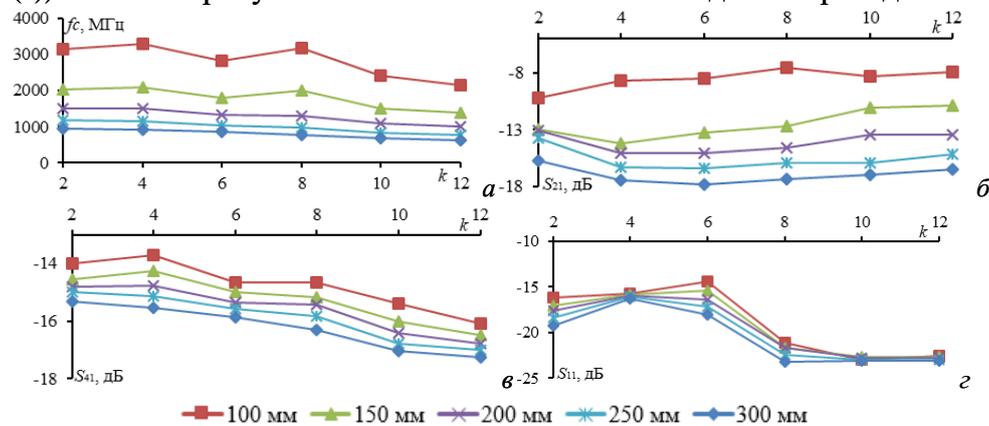


Рис. 2. Графики зависимостей частоты среза (а), среднего значения S_{21} в полосе заграждения (б), максимального значения S_{41} (в) и S_{11} (г) от количества витков и длины проводников

Из графиков видно, что полоса пропускания и максимальное значение S_{41} характеризуются практически линейным уменьшением с увеличением количества витков, в то время как среднее значение S_{21} и максимальное значение S_{11} характеризуются нелинейным распространением.

Описание моделей МО

Для прогнозирования частотных характеристик двух связанных дифференциальных пар использованы три модели МО. Их обучение проводилось на основе полученных результатов моделирования. В качестве первой модели использована модель линейной регрессии, которая использует зависимую переменную для прогнозирования будущих результатов на основе одной или нескольких независимых переменных. В качестве второй модели использована модель полиномиальной регрессии, использующая модель линейной регрессии для обучения на нелинейных данных путем добавления дополнительных нелинейных функций к обучающим данным. При этом, модели линейной и полиномиальной регрессии являются простыми, поэтому их обучение проводилось практически мгновенно. В качестве третьей модели использована модель нейронной сети, которая имеет один входной, скрытый и выходной слои, количество нейронов в скрытом слое – 128. Обучение модели проводилось

с помощью центрального процессора AMD Ryzen 9 7900X и составило 50000 эпох, а время обучения 2 минуты и 13 секунд.

Результаты прогнозирования

В таблице 1 представлено сравнение результатов прогнозирования моделей с истинными значениями. Под истинными значениями были приняты результаты ранее проведенного моделирования.

Таблица 1

Сравнение предсказанных и истинных частотных характеристик двух дифференциальных пар

k $l, \text{ мм}$	Среднее значение S_{21} в полосе пропускания, дБ				Полоса пропускания f_c , МГц			
	1 модель	2 модель	3 модель	Истинное	1 модель	2 модель	3 модель	Истинное
2 витка 275	-15,01	-15,17	-15,15	-15,04	1113,33	1059,96	1057,78	1080
4 витка 120	-14,32	-14,19	-13,91	-13,79	2504,53	2612,82	2742,94	2730
8 витков 185	-15,65	-15,58	-15,38	-15,29	1626,93	1398,24	1481,72	1600
12 витков 210	-16,69	-16,88	-16,84	-16,6	1139,73	941,61	958,51	980
	Среднее значение S_{21} в полосе заграждения, дБ				Среднее значение S_{11} в полосе пропускания, дБ			
2 витка 275	-16,95	-14,41	-14,73	-14,49	-16,49	-18,66	-18,81	-17,95
4 витка 120	-10,62	-11,71	-12,31	-11,97	-16,71	-14,61	-15,92	-15,76
8 витков 185	-12,86	-14,01	-13,92	-14,26	-20,22	-20,69	-21,59	-21,48
12 витков 210	-13,51	-13,42	-13,52	-13,43	-23,41	-22,65	-22,86	-22,84

Из таблицы 1 видно, что наихудшие результаты прогнозирования наблюдаются у первой модели. Наиболее точно прогнозируют характеристику вторая и третья модели.

Заключение

В результате проведенного исследования выявлена возможность прогнозирования частотных характеристик двух связанных дифференциальных пар с помощью МО. Выявлено, что для наиболее точного прогнозирования оптимально использовать модели полиномиальной регрессии и нейронной сети.

Работа выполнена в рамках проекта FEWM-2024-0005 Минобрнауки России.

Список литературы

1. Назаренко К.М., Назаренко Е.С., Надыкто А.Б., Кириллова Л.Н. Вычислительная среда для компьютерного моделирования наносистем. Система подготовки и обработки данных // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2016. – № 10. – С. 17–23.
2. Afacan E., Lourenço N., Martins R., Dündar G. Machine learning techniques in analog/RF integrated circuit design, synthesis, layout, and test // Integration. – 2021. – Т. 77. – P.113–130.
3. Guan Z., Zhao P., Wang X., Wang G. Modeling radio-frequency devices based on deep learning technique // Electronics. – 2021. – Vol. 10, № 14. – P. 1710.
4. Куксенко С.П., Заблоцкий А.М., Мелкозеров А.О., Газизов Т.Р. Новые возможности системы моделирования электромагнитной совместимости TALGAT // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2015. – Т. 2, № 36. – С. 45–50.

Способ трассировки двух дифференциальных пар с сильной электромагнитной связью между парами

С.В. Власов

Научный руководитель: к.т.н. Е.С. Жечев
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050
E-mail: Lukashinka12@gmail.com

Routing technique of two differential pairs with strong electromagnetic coupling between conductors

S.V. Vlasov

Scientific Supervisor: Ph.D. Y.S. Zhechev
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenina str., 40, 634050
E-mail: Lukashinka12@gmail.com

***Abstract.** We present the results of an electrodynamic simulation of the single and coupled differential pairs with strong electromagnetic coupling between conductors. The simulation was performed in the time domain using: broadband and narrowband pulses. The results show that the coupled differential pairs provide better broadband and narrowband pulses attenuation compared to the single differential pair.*

***Key words:** electrodynamic simulation, time domain analysis, differential pair.*

Введение

Широкое применение радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) приводит к обострению проблемы обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) [1]. С ростом плотности размещения компонентов и трассировки межсоединений увеличивается взаимное влияние одних элементов РЭА на другие. Поэтому при проектировании РЭА актуально обеспечение ЭМС, в том числе за счет улучшения помехозащищённости.

Существуют устройства и интерфейсы, которые работают в дифференциальном режиме. Так, например, интерфейсы LVDS широко применяются в современной электронике [2]. Кондуктивные помехи, такие как внешние электромагнитные воздействия и электрические шумы, могут негативно влиять на качество передачи данных [3]. Для обеспечения надежной работы РЭА необходимо предпринимать меры по их защите от нежелательных воздействий. Из множества электромагнитных помех, воздействующих на РЭА, можно выделить сверхширокополосные (СШП) и узкополосные (УП) помехи. Спектр СШП помех лежит в диапазоне от 0 до 6–8 ГГц, а УП помех от единиц ГГц и выше. В случае УП помех ширина спектра должна быть меньше или равна ширине полосы пропускания устройства. Также такие помехи обладают большей амплитудой по сравнению с амплитудами рабочих сигналов в цепях и интерфейсах, работающих в дифференциальном режиме. В данной работе предлагается трассировать дифференциальные пары таким образом, чтобы их взаимное влияние уменьшило влияние электромагнитных помех на защищаемое устройство. Цель работы – представить результаты разработки способа трассировки двух дифференциальных пар, повышающих устойчивость к электромагнитным помехам.

Материалы и методы исследования

Изначально использовалась одна дифференциальная пара на микрополосковой линии (рис. 1 (а)). Далее предложено использовать вторую дифференциальную пару, расположенную с минимальным технологическим зазором между ними (рис. 1 (б)) для

увеличения электромагнитной связи между ними. Поперечное сечение двух связанных дифференциальных пар представлено на рис. 1 (в). Геометрические параметры структуры: ширина проводников $w = 170$ мкм, расстояние между проводниками $s = 350$ мкм, расстояние между витками $d = 70$ мкм, высота подложки $h = 101$ мкм, высота проводников $t = 35$ мкм. Диэлектрическая проницаемость подложки $\epsilon_r = 4,5$ (соответствует материалу FR-4). Сопротивление резисторов составило 100 Ом.

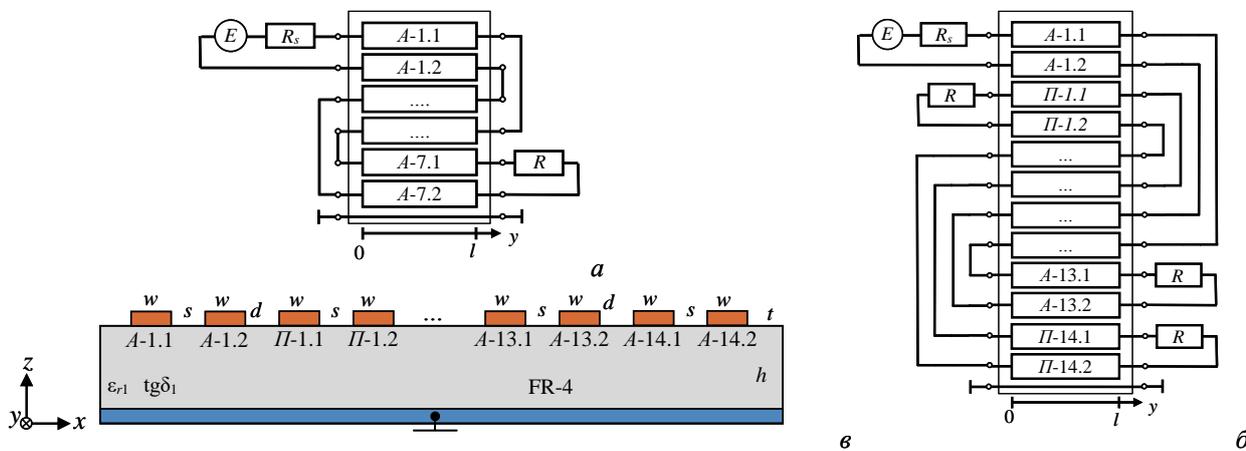


Рис. 1. Эквивалентные схемы включения одиночной (а) и связанных (б) дифференциальных пар, а также их поперечное сечение (в)

Для исследования характеристик структур использован электродинамический подход. С помощью метода моментов рассчитаны S-параметры, которые после использовались для анализа характеристик во временной области.

Результаты моделирования

После определения структуры в частотной области на его вход подавались импульсные воздействия. Для анализа во временной области выбраны два сигнала: Гауссов импульс с шириной спектра от 0,1 до 6 ГГц (рис.2 (а)). Такое воздействие соответствует определению СШП помехи из стандарта МЭК [4]. Для оценки возможности применения структур для защиты от УП помех рассмотрена затухающая синусоида (рис.2 (б)), которая используется в соответствии со стандартом MILSTD-461F [5].

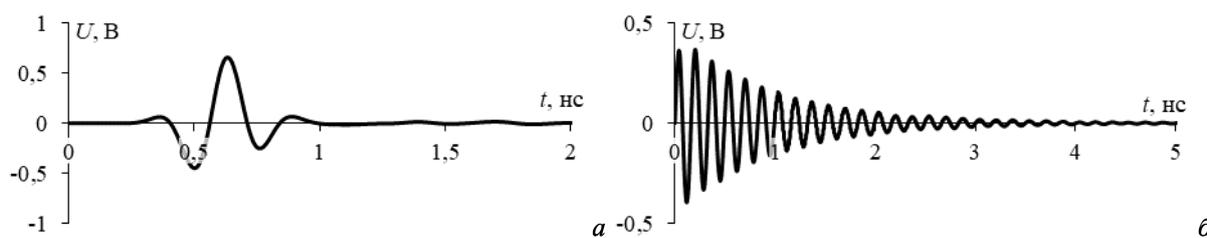


Рис. 2. Формы напряжений: СШП (а) и УП (б) помехи

Временные отклики на СШП и УП помехи представлены на рис. 3. На рис. 4 приведено наведенное напряжение ближнем и дальнем концах на второй дифференциальной пары.

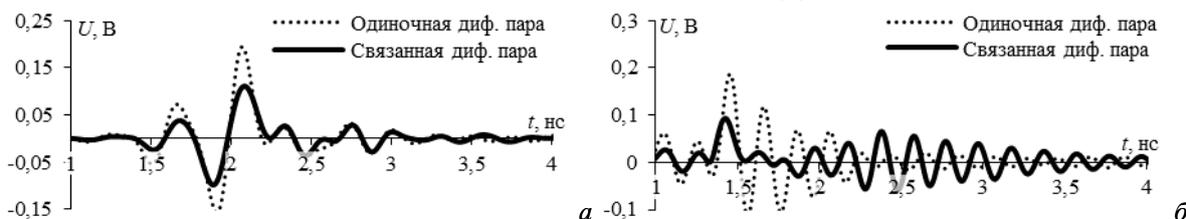


Рис. 3. Временной отклик на СШП (а) и УП (б) помехи

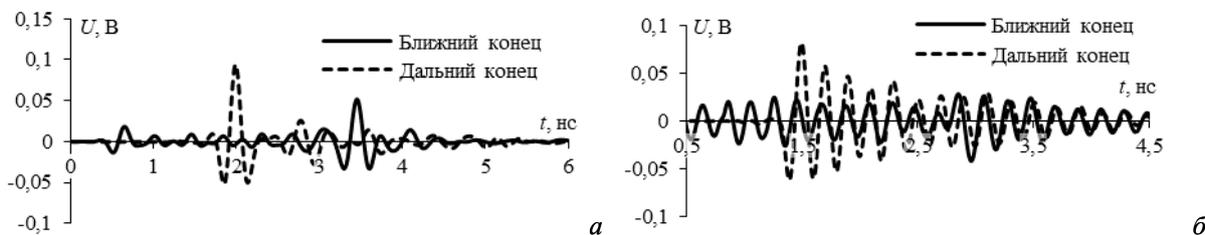


Рис. 4. Наведенное напряжение на ближнем (а) и дальнем (б) концах второй связанной дифференциальной пары

Из полученных результатов видно, что произошло ослабление помехи как для одной дифференциальной пары, так и для двух. Но при использовании двух дифференциальных пар получено большее ослабление, что связано с отведением части энергии на вторую дифференциальную пару. В случае СШП помехи ослабление составило: для одной дифференциальной пары 2 раза, для двух – 3,5 раза (что на 37,7 % больше). Ослабление при воздействии УП помехи составило 3,45 раз и 5 раз, соответственно (что на 45 % больше).

Заключение

В данной работе проведено исследование способа трассировки двух дифференциальных пар с сильной электромагнитной связью между проводниками. Результаты показали, что использование двух связанных дифференциальных пар позволяют получить большее ослабление помеховых сигналов по сравнению с одиночной. В дальнейшем планируется проведение анализа целостности полезного сигнала.

Работа выполнена в рамках проекта FEWM-2024-0005 Минобрнауки России

Список литературы

1. Газизов Т.Р. Электромагнитная совместимость и безопасность радиоэлектронной аппаратуры: учебное пособие. – Томск: «ТМЛ-Пресс», 2007. – 256 с.
2. IEEE Std 1596.3-1996. IEEE Standard for Low-Voltage Differential Signals (LVDS) for Scalable Coherent Interface (SCI). – NY: IEEE, 1996. – 34 p.
3. Гизатуллин З.М. Помехоустойчивость средств вычислительной техники внутри зданий при широкополосных электромагнитных воздействиях: монография. – Казань: Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева, 2012. – 254 с.
4. IEC/TR 61000-1-5-2017. Electromagnetic Compatibility (EMC). Part 1–5: General. High power electromagnetic (HPEM) effects on civil systems. – Geneva: IEC, 2004. – 43 p.
5. MIL-STD-461F. Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment. – NY: IEEE, 2007. – 255 p.

Анализ и автоматизация учета заявок на научные гранты при помощи современных программных средств

М.В. Галкина

Научный руководитель: к.т.н. Д.Г. Куртенков
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: galkina@tpu.ru

Analysis and automation of accounting for applications for scientific grants using modern software tools

M.V. Galkina

Scientific Supervisor: Ph.D. D.G. Kurtenkov
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: galkina@tpu.ru

***Abstract.** A study was conducted of applications for scientific grants submitted to the RSCF Foundation in order to find out the publication activity of scientists based on the results of grants, as well as to determine the branches of scientific knowledge preferred by scientists. The types of competitions that are most suitable for various categories of researchers have been clarified. A comparison was made of the trends in filing applications for grants from the Foundation in Russia as a whole with Tomsk Polytechnic University.*

***Key words:** grant activity, foundations, grantees, statistical data, database.*

Введение

Одна из главных задач России на сегодняшний день - ускоренными темпами создать новый, мощный научно-технологический потенциал, а для этого необходимо точно знать истинное положение дел в науке России и в высшем образовании. В связи с этим перед Томским политехническим университетом (ТПУ) поставлена цель привлечения дополнительного финансирования в виде научных грантов для развития научного и кадрового потенциала. Для обеспечения максимального объема привлеченных по грантам средств необходимо иметь четкую картину наиболее востребованных в стране научных направлений.

Целью исследования является изучение грантовой активности в ТПУ. Для этого необходимо решить следующие **задачи**:

- Изучение статистических данных по поданным и поддержанным заявкам
- Определение типов конкурсов, наиболее подходящих разным категориям научно-педагогических работников.
- Разработка программного продукта – базы данных по учету подаваемых учеными ТПУ заявок на гранты Российского научного фонда (РНФ).

Исследовательская часть

В настоящее время основным фондом для поддержки научных исследований в России является РНФ. В период с момента основания Фонда в 2014 г. и по декабрь 2023 гг. ученые ТПУ подали 1840 заявок на конкурсы грантов. Из них поддержано 244 (в среднем выигрывает каждая 13-ая подаваемая заявка). Общий объем привлеченных средств составил 2 млрд. руб.

Активность ученых университета наглядно отображает диаграмма ниже (рис. 1). Невероятный рост подаваемых заявок в 2017 году не случаен – в этом году Фонд существенно расширил номенклатуру конкурсов, добавив в «обойму» молодежные конкурсы, что значительно увеличило охват ученых. Очередной рост заявок и побед в 2021 году является следствием того, что РНФ взял на себя проведение конкурсов, которые аналогичны

инициативным конкурсам РФФИ (к огромному сожалению РФФИ прекратил свою деятельность как научный фонд).



Рис. 1. Участие ученых ТПУ в конкурсах РФФИ и одержанные ими победы

На конец 2023 года номенклатура конкурсов РФФИ насчитывает 96 разных типов конкурсов (ряд конкурсов имеет возможность продления, как правило на два года). Условно конкурсы можно разделить на три крупных группы: основные, молодежные и международные.

Учитывая разнообразие конкурсов, трудно выделить из них более или менее интересные. Однако самый главный и массовый конкурс (именно с него и начал работу Фонд) – это конкурс «Отдельных научных группы».

Результаты

В результате исследований грантовой активности сотрудников университета было выявлено следующее распределение заявок по типам конкурсов в России и ТПУ за последние 5 лет: проекты малых научных групп – 50 % и 44 %, проекты научных групп, включая молодежные группы 29 % и 35 %, Индивидуальные проекты молодых ученых 8%/11 %, проекты, выполняемые на объектах инфраструктуры 7 % и 2 %, продление ранее поддержанных проектов 3 % и 3 %, проекты лабораторий мирового уровня 2 % и 1 %, проекты международных коллективов 1 % и 4 %. Таким образом видно, что в ТПУ активность молодых ученых выше, чем в среднем по России.

Если рассматривать отрасли знаний, по которым подаются заявки, то между Россией в целом и ТПУ соотношение их таково: инженерные науки 19 % и 40 %, гуманитарные и социальные науки 16 % и 8 %, химия и науки о материалах 14 % и 16 %, физика и науки о космосе 11 % и 12 %, биология и науки о жизни 11% и 1 %, математика, информатика и науки о системах 9 % и 6 %, фундаментальные исследования для медицины 9 % и 7 %, науки о Земле 8 % и 8 %, с/х науки 3 % и 2 %.

Таблица 1

Количество публикаций руководителей заявок в рецензируемых российских и зарубежных научных изданиях, индексируемых в базах данных «Сеть науки» (Web of Science) или «Скопус» (Scopus), опубликованных за последние 5 лет

Вид конкурса	Требования	Показатели по РФ	Показатели по ТПУ
Проекты отдельных научных групп	8	20	22
Проекты малых отдельных научных групп	5	12	14
Проекты научных групп под руководством молодых ученых	5	15	14
Проекты исследований молодых ученых	3	11	11
Проекты международных коллективов	10	35	44

Для участия в конкурсах Фонда руководитель проекта должен подтвердить свою научную квалификацию. Для каждого конкурса Фонд устанавливает «квалификационный барьер» в виде требования о наличии у руководителя проекта необходимого количества

публикаций в изданиях, индексируемых в базах данных «Сеть науки» (Web of Science) и «Скопус» (Scopus). В результате проведенных исследований в области грантовой деятельности ТПУ возникла задача систематизации, учета и анализа сотен заявок на конкурсы Фонда. Для этого была разработана база данных (БД) на основе программного продукта Microsoft Access, в которой хранятся все заявки в РФ на научные гранты (рис. 2). БД разработана по реляционному принципу, предусмотрены отдельные таблицы для типов конкурсов, информации о руководителях, подразделениях и т.д. Эти таблицы проиндексированы и «подключены» к основной таблице БД – Заявки. Таким образом, обеспечивается отсутствие дублирования и искажения информации в БД. БД создана путем визуального программирования, программный код составляет всего 250 строк на Visual Basic for Applications (VBA). Из БД можно легко и оперативно получать различную статистическую информацию о них, отслеживать различные тренды и в динамике получать представление о научном потенциале университета, а также об активности подразделений ТПУ и даже по каждому сотруднику университета.



Рис. 2. Интерфейс программного продукта учета подаваемых заявок на гранты РФ

Заключение

В настоящее время наблюдается некоторая «насыщенность» грантами РФ в университете. Это связано с ограниченным количеством ученых в ТПУ (что нормально для любой организации), так и с некоторыми ограничениями Фонда (нельзя руководить более чем одним грантом, а также нельзя принимать участие более чем в двух грантах).

По сравнению с показателями по РФ в целом, ТПУ подает в 2 раза больше заявок на инженерные науки, что является закономерным для инженерного вуза. В настоящее время существенно ниже показатели по направлению биологии и наук о жизни, однако имеется явная тенденция по увеличению не только количества заявок на эти направления, но и одержанных в таких конкурсах побед.

Список литературы

1. Гурвиц Г. Microsoft Access 2010. Разработка приложений на реальном примере – СПб. : БХВ-Петербург, 2010. – 496 с.
2. Новости Фонда // Российский научный фонд: сайт. – 2024. – URL: <https://rscf.ru>
3. Конкурсная документация по грантам РФ // Российский научный фонд: сайт. – 2024. – URL: <https://rscf.ru/contests>
4. Отдел научно-технических программ ТПУ // Корпоративный портал. Томский политех: сайт. – 2024. – URL: <http://ontp.tpu.ru>
5. Обучение работе с Access // Microsoft: сайт. – 2024. – URL: <https://support.microsoft.com/ru-ru/office/обучение-работе-с-access-a5ffb1ef-4cc4-4d79-a862-e2dda6ef38e6>

Эрозия катодов вакуумного дугового источника

В.Д. Гридилев

Научный руководитель: профессор, д.т.н. Ю.Г. Юшков
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050
E-mail: gridilow@mail.ru

Erosion of cathodes of vacuum arc ion source

V.D. Gridilev

Scientific Supervisor: Prof., PhD., Yu.G. Yushkov
Tomsk State University of Control System and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenina str., 40, 634050
E-mail: gridilow@mail.ru

***Abstract.** Using the weighing method, the specific erosion of the different cathodes of the Mevva-V.Ru ion source with typical parameters was measured. It was found that the erosion of cathodes made of low-melting materials is many times greater than the erosion of more refractory cathodes. Measuring the cathode surface temperature with a pyrometer with a response time of less than 10 μ s showed that the cathode surface temperature could exceed the melting point of the cathode material for these low-melting materials. The deposition of erosion products from low-melting and refractory cathode materials onto substrates showed that the difference in erosion of such cathodes is associated with the formation of a larger number of macroparticles in a vacuum arc discharge for low-melting cathode. In our opinion, this is due to the effect of spattering of the molten surface of the low-melting material of the cathode during the function of cathode spots of a vacuum arc.*

***Key words:** specific erosion, vacuum arc discharge erosion products, cathode spots.*

Введение

Актуальность исследования вакуумного дугового разряда связана с широким спектром его практических применений и отсутствием законченной физической модели катодного пятна вакуумной дуги. На настоящий момент существует несколько гипотез функционирования катодного пятна вакуумной дуги, из которых наиболее известной и признанной является эктонная гипотеза ак. Г.А. Месяца [1]. Одним из важных параметров вакуумной дуги является эрозия катода. С одной стороны, эрозия определяет время непрерывной работы устройства на основе вакуумной дуги, а с другой стороны, этот параметр отражает особенности физических процессов функционирования катодного пятна вакуумной дуги. Настоящая работа посвящена исследованию удельной эрозии катодов из материалов с различными свойствами [2] при функционировании вакуумного дугового разряда с квазипрямоугольным импульсом тока дуги с амплитудой 200 А, и длительностью импульса 250 мкс, что является типичными параметрами разрядного импульса вакуумных дуговых ионных источников.

Экспериментальная часть

Исследования эрозии катодов проводились на экспериментальном стенде Mevva-V.Ru. Принцип функционирования устройства подробно рассмотрен в работе [3]. Для измерения удельной эрозии катода применялся метод взвешивания катода до и после воздействия на него серии разрядных импульсов при протекании через электрическую цепь дуги заряда уровня 10 Кл. Точное значение заряда определялось по интегрированию импульса дуги за время эксперимента. При измерении температуры поверхности катода использовался

инфракрасный пирометр с диапазоном измерения температуры от 350 до 3500 С и временем отклика менее 10 мкс.

Результаты

Была установлена зависимость удельной эрозии катода от температуры плавления его материала (рис. 1), для которой характерно существование двух участков. Для легкоплавких катодов из материалов с температурой плавления менее 700 К, общая эрозия катода кратно превышает эрозию для более тугоплавких материалов.

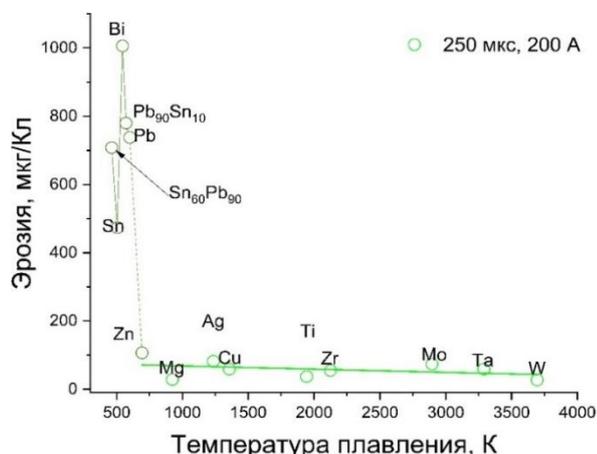


Рис. 1. График зависимости удельной эрозии катода от температуры плавления материала катода

В случае легкоплавких материалов катода были замечены следы оплавления поверхности катода, а для группы более тугоплавких материалов с меньшими значениями удельной эрозии таких следов оплавления рабочей поверхности катода не наблюдалось. При измерении температуры поверхности катода в вакуумном дуговом разряде, пирометром с временем отклика 10 мкс, было выявлено, что температура поверхности катода при горении дуги к концу разрядного импульса может достигать уровня 700 К. Это значение ниже температуры плавления материала группы тугоплавких катодов, но выше, чем для группы легкоплавких. Отметим, что интегральная температура объема катода при используемой в экспериментах частоте следования импульсов 0,2–0,5 Гц не превышала 325 К, поскольку изменение температуры при завершении процессов теплопередачи от поверхности в объем катода после однократного импульса дуги, составляет для медного катода диаметром 6,3 мм и длиной 40 мм менее 0,2 К. Таким образом при средней мощности разряда менее 1 Вт, импульсная мощность в течение импульса дуги составляла уровня 5 кВт. Эта приводило к импульсному нагреву поверхности до значительной температуры, которая после импульса снижалась за счет теплопередачи в объем катода и затем отводилась в элементы конструкции катодной системы. Импульсный нагрев поверхности катода в случае легкоплавких материалов приводил к тому, что через несколько десятков микросекунд катодное пятно функционировало на расплавленной поверхности интегрально-холодного катода.

По результатам работы [4] было показано, что ионная эрозия, для разнообразных материалов, различается незначительно и различие в значениях удельной эрозии для легкоплавких и тугоплавких катодов не может быть объяснено за счет различия в удельной ионной эрозии. Оценки потоков, испаренных с поверхности катода атомов также, не могут объяснить кратное различие в удельной эрозии этих двух групп материалов катодов. В связи с этим было выдвинуто предположение, что за большую эрозию легкоплавких катодов ответственна микрокапельная фракция

Для выяснения роли микрокапельной фракции были проведены эксперименты по конденсации продуктов эрозии на подложках. В результате было показано, что для

легкоплавких материалов катода доля капельной фракции существенно выше, чем для более тугоплавких. Пример микрофотографий, поверхности продуктов эрозии на подложке в случае катодов из меди и из висмута приведен на рис. 2. Видно, что количество микрокапель в случае катода из висмута на порядок превышает количество микрокапель в случае меди. Так же, микрокапли в случае висмута существенно крупнее. Так, самая крупная капля в случае меди имеет размер около 2,5 мкм, а в случае висмута размер капель достигает 20 мкм. В предположении сферической формы микрокапель, микрокапли при катоде из висмута могут иметь массу в 500 раз больше, чем микрокапли в случае катода из меди. Таким образом, было подтверждено, что большая эрозия для катодов из легкоплавких материалов происходит за счет микрокапельной фракции. Это объясняется тем, что поверхность катодов из легкоплавких материалов была расплавлена и горение катодного пятна на такой поверхности приводит к разбрызгиванию расплавленной пленки металла на поверхности катода давлением плазмы из катодного пятна вакуумной дуги, аналогично механизму, рассмотренному в работе [5].

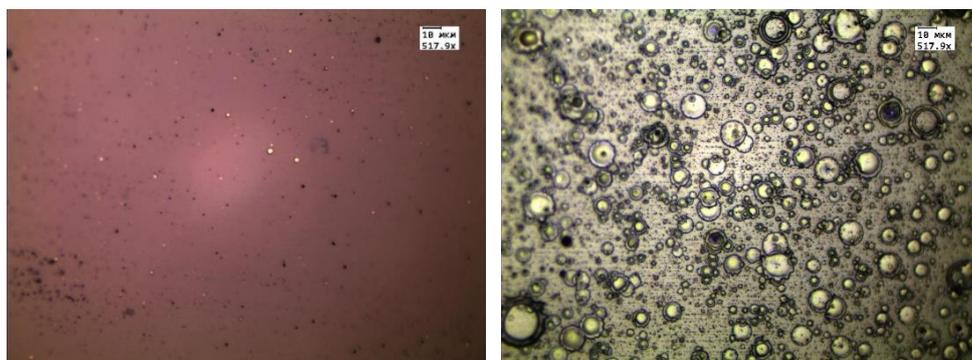


Рис. 2. Микрофотографии поверхности продуктов эрозии вакуумной дуги на подложки в случае катода из меди (слева) и из висмута (справа)

Заключение

В ходе исследования эрозии катодов из различных материалов в вакуумном дуговом разряде субмиллисекундной длительности импульса была определена зависимость эрозии катодов от температуры плавления материала, из которого изготовлен катод. Были измерены температуры поверхности катода в вакуумном дуговом разряде. И было установлено, что для катодов с температурой плавления менее 700 К с расплавлением рабочей поверхности катода увеличивается удельная эрозия материала катода за счет возрастания количества и размера микрокапельной фракции.

Список литературы

1. Месяц Г.А. Эктоны в вакуумном разряде: пробой, искра, дуга. – М : Наука, 2000. – 424 с.
2. Бабичев А.П., Бабушкина Н.А., Братковский А.М. Физические величины: справочник. – М : Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.
3. Nikolaev A.G., Oks E.M., Savlin K.P., Yushkov G.Y., and Brown I.G. Upgraded vacuum arc ion source for metal ion implantation // RSI. – 2012. – Vol. 83. – P. 02A501
4. Андерс А., Окс Е.М., Юшков Г.Ю., Савкин К.П., Браун Я., Николаев А.Г. Определение удельной ионной эрозии катода вакуумной дуги на основе измерения полного ионного тока из разрядной плазмы // Журнал технической физики. – 2006. – Vol.76, В. 10. – С. 57–61
5. Гашков М.А. Динамика расплавленного металла в катодном пятне вакуумного дугового разряда: дис. на соиск. ученой степ. канд. ф-м. наук. – Екатеринбург, 2018. – 128 с.

Сравнение классификаторов для продлённой аутентификации по динамике движения зрачков

С.А. Давыденко

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Е.Ю. Костюченко
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634034

E-mail: sergun_dav@mail.ru

Comparison of classifiers for continuous authentication based on pupil movement dynamics

S.A. Davydenko

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Ph.D. E. Y. Kostyuchenko
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634034
E-mail: sergun_dav@mail.ru

Abstract. This paper describes the comparison of eight classifiers on the task of continuous authentication based on pupil movement dynamics. Different methods of preprocessing of the initial dataset were tested (normalization, expansion). The comparison was made for binary and multiclass classification, with preprocessed dataset and with original dataset.

Key words: continuous authentication, machine learning, classification, biometrics, eye tracking.

Введение

Аутентификация пользователей критически важна для компьютерных систем. Как правило в систему выполняется только первоначальный вход и личность пользователя не подтверждается вплоть до завершения работы. В данной работе рассматривается применение различных классификаторов для классификации по динамике движения зрачков.

Экспериментальная часть

Выполнялась как бинарная классификация, так и многоклассовая. Для получения более объективных результатов работы моделей с двумя классами метрики считались для каждого пользователя по отдельности, а затем их значение для каждого классификатора усреднялось. Во время работы использовались классификаторы из библиотеки sklearn (алгоритм случайного леса [1], линейный дискриминантный анализ [2], метод К ближайших соседей [3] и др.). Разделение на обучающую и тестовую выборки выполнялось в соотношении 60 % на обучающую и 40 % на тестовую. Для измерения качества работы моделей использовались следующие метрики: Accuracy, Precision, Recall, F micro, F macro, F weighted [4], EER [5]. Результаты работы классификаторов приведены в таблице 1. Матрицы ошибок для классификаторов показаны на рисунке 1.

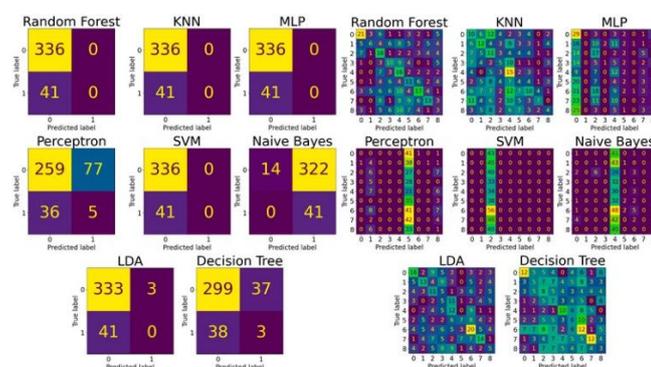


Рис. 1. Матрицы ошибок

Таблица 1

Результаты работы классификатора на примере задачи чтения

Классификатор	Тип классификации	precision	recall	F micro	F macro	F weighted
Naïve Bayes	Многоклассовая	0,146	0,146	0,146	0,066	0,069
	Бинарная	0,256	0,256	0,256	0,217	0,234
Decision Tree	Многоклассовая	0,210	0,210	0,210	0,205	0,211
	Бинарная	0,812	0,812	0,812	0,550	0,820
Random Forest	Многоклассовая	0,324	0,324	0,324	0,307	0,308
	Бинарная	0,895	0,895	0,895	0,507	0,851
LDA	Многоклассовая	0,265	0,265	0,265	0,244	0,254
	Бинарная	0,882	0,882	0,882	0,545	0,853
Multilayer Perceptron	Многоклассовая	0,156	0,156	0,156	0,127	0,134
	Бинарная	0,792	0,792	0,792	0,474	0,787
Perceptron	Многоклассовая	0,127	0,127	0,127	0,090	0,080
	Бинарная	0,797	0,797	0,797	0,475	0,790
KNN	Многоклассовая	0,178	0,178	0,178	0,157	0,159
	Бинарная	0,892	0,892	0,892	0,479	0,843
SVM	Многоклассовая	0,109	0,109	0,109	0,022	0,021
	Бинарная	0,892	0,892	0,892	0,471	0,841

Приведённые выше матрицы ошибок и таблица метрик показывают, что в наборе данных есть большой дисбаланс классов. Поэтому набор данных был преобразован через стандартный масштабатор и сэмплирование. Новые результаты моделей приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты работы классификаторов на примере задачи чтения после предобработки набора данных

Классификатор	Тип классификации	precision	recall	F micro	F macro	F weighted
Naïve Bayes	Многоклассовая	0,180	0,180	0,180	0,147	0,147
	Бинарная	0,297	0,297	0,297	0,286	0,328
Decision Tree	Многоклассовая	0,210	0,210	0,210	0,204	0,205
	Бинарная	0,829	0,829	0,829	0,566	0,825
Random Forest	Многоклассовая	0,321	0,321	0,321	0,312	0,310
	Бинарная	0,887	0,887	0,887	0,550	0,848
LDA	Многоклассовая	0,276	0,276	0,276	0,268	0,266
	Бинарная	0,691	0,691	0,691	0,551	0,743
Multilayer Perceptron	Многоклассовая	0,180	0,180	0,180	0,175	0,173
	Бинарная	0,771	0,771	0,771	0,548	0,790
Perceptron	Многоклассовая	0,188	0,188	0,188	0,181	0,181
	Бинарная	0,677	0,677	0,677	0,531	0,729
KNN	Многоклассовая	0,220	0,220	0,220	0,216	0,216
	Бинарная	0,684	0,684	0,684	0,529	0,736
SVM	Многоклассовая	0,279	0,279	0,279	0,267	0,266
	Бинарная	0,776	0,776	0,776	0,589	0,801

Исходя из показанных выше результатов работы можно сделать следующие выводы:

1. Преобразование набора данных не позволило полностью избавиться от ситуаций, в которых классификатор определяет все объекты как один класс.

2. После преобразования качество работы почти всех классификаторов повысилось, но не значительно (на 2–7 %).

Другой способ увеличить качество работы классификаторов при бинарной классификации тоже связан с увеличением экземпляров класса, но уже не через заполнение искусственными значениями. Добиться этого можно, отнеся к классу легальных пользователей более одного человека. Таким образом количество экземпляров класса станет больше, а сами значения при этом будут не искусственно созданными. Результаты работы классификаторов после преобразования набора данных приведены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты работы классификаторов на примере задачи чтения после преобразования набора данных

Классификатор	precision	recall	F micro	F macro	F weighted	EER
NaiveBayes	0,518	0,518	0,518	0,463	0,438	0,651
DecisionTree	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,001
RandomForest	0,990	0,990	0,990	0,989	0,990	0,011
LDA	0,685	0,685	0,685	0,670	0,692	0,323
MultilayerPerceptron	0,891	0,891	0,891	0,884	0,893	0,100
Perceptron	0,622	0,622	0,622	0,605	0,631	0,376
KNN	0,752	0,752	0,752	0,742	0,759	0,283
SVC	0,826	0,826	0,826	0,817	0,830	0,202

Результаты

Из приведённых выше результатов видно, что с увеличением количества легитимных пользователей при бинарной классификации качество работы классификаторов повысилось, особенно это заметно на примере Random Forest и Decision Tree. Для достаточно качественной работы этим классификаторам даже не требуется дополнительная обработка сэмпингом и стандартизацией, в то время как для других классификаторов производить дополнительную обработку всё же потребуется.

Заключение

В результате проведенных исследований удалось достигнуть F-меры в 88,4–99,9 % и EER в 0,1–10 %.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках базовой части государственного задания ТУСУРа на 2023–2025 гг. (проект № FEWM-2023-0015).

Список литературы

1. Breiman L. Random forests // Machine learning. – 2001. – Vol. 45. – P. 5–32.
2. Мокеев В.В., Томилов С.В. О решении проблемы выборки малого размера при использовании линейного дискриминантного анализа в задачах распознавания лиц // Бизнес-информатика. – 2013. – № 1 (23). – С. 37–43.
3. Павлов Д.А., Серых А.П. Модифицированный алгоритм классификации типа k-ближайших соседей // Фундаментальная и прикладная математика. – 2000. – Т. 6, № 2. – С.533–548.
4. Ивкина М.С. Решение задачи классификации на основе случайного леса // Прикладные исследования и технологии: сб. тр. рег. конференции ART2018. – 2018. – С.79–87.
5. Soltane M., Bakhti M. Multi-modal biometric authentications: concept issues and applications strategies // International Journal of Advanced Science and Technology. – 2012. – V. 48.

Инициирование тлеющего разряда в форвакуумном источнике электронов с двухступенчатой разрядной системой

Ж.Э. Дагри, А.С. Климов, Т.В. Якобчук

Научный руководитель: профессор, д.т.н. А.С. Климов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
Россия, г. Томск, пр. Ленина 40, 634050

Initiation of a glow discharge in a pre-vacuum electron source with a two-stage discharge system

J.E. Dagri, A.S. Klimov, T.V. Yakobchuk

Scientific Supervisor: Prof., PhD. A.S. Klimov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenin str., 40, 634050

***Abstract.** In this work, the ignition of a discharge in a two-stage electron source is investigated. The dependences of the discharge ignition voltage on the pressure and type of gas are presented. It is shown that the ignition voltage depends on the type of gas and is practically independent of the auxiliary discharge current.*

***Key words:** Initiation, glow discharge, hollow cathode, forevacuum.*

Введение

В настоящее время форвакуумные плазменные источники позволяют создавать пучки электронов ленточной конфигурации. Наиболее актуальное применение таких источников - создание плазменных образований большой площади [1]. Основу конструкции источников составляет трехэлектродная система, содержащая полый катод в виде протяженного параллелепипеда, плоского анода и экстрактора. Диапазон рабочих давлений таких источников лежит в интервале 5–50 Па и ограничен значительным рассеянием пучка электронов при повышении давления и погасанием разряда при снижении давления газа в катодной полости. Обеспечение работы в более низком диапазоне давлений до 0,1 Па привлекательно для осуществления плазмохимических реакций [2], однако требует обеспечения работы источника в области низких давлений. Существующие решения основаны на создании перепада давлений в области генерации электронного пучка и его применения, а также использовании инъекции электронов из отдельных дополнительных источников. Такие решения реализованы в ряде устройств функционирующих, как правило, в импульсном режиме [3, 4]. В настоящей работе для инъекции дополнительных электронов используются вспомогательные разряды с полым катодом и цель работы заключалась в определении условий инициирования основного разряда в области давлений 5–0,1 Па.

Экспериментальная часть

Схема экспериментального макета источника ленточного электронного пучка представлена на рисунке 1. Источник состоит из основной разрядной системы представленной полым катодом в виде цилиндра с внутренним диаметром 10 см и протяженностью 30 см, а также плоского анода с эмиссионным окном размером 220×10 мм². Сетка из нержавеющей стали с прозрачностью 70 % и размером ячейки 0,5×0,5 мм² перекрывающая эмиссионное окно в аноде задает границу эмиссионной плазмы. Вспомогательная разрядная система содержит два полых катода в виде цилиндров диаметром 40 мм и длиной 120 мм. Вспомогательные катоды устанавливались с торцов катода основного разряда. Электрическая изоляция электродов разрядных систем обеспечивалась капролоновыми изоляторами. В торцах полого катода основного разряда были выполнены

отверстия диаметром 1 мм для обеспечения потока заряженных частиц из вспомогательной системы в основную. Напуск газов осуществлялся в торцы катодов вспомогательных разрядов. Поток газа устанавливался достаточным для обеспечения зажигания вспомогательных разрядов приложении напряжения не более 1,5 кВ. Напряжение горения вспомогательных разрядов не превышало 600 В. Для зажигания основного разряда использовался источник высокого напряжения U_0 (Spellman SR6) позволяющий подать на промежуток катод-анод до 10 кВ. Ограничение тока разряда на уровне 300 мА задавалось балластным сопротивлением R_6 10 кОм и внутренним ограничением высоковольтного источника.

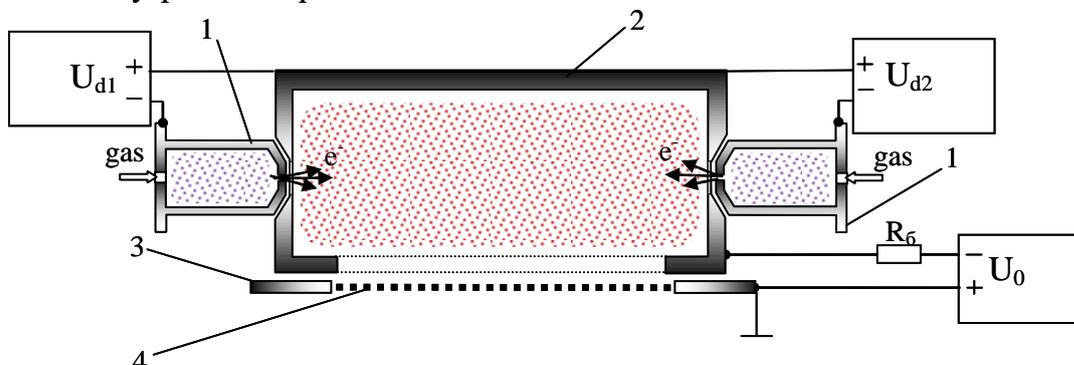


Рис. 1. Схема разрядной системы форвакуумного плазменного электронного источника с двухступенчатой разрядной системой. 1 – полый катод вспомогательного разряда, 2 – полый катод основного разряда, 3 – анод основного разряда, 4 – эмиссионная сетка

Результаты

На рисунке 2 представлены вольтамперные характеристики основного разряда в различных диапазонах давлений для гелия и аргона. Характеристики были получены в двух режимах – в отсутствие вспомогательных разрядов и при включенных вспомогательных разрядах с минимальным током 30–50 мА, при котором не происходило их погасание. Как можно заметить при снижении давления газа в катодной полости от 5 до 2 Па, напряжение, требуемое для зажигания основного разряда в случае отсутствия вспомогательных разрядов, может достигать 10 кВ.

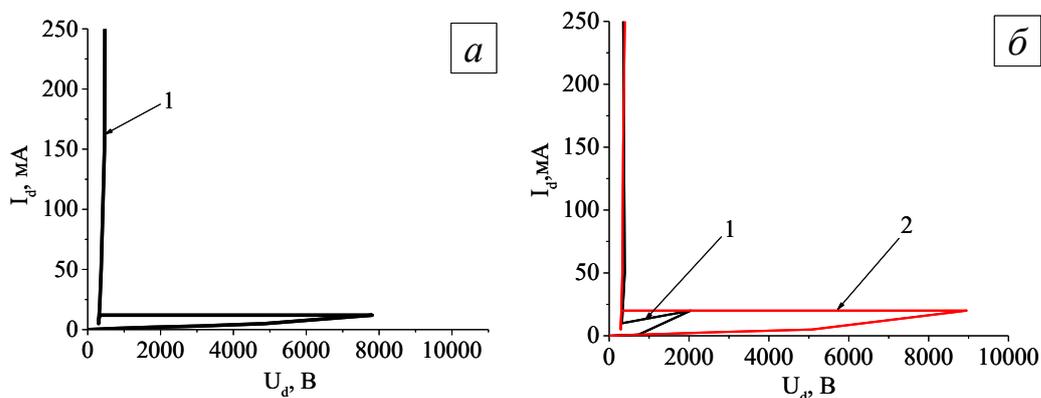


Рис. 2. Вольтамперные характеристики основного разряда в различных газах: а – гелий, б – аргон. Давление: 1 – 5 Па, 2 – 2 Па

Учитывая диапазон давлений и характерные расстояния между электродами разрядной системы, представленные в настоящем исследовании, можно с уверенностью говорить, что произведение $p \cdot d$ соответствует левой ветви кривой Пашена. То есть при дальнейшем снижении давления в катодной полости напряжение зажигания будет только возрастать. Разрядный промежуток, в отличие от ускоряющего, не рассчитан на столь высокие значения напряжений и величина прикладываемого напряжения к промежутку анод-катод в данной работе ограничивалась на уровне 10–11 кВ.

Зажиганию основного разряда в области давлений менее 1 Па способствует поток частиц (электронов) из плазмы вспомогательных разрядов. При токе вспомогательного разряда 50 мА плотность тока электронов, проникающих в катодную полость основного разряда составляла 0,2–0,3 мА/см². Вольтамперные характеристики разряда имели вид прямых линий (рис. 3), наклон которых практически не зависел от рода газа и давления и определялся проводимостью плазмы. Напряжение горения основного разряда снижалось до нескольких десятков вольт, что характерно для несамостоятельного тлеющего разряда [5].

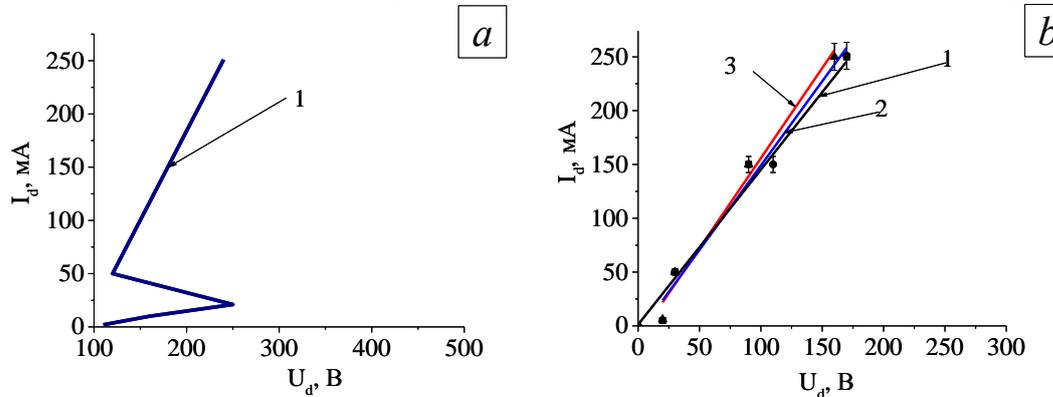


Рис. 3. Вольтамперные характеристики разряда в гелии (а) и аргоне (б) при различных давлениях: 1 – 0,5 Па, 2 – 0,2 Па, 3 – 0,1 Па

Заключение

Устойчивое горение основного разряда в форвакуумном источнике электронов с двухступенчатой разрядной системой в диапазоне давлений 5–0,1 Па обеспечивается использованием вспомогательной разрядной системы. Поток электронов из плазмы вспомогательных разрядов позволяет обеспечить иницирование основного разряда в области давлений до 0,1 Па. При этом величина тока вспомогательных разрядов может составлять величину не более 30–50 мА.

Работа выполнена при поддержке РФФ, грант №24-29-00358.

Список литературы

1. Бурдовицин В.А., Климов А.С., Медовник А.В., Окс Е.М., Юшков Ю.Г. Форвакуумные плазменные источники электронов // Томск : Изд-во Том. ун-та. – 2014. – 288 с.
2. Шустин Е.Г. Электронные пучки в плазме // М. : КнигИздат – 2023. – 150 с.
3. Визирь А.В., Окс Е.М., Щанин П.М., Юшков Г.Ю. Несамостоятельный тлеющий разряд с полым катодом для широкоапертурных ионных источников // ЖТФ. – 1997. – Т. 67, Вып. 6. – С. 27–31.
4. Denisov V.V., Akhmadeev Yu.N., Koval N.N., and Ostroverchov E.V. Low-temperature plasma source based on a cold hollow-cathode arc with increased service life // High Temp. Mater. Proc. – 2016. – V. 20, Iss. 4. – P. 309–316.
5. Лопатин И.В., Ахмадеев Ю.Х., Коваль Н.Н., Щанин П.М. Генератор плазмы на основе несамостоятельного тлеющего разряда низкого давления с полым катодом большого объема // ПТЭ. – 2011. – № 1. – С. 151–155.

УДК 621.396

Верификация моделирования дипольного рассеивателя в системе TALGATТ.Ф. Данг, А.Ф. Алхадж Хасан

Научный руководитель: профессор, д.т.н. Т.Р. Газизов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: dang.p.2213-2023@e.tusur.ru

Verification of dipole scatterer modeling in the TALGAT systemT.P. Dang, A.F. Alhaj Hasan

Scientific Supervisor: Prof., PhD T.R. Gazizov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,

Lenin str., 40, 634050

E-mail: dang.p.2213-2023@e.tusur.ru

Abstract. *In this study, the results of modeling a dipole scatterer in TALGAT system using the method of moment with pulse basis functions are compared with those using other basic functions. The results of the current distribution along dipoles with different length and their radar cross section at different incidence angles of the excited plane wave are obtained. The results showed a good agreement.*

Key words: *dipole scatterer, method of moment, radar cross section, scattering, TALGAT.*

Введение

Исследования проводных структур рассеивателей ведутся с 1950-х годов. Со временем типы таких структур усложнились, и их анализ требует значительного объема компьютерной памяти и времени вычисления. Для такого анализа используются различные вычислительные методы, такие как конечных элементов, конечных разностей во временной области, сопряженных градиентов и т.д. Однако одним из часто используемых методов является метод моментов (МоМ) [1]. Это обусловлено простотой его алгоритма и способностью давать достаточно точные результаты при относительно небольших вычислительных затратах. При анализе проводных рассеивающих структур МоМ использует различные базисные функции, такие как треугольные или синусоидальные [2]. Недостатком их использования является усложнение процесса сегментации сложных проводных структур, особенно если они включают большое количество электрических соединений (пересечений) проводов и проводов со свободными концами [3]. Между тем использование ступенчатых базисных функций с МоМ может избавить от этих недостатков. Целью данной работы является верификация моделирования дипольного рассеивателя в системе TALGAT посредством метода моментов с ступенчатыми базисными функциями путем сравнения с результатами, полученными с другими функциями.

Исследуемая структура

Для достижения цели работы выбраны дипольные рассеиватели длиной L и радиусом a (при $L \gg a$) (Рис. 1) с различными размерами: с $L/\lambda = 1,5$ и 2 из работы [4] и $L/\lambda = 4,065$ и $0,75$ из работы [5]. Для расчета их характеристик использовался МоМ со ступенчатыми базисными функциями. Известно, что длина сегментов (S_l) должна удовлетворять условию $\lambda/10000 < S_l < \lambda/10$ и увеличение их числа повышает точность расчета, но в то же время увеличивает требуемый объем памяти компьютера и время вычислений. Поэтому при моделировании с помощью МоМ необходимо правильно и тщательно настроить эти параметры. В качестве возбуждения использовалась падающая плоская волна амплитудой 1 В/м с различными углами падения. Вычислены распределение тока в проводах структуры и ее эффективная площадь рассеяния (ЭПР).

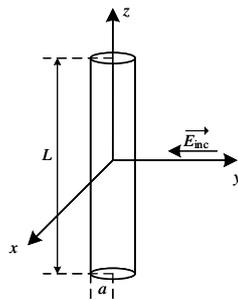


Рис. 1. Дипольный рассеиватель длиной L и радиусом a

Результаты

Зависимости модуля и фаза тока от координаты вдоль рассеивателя при углах падения возбуждающей волны 30° , 60° и 90° для рассеивателя радиусом $a = L/148,4$ и длиной $L = 1,5\lambda$ из работы [4] представлены на рис. 2, а $L = 2\lambda$ – на рис. 3. Результаты, полученные с помощью треугольных базисных функций (32 сегмента) в работе [4], отмечены на графиках красным цветом, с 30 ступенчатыми базисными функциями – синим цветом, с 60 – черным цветом. Видно, что результаты хорошо согласуются между собой и расхождение уменьшается с увеличением количества сегментов. На рис. 4 показаны сечения ЭПР при различных углах падения возбуждающей волны. Результаты, полученные с помощью треугольных базисных функций (32 сегмента) в работе [4], отмечены на графиках черным цветом, а с 60 ступенчатыми базисными функциями – красным цветом. Цена деления $0,5\sigma/\lambda^2$.

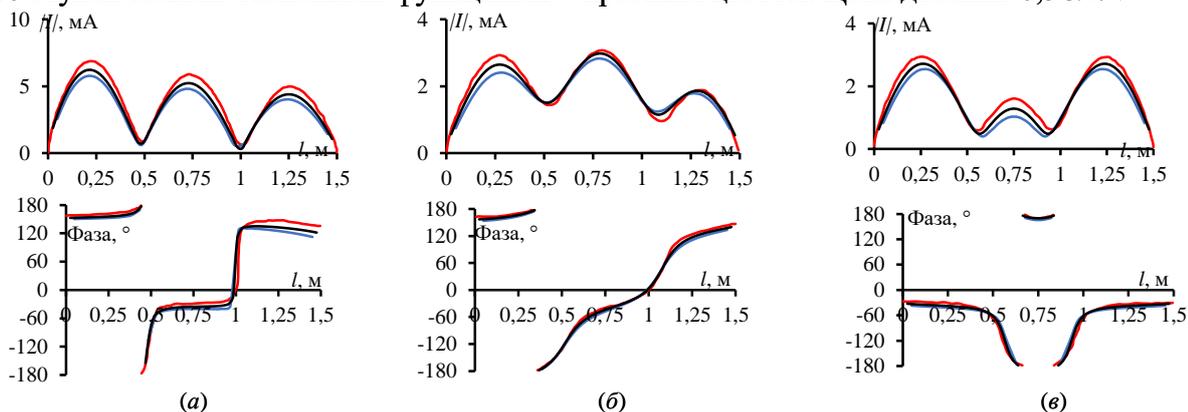


Рис. 2. Зависимости модуля и фазы тока от координаты вдоль рассеивателя при углах падения возбуждающей волны 30° (а), 60° (б), 90° (в) при $L = 1,5\lambda$ [4]

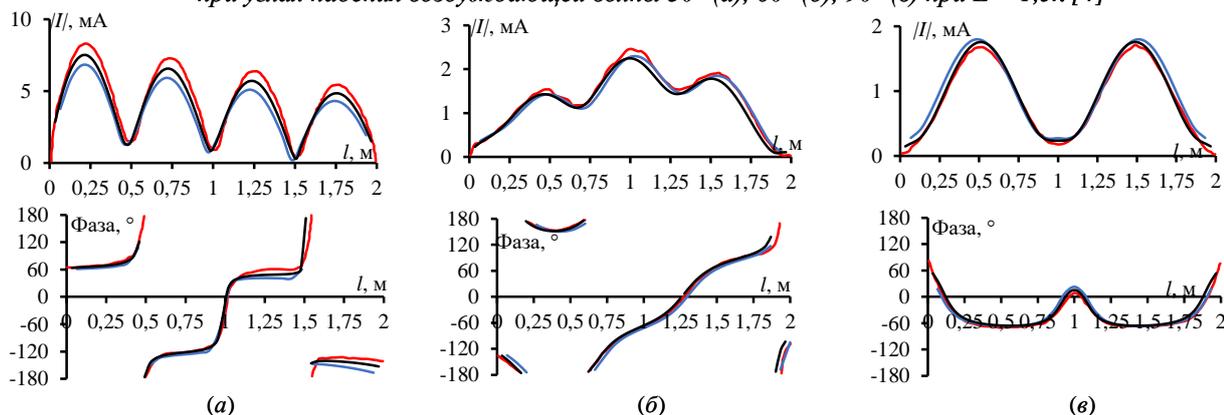


Рис. 3. Зависимости модуля и фазы тока от координаты вдоль рассеивателя при углах падения возбуждающей волны 30° (а), 60° (б), 90° (в) при $L = 2\lambda$ [4]

Очевидно, что углы главных лепестков рассеивающего поля равны углу падения, но направлены в противоположную сторону от перпендикуляра к поверхности расположения

диполя, что соответствует теории зеркальной дифракции. В результате использования МоМ со ступенчатыми базисными функциями полученные ЭПР согласуются с ЭПР из [4].

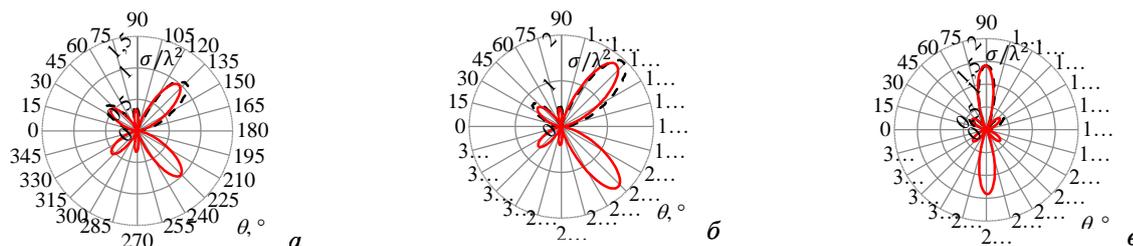


Рис. 4. ЭПР от дипольного рассеивателя длиной $L=1.5\lambda$ [4] при углах падения возбуждающей волны 30° (а), 60° (б), 90° (в)

На рис. 5 показаны сечения ЭПР при разных углах падения возбуждающей волны и разных длинах диполя. Результаты, полученные с помощью МоМ с 60 импульсными базисными функциями, отмечены на графике сплошными линиями, а из работы [5] – пунктирными. Они хорошо согласуются. Заметно также, что в случае $L/\lambda = 0,75$ рассеянное поле более изотропно, чем при $L/\lambda = 4,065$, и ЭПР имеет большую амплитуду при увеличении L .

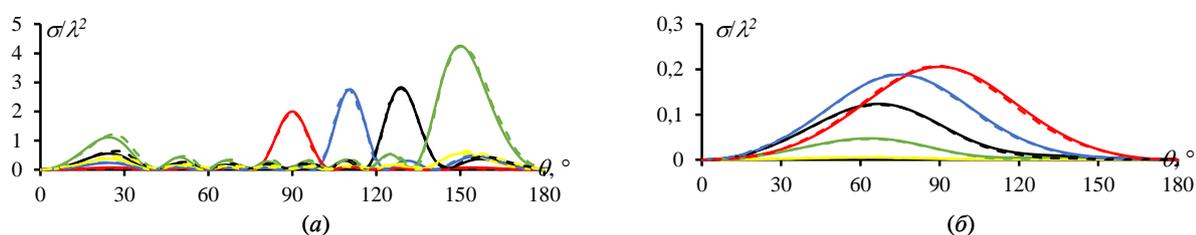


Рис. 5. ЭПР диполя при $L=4,065\lambda$ и $L/a=2856$ (а) и при $L=0,75\lambda$ и $L/a=150$ (б)

при углах падения возбуждающей волны: 10° – жёлтый, 30° – зелёный, 50° – чёрный, 70° – синий, 90° – красный

Заключение

Верифицированы результаты моделирования дипольного рассеивателя, используя МоМ со ступенчатыми базисными функциями. Сравнены распределения тока в проводах диполей разной длины и ЭПР от них с полученными другими базисными функциями из литературы. Сравнимые результаты имеют небольшое расхождение (например, меньше амплитуды тока), однако использование ступенчатых базисных функций проще в реализации и дает более точные результаты при увеличении количества сегментов. Планируется использовать эти базисные функции для анализа более сложных рассеивателей.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России по проекту FEWM-2023-0014.

Список литературы

1. Харрингтон Р.Ф. Применение матричных методов к задачам теории поля // Труды института инженеров по электронике и радиотехнике. – 1967. – № 2. – С. 5–19.
2. Strait B. Computer programs for EMC based on the method of moments // Technical Report, RADC-TR-80-93, Rome Air Development Center, Griffiss AFB. – New York, 1980. – Vol. 11.
3. Chao H., Strait B., Taylor C. Radiation and scattering by configurations of bent wires with junctions // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 1971. – Vol. 19, № 5. – P. 701-702.
4. Harrington R., Mautz J. Straight wires with arbitrary excitation and loading // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 1967. – Vol. 15, № 4. – P. 502-515.
5. Dedrick K., Hessing A. Bistatic radar scattering by randomly oriented wires // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 1967. – Vol. 40, № 7. – P. 420-426.

Оценка качества голоса и речи

Г.Р. Егле, С.Д. Томилина, А.А. Чурилов

Научный руководитель: к.т.н. Д.И. Новохрестова

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: germanegle@gmail.com

Assessment of voice and speech quality

G.R. Egle, S.D. Tomilina, A.A. Churilov

Scientific Supervisor: Ph.D. D.I. Novokhrestova

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,

Lenin str., 40, 634050

E-mail: germanegle@gmail.com

Abstract. *This study examined the use of voice and speech parameters to assess voice/speech quality. The research tool is the lingWAVES 3 software and hardware complex. For the study, 13 parameters were selected and samples of 50 values of healthy and sick voice/speech for each parameter were collected.*

Key words: *voice, speech, quality assessment, applicability.*

Введение

В настоящее время исследование параметров голоса и речи представляет собой одну из важнейших задач. Обусловлено это тем, что качество речи человека имеет прямое влияние на способность общаться и взаимодействовать в различных сферах жизни [1]. Анализ качества речи представляет собой интерес для лингвистов, психологов и речевых патологов и его развитие способствует пониманию речи и ее влияния на общение. Так же в современном мире безопасность данных и обеспечение конфиденциальности информации являются приоритетными задачами для государств и организаций, результаты анализа качества голоса и речи могут быть применены для обнаружения попыток несанкционированного доступа к голосовым системам и информации [2].

Таким образом работа по анализу качества речи и голоса с использованием LingWAVES 3 не только актуальна, но и имеет широкий спектр практических и научных применений, которые могут значительно улучшить качество жизни людей и развить соответствующие технологии и методы.

Экспериментальная часть

В качестве исследуемых параметров, которые можно рассматривать с использованием программно-аппаратного комплекса LingWAVES 3, были выбраны: энергия, мерцание, дрожание, основная частота, громкость, максимальная частота, разговорная кривая, стандартное отклонение основной частоты, звуковое давление, фонация, беззвучная фонация, максимальное время фонации, соотношение s/z [3]. Для исследования перечисленных параметров были получены записи пациентов с болезнями, влияющими на качество речи и записи пациентов с болезнями, влияющими на качество голоса. Во время исследования для разных методов сбора данных параметров, необходимы различные записи голоса/речи, а именно тянущиеся гласные, записи произношения слов и записи прочтения текста. Были сформированы выборки по 50 записей тянущихся гласных, произношения слов, а также прочтения текста, пациентов с болезнями, влияющими на речь/голос.

Следующим этапом производился сбор необходимых значений параметров, а также графиков для тех параметров, где это было возможно, пример полученных данных представлен в таблице 1. Для параметров речи, где в качестве записей использовались записи

имитации речи пациента с болезнью влияющей на качество речи, в дальнейшем будет необходимо провести повторное исследования на записях речи пациентов для подтверждения результатов текущего исследования. Для получения необходимых данных была написана инструкция по записи речи пациентов. Для параметров голоса, где хватало необходимых данных для получения выборки из 50 записей, так же была написана инструкция по сбору записей для пациентов с проблемным голосом.

Таблица 1

Пример полученных данных по параметрам

Энергия		Основная частота		Мерцание	
До операции	После операции	До операции	После операции	Нормальный	Искаженный
19,94	16,42	104,14	111,4	40,81	31,62
17,73	16,28	108,02	104,15	36,19	34,86
14,87	11,89	109,67	121,07	37,85	33,78
15,76	14,87	128,2	115,77	41,35	39,05
14,24	15,3	118,27	129,26	46,63	34,92
14,12	17,61	104,15	123,97	43,41	33,65

Для оценки качества голоса/речи использовался непараметрический U критерий Манна-Уитни, который показывает имеется ли связь между значениями выборки [4]. В случае если критерий показывал, что связь между выборками значений параметров здорового человека и больного человека ниже порогового значения делался вывод о том, что данные параметра по выборкам различаются и параметр можно использовать для оценки качества голоса/речи [5]. В качестве пороговых значений использовались 0.01 и 0.05.

Результаты

Была составлена сводная таблица 2, в которой отражены результаты проверки связи между выборками по каждому из исследуемых параметров при уровнях значимости 0.01 и 0.05.

Таблица 2

Возможность использования параметра для оценки качества голоса/речи

	Возможность использования параметра для оценки качества			
	0.01		0.05	
	речи	голоса	речи	голоса
Громкость	нет	-	нет	-
Энергия	нет	да	нет	да
Основная частота	нет	да	да	да
Мерцание	да	нет	да	да
Дрожание	да	да	да	да
Максимальная частота	да	-	да	-
Разговорная кривая	-	-	-	-
Станд. отклон. осн. частоты	да	нет	да	да
Звуковое давление	-	-	-	-
Фонация	-	-	-	-
Беззвучная фонация	-	-	-	-
Соотношение s/z	-	-	-	-
Максимальное время фонации	нет	-	нет	-

В таблице 1 ячейки, содержащие знак «-» обозначают что для данного параметра не хватало необходимых данных для исследования, а следовательно, была написана инструкция

по сбору данных для дальнейшего исследования, или же данные параметра были представлены в виде графиков, для исследования которых в дальнейшем будет использовано машинное обучение.

Заключение

В результате проведенного исследования были получены числовые значения исследуемых параметров, а также графики (где это было возможно), на основе полученных данных были выявлены параметры голоса и речи которые можно использовать для оценки качества голоса/речи. Для параметров, которые не были изучены были составлены инструкции по сбору записей пациентов, а также собраны данные параметров голоса/речи здорового человека. Были собраны параметры голоса и речи, представленные в виде графиков.

В дальнейшем параметры, исследуемые на имитации речи больного человека будут повторно исследованы для подтверждения полученных результатов. Написанные инструкции будут использованы для получения необходимых записей и графиков для дальнейшего исследования.

Параметры голоса и речи которые были получены в виде графиков были собраны и будут использованы в дальнейшем для их изучения с использованием машинного обучения, и получения сведений о различности полученных результатов.

Список литературы

1. Чжу Инли. Взаимосвязь мышления, языка и речи. – Текст: электронный // Педагогическое образование в России. – 2016. – № 12. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vzaimosvyaz-myshleniya-yazyka-i-rechi/viewer> (дата обращения: 12.06.2023).
2. Шайхутдинова Т.Ф. Защита информации как приоритетная задача обеспечения информационной безопасности России. – Текст: электронный // Вестник Московского университета МВД России. – 2023. – № 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zaschita-informatsii-kak-prioritnaya-zadacha-obespecheniya-informatsionnoy-bezopasnosti-rossii/viewer> (дата обращения: 15.06.2023).
3. Общее руководство для SPL и Voice Clinic Suites, руководство. – WEVOSYS, 2020. – 208 с.
4. Пучинский Г.В. Особенности применения параметрического и непараметрического критерия в статистической обработке данных газоанализа при тестировании группы пловцов. – Текст: электронный // Интеллектуальный потенциал XXI века: ступени познания. – 2016. – № 32. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-primeneniya-parametricheskogo-i-neparametricheskogo-kriteriya-v-statisticheskoy-obrabotke-dannyh-gazoanaliza-pri-testirovaniy-gruppy-plovcov> (дата обращения: 15.06.2023).
5. Косенков И.В., Тимофенко И.П., Юдин Р.С. Оценка акустико-эмиссионных процессов при помощи непараметрического U-критерия Манна-Уитни. – Текст: электронный // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2007. – № 3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-akustiko-emissionnyh-protsessov-pri-pomoschi-neparametricheskogo-u-kriteriya-manna-uitni> (дата обращения: 17.06.2023).

УДК 004.932.2

**Использование сиамской нейронной сети при отслеживании динамики реабилитации
пациентов после инсульта**

В.М. Ежова, Д.Е. Кошечко, С.А. Фоминых

Научный руководитель: доцент, к.т.н., Е.Ю. Костюченко

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: vhegezhv@gmail.com

**Using a Siamese neural network to track the dynamics of rehabilitation
of patients after a stroke**

V.M. Ezhova, D.E. Koshechko, S.A. Fominykh

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Ph.D., E.Yu. Kostyuchenko

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenin str., 40, 634050

Email: vhegezhv@gmail.com

***Abstract.** This report presents the process of creating our own dataset, as well as the use of Siamese neural networks in tracking the dynamics of rehabilitation of patients after a stroke.*

***Key words:** Seamese neural networks, dataset, rehabilitation.*

Введение

Целью работы является отслеживание динамики реабилитации пациентов с острым нарушением кровоснабжения головного мозга после инсульта. В рамках представленного этапа осуществляется построение классификатора для оценивания предъявленного образца почерка.

Сиамская нейронная сеть – класс архитектур нейронных сетей, который состоит из двух или более идентичных подсетей: нейронных сетей с одинаковой архитектурой, конфигурацией и весами. Даже во время обучения обновление параметров происходит одновременно для обеих нейронных сетей с одинаковыми весами. Целью наличия идентичных подсетей является обучение модели на основе функции подобия, которая измеряет, насколько отличаются векторы признаков одного изображения от другого. Благодаря такой архитектуре модель может быть обучена без большого количества данных [1]. Так как данное исследование предполагает создание собственного набора данных при взаимодействии с Томским НИИКиФ ФФГБУ ФНКЦ МРиК ФМБА России, занимающийся в том числе лечением, диагностикой и реабилитацией пациентов после инсульта. В связи с небольшим количеством исходных данных было принято решение использовать архитектуру вида Сиамской нейронной сети [2].

Экспериментальная часть

Данное исследование включает в себя два этапа: создание набора данных; рассмотрение работы сиамской нейронной сети на созданном наборе.

В рамках первого этапа по формированию массива данных с помощью графического планшета были созданы 15 пробных экземпляров изображений, на которых присутствуют элементы, представленные на рисунке 1 (слева – оригинал, справа – полученное изображение).

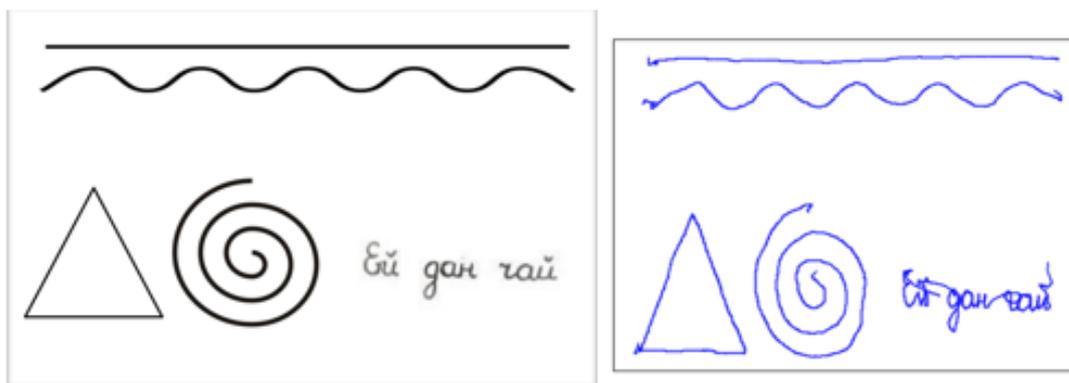


Рис. 1. Пример изображения

Координаты точек, собираемые с графического планшета, были записаны в базу данных MySQL и преобразованы в изображение. Пятнадцать экземпляров изображений были сохранены на диск, приведены к единому размеру и структурированы по папкам.

Аналогично пробным экземплярам были обработаны данные в количестве 15 изображений, полученные НИИ курортологии и физиотерапии от пациентов. Также в набор данных было добавлено 80 рисунков от четырех здоровых испытуемых, в общем количество экземпляров составило 95 [3].

Второй этап подразумевает осуществление предварительной обработки изображений с целью передачи их в сиамскую нейронную сеть с дальнейшей классификацией по классам.

Вначале из 15 пробных экземпляров было создано 225 пар изображений, далее сформирован выходной массив из единиц и нулей, определяющий принадлежность изображения к одной из трех групп по принципу сходства.

Для выполнения задачи классификации в открытый код сиамской нейронной сети были внесены следующие изменения: добавлен слой Convolution2D, выполняющий операцию 2D-свертки входных изображений; также подключен слой дискретизации на основе выборки (MaxPooling2D); выключен метод регуляризации нейронной сети (dropout); в качестве функции активации выбрана простая – кусочно-линейная функция (relu).

После всех преобразований модель начала обучаться, доля верных ответов увеличиваться, а функция потерь уменьшаться. Средние показатели при разбиении входных данных в соотношении 20 % тестовой на 80 % обучающей выборки составили: доля верных ответов – 1.0000, функция потерь – 0.0034. Решено использовать настроенную сиамскую сеть на расширенном наборе данных.

При работе с набором данных, состоящим из 95 экземпляров, предварительная обработка изображений была проведена следующим образом:

- из 15 изображений пациентов было получено 225 пар (каждое с каждым);
- из 80 изображений здоровых так же было получено 225 пар (случайное со случайным до получения нужного количества пар);
- из 15 изображений пациентов и 80 здоровых было создано 450 пар (случайное здорового со случайным пациента).

Итого было получено 900 пар изображений. Описанный способ включает в себя все возможные комбинации минимально необходимые для эффективного обучения сиамской нейронной сети.

Процесс обучения нейронной сети на обучающей и тестовой выборках представлен на рисунке 2.

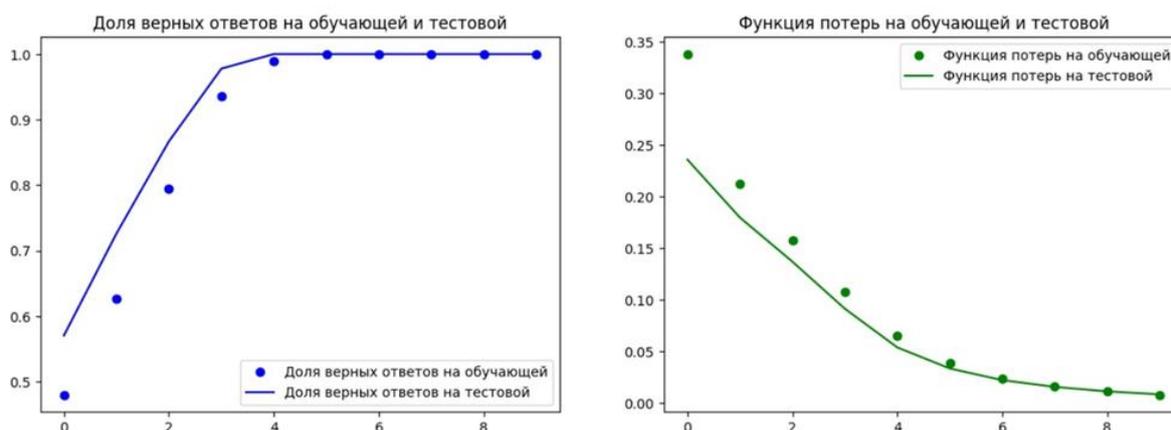


Рис. 2. Процесс обучения

Результаты

По итогам проделанной работы был создан собственный набор данных, состоящий из 95 экземпляров изображений.

На пробном наборе данных протестирована и настроена сиамская нейронная сеть, используемая для классификации изображений на расширенном наборе по двум классам (здоровых и пациентов).

Результаты, полученные при работе с большим количеством экземпляров представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты обучения на итоговом наборе данных

Количество эпох	Доля верных ответов	Функция потерь
10	1.0000	0.0067
15	1.0000	0.0032
25	1.0000	0.0015

Заключение

В результате данного исследования был рассмотрен и изучен принцип работы сиамской нейронной сети, создан собственный набор данных, рассмотрена задача классификации.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках базовой части государственного задания ТУСУРа на 2023–2025 гг. (проект № FEWM-2023-0015).

Список литературы

1. Сиамская нейронная сеть для однократного распознавания изображений // Современное программирование: сайт. – 2023. – URL: <https://digitrain.ru/articles/420615> (дата обращения: 20.09.2023).
2. Пример кода сиамской сети // Colab: сайт. – 2023. – URL: <https://colab.research.google.com/drive/1JrFR2SINjMsJ00Et7aSIARQxFeVmtkP#scrollTo=96wkgaQaY9zX> (дата обращения: 21.09.2023).
3. Созданный набор данных. // Google-диск: сайт. – 2023. – URL: <https://drive.google.com/drive/folders/1YXDa5k0lamDOHI8KUECdIrfa7yPn1ELZ> (дата обращения: 17.12.2023).

Обучение агентов в виртуальной среде KukaDiversObjectEnv

Н.Е. Залогин

Научный руководитель: ст. преп. Д.С. Григорьев
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: nez4@tpu.ru

Training agents in a KukaDiversObjectEnv virtual environment

N.E. Zalogin

Scientific Supervisor: Senior lecturer D.S. Grigoriev
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: nez4@tpu.ru

Abstract. *The present study implements and compares the DQN, PPO, Parallel PPO, and Modified PPO algorithms in the PyBullet KukaDiverseObjectEnv environment. The algorithms are tested and evaluated in a simulated test mode to assess their performance. The experiments focus on metrics such as learning speed, stability, and task completion success rate. The results provide insights into the effectiveness of each algorithm in the tested environment, aiding in the optimization of reinforcement learning algorithms for complex environments and robotics.*

Key words: *Reinforcement learning, Robotic arm, PyBullet*

Введение

Обучение с подкреплением (Reinforcement Learning, RL) стало мощным инструментом для обучения интеллектуальных агентов выполнять различные задачи в сложных средах. В последние годы все больше растет интерес к применению методов в RL робототехнике с целью обеспечения автономности и адаптивности к окружающей среде. В данной работе рассматривается процесс обучения агентов с использованием различных алгоритмов RL в виртуальной среде KukaDiversObjectEnv [1] на платформе PyBullet [2].

Экспериментальная часть

KukaDiverseObjectEnv – среда симуляции на платформе PyBullet, разработанная для обучения роботов манипулированию объектами. Входными данными служит rgb изображение, пример такого изображения приведен на рис. 1. Функция награды в этой среде является двоичной и выдается за успешное поднятие предмета. Благодаря редкой награде и сложности задачи, среда становится достаточно интересной для изучения.

Для обучения использованы алгоритмы Deep Q-Networks (DQN) [3], Proximal Policy Optimization (PPO) [4] и две модификации примененного алгоритма PPO.

Реализация DQN агента опирается на методы, описанные в учебном пособии PyTorch [5]. Алгоритм PPO агента базируется на реализации, представленной в соответствующем блог-посте [6]. Первая модификация PPO включает параллелизацию среды с использованием библиотеки multiprocessing. Вторая модификация PPO включает дополнительные улучшения такие как более глубокие слои actor-critic, включая общие слои (shared layers) и сверточные слои (convolutional layers). Кроме того, применяются определенные алгоритмические особенности, такие как нормализация преимуществ после их вычисления на основе обобщенной оценки преимуществ (GAE) [7] и уменьшение learning rate, epsilon, beta по ходу обучения.

Для тестирования и оценки алгоритмов обучения агентов был установлен критерий прекращения обучения - достижение средней награды в 50 за 100 эпизодов, что эквивалентно 50 % точности.

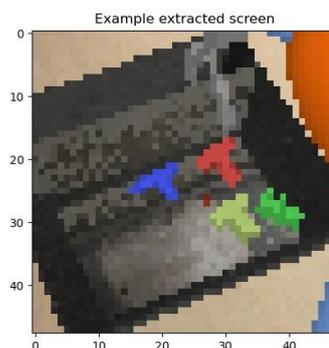


Рис. 1. Пример изображения с камеры робота

Для оценки точности обученных агентов использовалась та же среда в режиме тестирования, позволяющая проверить их способность достигать подобных результатов при отличающихся условиях.

Результаты

По ходу обучения агентов были проведены измерения средней награды за 100 эпизодов, результаты которых представлены на рисунке 2. Следует отметить, что цикл обучения агента с использованием PPO включает в себя сбор информации о 1024 шагах перед началом обучения. В то время как алгоритм DQN, обучается после каждого шага в среде. С учетом этого различия, будем считать, что каждая итерация PPO эквивалентна 1024 итерациям DQN. В дополнение к графикам средней награды, были зафиксированы показатели конечной средней награды, количество шагов обучения и время обучения, приведенные в таблице 1.

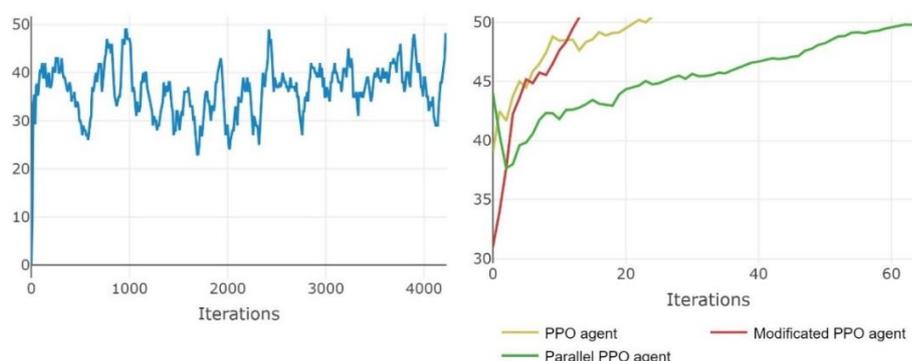


Рис. 2. Средняя награда агента DQN (а), Средняя награда агентов PPO (б)

Таблица 1

Сравнение показателей обученных агентов DQN и PPO

Агент	Средняя награда	Шаги обучения	Время обучения
DQN	51,000	4239	2:06:54,878
PPO	50,690	26 (26624)	1:52:07,842
Параллельный PPO	50,061	65 (66560)	0:35:12,836
Модифицированный PPO	50,067	13 (13312)	0:09:34,629

Из результатов, представленных на рисунках 2-3 и таблице 1, можно сделать вывод о том, что параллелизация среды ускорила процесс обучения агента. Однако, это привело к увеличению количества итераций обучения. Модификация параллельного PPO успешно решает эту проблему, позволяя сильнее сократить время обучения агента.

Для тестирования полученных агентов использовалось 1000 эпизодов среды в тестовом режиме. Результаты тестирования приведены в таблице 2.

Таблица 2

Тестирование обученных агентов DQN и PPO

Агент	DQN	PPO	Параллельный PPO	Модифицированный PPO
True episode	47,8%	50,2%	49,1%	52,4%
False episode	52,2%	49,8%	50,9%	47,6%

Из таблицы 2 можно сделать вывод, что все агенты успешно решают поставленную задачу и достигают точности в окрестности 50 процентов в 1000 тестовых эпизодах. Это показывает способность агентов эффективно приспосабливаться к среде и достигать высоких результатов.

Заключение

Благодаря параллелизации сред, процесс обучения агента был существенно ускорен, несмотря на увеличение количества итераций. Модификация параллельного PPO устраняет этот недостаток и еще более сокращает время обучения. Все реализованные агенты, включая DQN, PPO, Parallel PPO и Modified PPO, успешно решают поставленную задачу, достигая около 50 % точности за 1000 тестовых эпизодов.

В будущем предполагается дальнейшее улучшение алгоритма PPO и общего процесса обучения для достижения лучших результатов. Рассмотрение различных дополнительных стратегий, таких как HER или PCCL, может расширить возможности и повысить производительность агентов. Также замена среды обучения с KukaDiverseObjectEnv на другую или создание специальной среды может открыть новые направления исследований в области обучения с подкреплением.

Список литературы

1. Bulletphysics // GitHub: сайт. – 2024. – URL: https://github.com/bulletphysics/bullet3/blob/master/examples/pybullet/gym/pybullet_envs/bullet/kuka_diverse_object_gym_env.py (дата обращения 15.03.2024).
2. Bullet Real-Time Physics Simulation// PyBullet: сайт. – 2024. – URL: <https://pybullet.org/wordpress/> (дата обращения 15.03.2024).
3. Mnih V. et al. Human-level control through deep reinforcement learning // Nature. – 2015. – Vol. 518, № 7540. – P. 529-533.
4. Schulman J. et al. Proximal policy optimization algorithms. // arXiv: сайт. – 2017. – URL: <https://arxiv.org/abs/1707.06347> (дата обращения 15.03.2024).
5. Reinforcement Learning (DQN) Tutorial // PyTorch: сайт. – 2024. – URL: https://pytorch.org/tutorials/intermediate/reinforcement_q_learning.html (дата обращения: 15.03.2024).
6. Huang S. et al. The 37 implementation details of proximal policy optimization // ICLR: сайт. – 2022. – URL: <https://iclr-blog-track.github.io/2022/03/25/ppo-implementation-details/> (дата обращения: 15.03.2024).
7. Schulman J. et al. High-dimensional continuous control using generalized advantage estimation// arXiv: сайт. – 2017. – URL: <https://arxiv.org/abs/1707.06347> (дата обращения 15.03.2024).

УДК 537.533

**Влияние давления газа на ток эмиссии электронов в импульсном форвакуумном
плазменном источнике электронов**

А.В. Казаков, Н.А. Панченко, А.С. Попова

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: andrykazakov@gmail.com

**Influence of gas pressure on electron emission current in a pulsed forevacuum
plasma electron source**

A.V. Kazakov, N.A. Panchenko, A.S. Popova

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenin str., 40, 634050

E-mail: andrykazakov@gmail.com

***Abstract.** The investigation of electron emission in a pulsed forevacuum plasma electron source have shown that an increase in the discharge current forming the emission plasma and an increase in the gas pressure provide an increase in the rate of rise of the emission current at the pulse front.*

***Keywords:** plasma electron source, pulsed electron beam, forevacuum pressure range.*

Введение

Импульсные плазменные источники электронов с так называемой слоевой или сеточной стабилизацией границы эмиссионной плазмы обеспечивают генерацию электронных пучков различной конфигурации (большого радиуса, ленточные пучки, и т.д.) в достаточно широком диапазоне параметров (ток пучка, длительность импульса и др.) [1, 2]. Кроме того, данные источники достаточно устойчиво функционируют при повышенном давлении газа (10^{-2} – 10^{-1} Па) и использовании активных газов, таких как, например, кислород и азот, что является преимуществом по сравнению с источниками электронов на основе термо-катодов. Импульсные форвакуумные плазменные источники электронов, которые позволяют генерировать электронные пучки большого радиуса при давлениях газа 3–30 Па [3, 4], являются результатом дальнейшего развития способности плазменных источников функционировать при повышенных давлениях газа. Распространение электронного пучка через газовую среду при форвакуумном диапазоне давления (1–100 Па) сопровождается формированием пучковой плазмы, плотность которой существенно выше, чем в традиционном для источников электронов диапазоне давлений. Это приводит к тому, что поток ионов из пучковой плазмы оказывает существенное влияние на функционирование форвакуумных плазменных источников электронов [5].

Цель настоящей работы заключается в исследовании влияния давления газа на ток эмиссии электронов в форвакуумном плазменном источнике импульсного электронного пучка большого радиуса.

Методика эксперимента

Исследования осуществлялись на форвакуумном плазменном источнике импульсного электронного пучка, в котором эмиссионная плазма создавалась дуговым разрядом с катодными пятнами. Подробное описание конструкции использованного источника представлено в [4]. В отличие от конструкции, описанной в [4], где эмиссионный электрод был с двойной металлической сеткой, в настоящей работе для проведения исследований эмиссионный электрод источника был заменен, и стабилизация границы эмиссионной поверхности плазмы, формируемой дуговым разрядом, осуществлялась сеточным эмиссионным электродом с размерами ячеек $0,3 \times 0,3$ мм². Форвакуумный источник

электронов работал в изобарном режиме, т.е. давление p газа в источнике электронов и в вакуумной камере, на которой он размещался (рис. 1), было одинаковым. Регулировка давления p осуществлялась скоростью подачи азота в вакуумную камеру, скорость откачки которой с помощью форвакуумного насоса поддерживалась неизменной. Питание плазменного источника осуществлялось импульсным блоком питания разряда и высоковольтным источником постоянного ускоряющего напряжения. Ток I_d дугового разряда в исследованиях составлял 5–40 А при длительности импульса 250 мкс и частоте следования импульсов 1 Гц, а ускоряющее напряжение U_a было 8 кВ. Ток разряда I_d и ток эмиссии I_e измерялись трансформаторами тока, установленными в соответствующих цепях, а ускоряющее напряжение контролировалось высоковольтным пробником напряжения. Электронный пучок принимался металлическим коллектором.

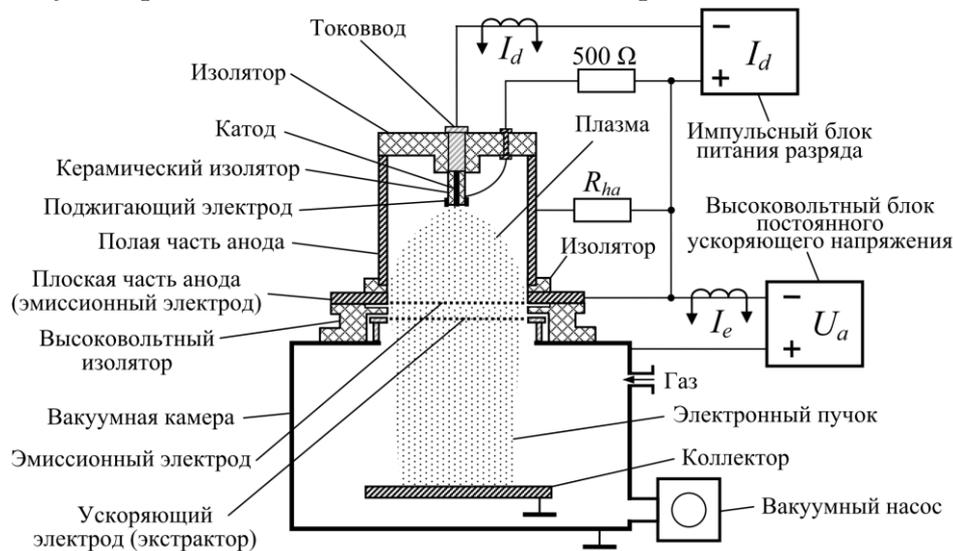


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Результаты экспериментов и их анализ

При минимальном использованном рабочем давлении газа $p = 4$ Па ток I_e эмиссии электронов достигает амплитудного значения с некоторой задержкой относительно тока I_d дугового разряда (рис. 2). Увеличение давления газа при неизменном токе разряда приводит к увеличению тока эмиссии и более быстрому достижению амплитудного значения тока I_e эмиссии, т.е. ток I_e достигает амплитудное значение за меньшее время. При $p = 15$ Па амплитудное значение тока эмиссии и амплитудное значение тока I_d разряда достигаются практически одновременно. Для оценки скорости роста тока I_e эмиссии рассматривался участок на фронте импульса тока I_e между моментами, когда ток эмиссии достигал 10 % и 90 % от амплитудного значения. Скорость u_e нарастания тока I_e на фронте импульса оценивалась как

$$u_e = \frac{\Delta I_e}{\Delta t},$$

где ΔI_e и Δt – изменение тока I_e эмиссии и промежуток времени между моментами, когда ток эмиссии достигал 10 % и 90 % от амплитудного значения, соответственно.

Скорость u_e нарастания тока I_e эмиссии на фронте импульса увеличивается по мере роста давления p газа (рис. 3). Увеличение разрядного тока ожидаемо приводит большей скорости роста тока эмиссии, при этом сохраняется влияние давления газа на u_e . Таким образом, увеличение тока I_d разряда, формирующего эмиссионную плазму, и увеличение давления p газа приводят к увеличению скорости нарастания тока эмиссии на фронте импульса тока. Наблюдаемое с ростом давления p газа увеличение u_e обусловлено ионным потоком из пучковой плазмы, величина которого растет по мере увеличения p .

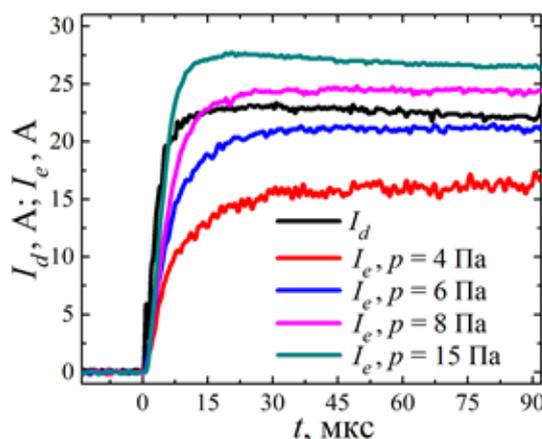


Рис. 2. Начало часть осциллограмм тока I_d разряда и тока I_e эмиссии

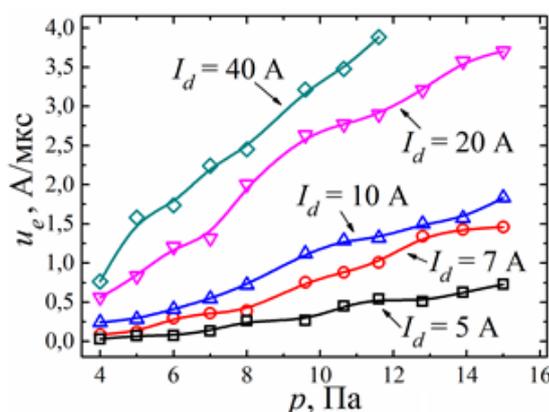


Рис. 3. Зависимость скорости u_e нарастания тока эмиссии от давления p газа

Заключение

Исследования эмиссии электронов в форвакуумном плазменном источнике электронов показали, что увеличение тока разряда, формирующего эмиссионную плазму, и увеличение давления рабочего газа приводят к увеличению скорости нарастания тока эмиссии на фронте импульса.

Работа выполнена при поддержке гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № FEWM-2023-0012.

Список литературы

1. Окс Е.М. Источники электронов с плазменным катодом: физика, техника, применения. – Томск : Изд-во НТЛ, 2005. – 216 с.
2. Коваль Н.Н., Девятков В.Н., Воробьев М.С. Источники электронов с сеточным плазменным эмиттером: прогресс и перспективы // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2020. – Т. 63, № 10. – С. 7–16.
3. Юшков Ю.Г., Бурдовицин В.А., Медовник А.В., Окс Е.М. Форвакуумный плазменный источник импульсных электронных пучков // Приборы и техника эксперимента. – 2011. – Т. 2. – С. 85–88.
4. Kazakov A.V., Medovnik A.V., Oks E.M., Panchenko N.A. Broad-beam plasma-cathode electron beam source based on a cathodic arc for beam generation over a wide pulse-width range // Review of Scientific Instruments. – 2020. – V. 91. – Art. No. 093304.
5. Бурдовицин В.А., Климов А.С., Медовник А.В., Окс Е.М., Юшков Ю.Г. Форвакуумные плазменные источники электронов. – Томск : Изд-во ТГУ, 2014. – 288 с.

Разработка асу для частного дома

К.И. Калашников

Научный руководитель: доцент, к.т.н. А. Е. Карелин

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Россия, г. Томск, пр-т Ленина, 40, 634050

E-mail: avs1@fb.tusur.ru

Development of acs for a private home

K.I. Kalashnikov

Scientific Supervisor: Ass. Pr., Ph.D., A. E. Karelin

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,

Lenin str., 40, 634050

E-mail: avs1@fb.tusur.ru

***Abstract.** The results of the practical implementation of the automated control system for elements of a private house based on the products of the OWEN company.*

***Keywords:** ACS, PLC, systems design.*

Введение

В современном мире, быт человека полон повседневных бытовых задач, которые, так или иначе, отнимают время для их решения. В настоящее время одним из самых быстро развивающихся направлений в области IT-технологий является разработка различных автоматизированных систем. Очевидно, что все больше сфер нашей жизни автоматизируется, и данная тенденция только растет с каждым годом. В обиход современного человека плотно вошли технологии удаленного управления [1]. Именно эти технологии помогают не только экономить время, но и позволяют не зависеть от местонахождения, что положительно сказывается на контроле систем частного дома.

Цель работы заключается в модернизации элементов частного дома путём создания АСУ, имеющую несколько точек доступа.

Материалы и методы исследования

Прежде чем перейти к реализации системы, нужно определиться с тем, какие элементы подлежат автоматизированию. К ним относятся: солнечный коллектор ЯSolar, приточно-вытяжная установка Shuft NOVA-600 ЕС, ГВС и ХВС, проветривание, освещение и капельный полив теплиц с огородом, ТЭН теплоаккумулятора, котёл, дренаж. На Рис 1. показана схема, того, как взаимодействовали элементы, частного дома до установки АСУ. Как видно, связаны были только солнечный коллектор и ТЭН, а для всего остального требуется использовать отдельную панель управления или доступ к ним реализован только в ручном режиме, например, капельный полив.

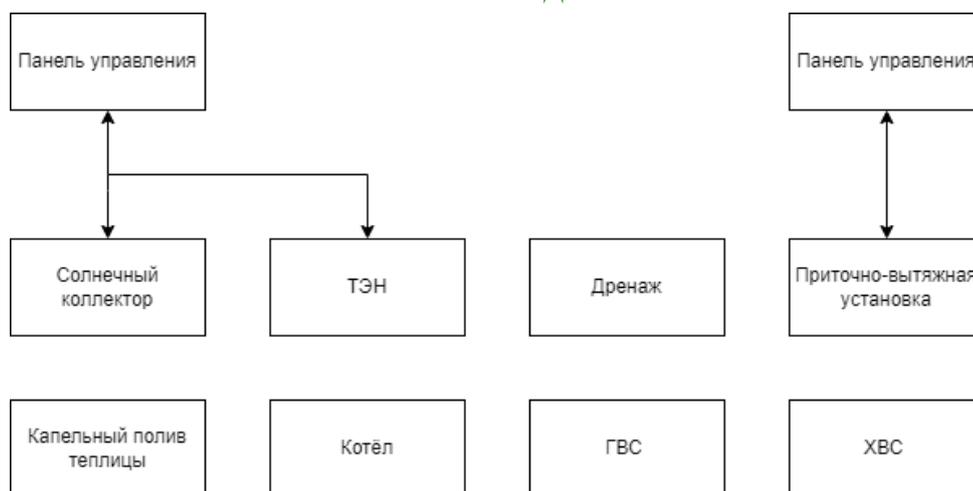


Рис. 1. Схема взаимодействий элементов частного дома до установки АСУ

В качестве основы для будущей АСУ была продукция компании ОВЕН. Для реализации были закуплены следующие комплектующие: программируемый логический контроллер ПЛК110, 2 модуля аналогового ввода МВ110-224.8А, Панель оператора СП307-Б, 3 преобразователя давления ПД-100-ДИ1,0-381-1,0, 9 Термопреобразователей сопротивления ДТС014-РТ1000, 3 термопреобразователя сопротивления ДТС125Л-50М, преобразователь влажности и температуры ПВТ10-Н2.3.И.

Все элементы собраны в распределительные шкафы и размещены в котельной в двух теплицах.

Программа для работы ПЛК реализована в программе CoDeSys V2.3 на языке CFC. Для удобства все элементы сделаны в качестве подмодулей, а также для возможности технических работ или сбоя работы было реализовано переключение между автоматическим и ручным режимом для каждого элемента в системе.

Обмен данных между ПЛК, модулями аналогового ввода и приточно-вытяжной установкой реализован на стандарте интерфейса RS-485.

Результаты

Результатом проекта является автоматизированная система загородного дома. Методологическую и теоретическую основу исследования составляют практические разработки и концепции по управлению инженерными системами современных жилых помещений с использованием автоматики и современных технологий.

Внедрение автоматической системы управления загородным домом позволит значительно снизить расходы на его содержание, обеспечит комплексную защиту жизни и здоровья людей, предотвращение серьезных аварий, обеспечит комфортные условия проживания. В современном мире внедрение данной системы имеет огромную эффективность.

Разработанная АСУ позволяет поддерживать заданную температуру на первом и втором этаже днём и ночью, периоды рециркуляции ГВС, управлять освещением и отоплением, организует пожарную и охранную сигнализацию. Структура полученной системы изображена на Рис. 2.

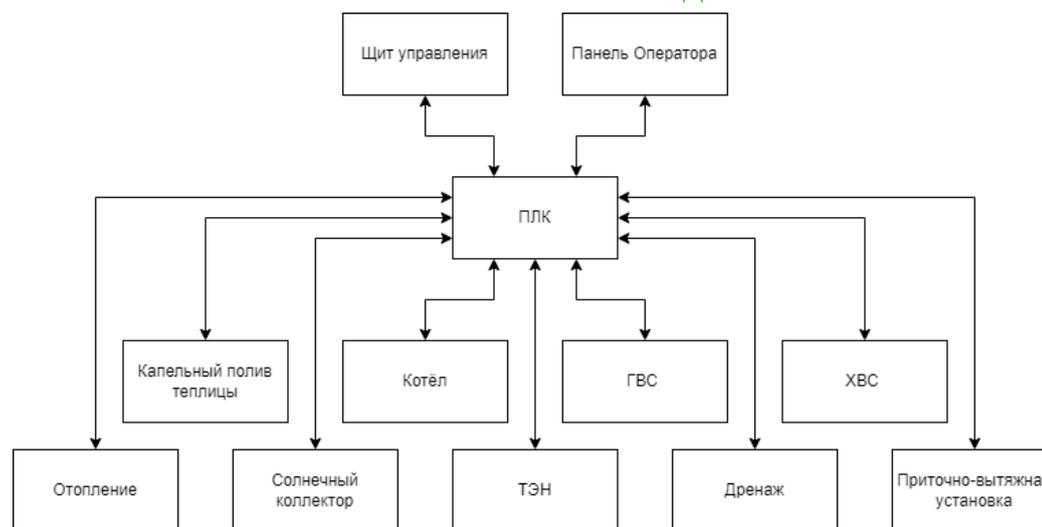


Рис. 2. Схема взаимодействий элементов частного дома после установки АСУ

Заключение

Дальнейшая работа в проекте направлена на улучшение визуальной составляющей интерфейса на панели оператора и подключение системы к облачному сервису OwenCloud для возможности управления при помощи телефона из любого места с доступом к интернету.

Список литературы

1. Бодрый Д.В. Разработка системы управления оборудованием на основе технологии «smarthome» для загородного дома. здоровья // Сборник тезисов докладов VI международной научно-практической конференции магистрантов «ИТЭС 2020: «Инновации. Транспорт. Энергоэффективность. Строительство». – Гомель: БелГУТ, 2020. – С. 17.

УДК 004.413.5

**Доверенная система тестирования программного обеспечения
устройств интернета вещей**

Е.О. Калинин, Д.С. Беляков, Д.С. Брагин, О.Н. Дьяков

Научный руководитель: профессор, д.т.н., А.А. Шелупанов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: keo@csp.tusur.ru

Trusted software testing system for iot devices

E.O. Kalinin, D.S. Belyakov, D.S. Bragin, O.N. Dyakov

Scientific Supervisor: Prof., PhD. A.A. Shelupanov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenin str., 40, 634050

E-mail: keo@csp.tusur.ru

***Abstract.** The software of IoT devices in most cases is a microcontroller firmware written in C programming language. When designing Internet of Things devices, it is necessary to ensure the reliability and security of the software. To ensure the reliability and security of the developed software, it is necessary to constantly analyze the code for bugs and errors. The method of code review is not suitable due to high costs for qualified programmers. So, static source code analyzers are used to solve the problem of code analysis.*

***Key words:** Static code analysis, Internet of Things, Testing.*

Введение

Программное обеспечение устройств Интернета Вещей в большинстве случаев представляет собой прошивку для микроконтроллера, написанную на языке программирования C. При проектировании устройств Интернета Вещей требуется обеспечить надежность и защищенность ПО [1]. Для обеспечения надежности и защищенности разрабатываемого ПО необходимо постоянно просматривать код на предмет недочетов и ошибок [2, 3]. Метод совместного обзора кода не подходит по причине высоких затрат на квалифицированных программистов. Таким образом для решения проблемы проверки кода применяют статические анализаторы исходного кода.

Требования к надежности и защищенности ПО для устройств Интернета Вещей обычно подразумевают использование следующих стандартов: MISRA C, MISRA C++, AUTOSAR Coding Guidelines, Common Weakness Enumeration (CWE), OWASP ASVS (Application Security Verification Standard). Для обеспечения требований данных стандартов, статические анализаторы используют проверки, формируемые в базы правил безопасного кодирования.

Большинство статических анализаторов поддерживают множество языков программирования, помимо C/C++, и различные стандарты безопасного кодирования. Однако, ввиду их универсальности, существующие анализаторы имеют не всегда способны быстро осуществлять проверку правил безопасности.

Целью данного исследования является разработка собственного решения, а также сопоставление характеристик [4] разрабатываемого и существующих статических анализаторов, соответствующих описанным выше требованиям.

Экспериментальная часть

На рис. 1 представлена схема работы разработанного статического анализатора. Исходные тексты программ проходят процедуру преобразования в формат, подходящий для дальнейшей интерпретации (препроцессинг). Далее, обработанные данные проходят

лексический анализ, для получения идентифицированных последовательностей (лексем). Полученный набор лексем анализируется согласно проверкам из базы правил безопасного кодирования.

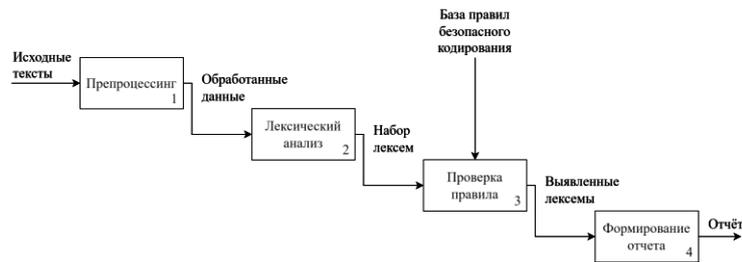


Рис. 1. Структурная схема работы разработанного статического анализатора

Для оценки качества статических анализаторов в данном исследовании применяются критерии, широко используемые в других научных работах [5, 6]:

- скорость проведения анализа;
- количество корректно определенных нарушений;
- количество некорректно определенных или не найденных нарушений.

Продолжительность анализа должна быть компромиссом между точностью, глубиной анализа и общими затратами. Обеспечение высокого процента покрытия исходного кода за разумное время является сложной задачей.

Для проведения сравнительного анализа разрабатываемого решения, также были использованы существующие анализаторы, такие как коммерческий инструмент PVS-Studio и Cppcheck, инструмент с открытым исходным кодом, поддерживающие стандарты безопасного кодирования MISRA C:2012 [7]. В качестве тестовых данных для оценки эффективности статических анализаторов применяются образцы исходного кода из спецификации MISRA C:2012 [8], в которых эталонное количество корректно определяемых нарушений равно 445. Количество строк кода в тестовых данных - 13733 штук.

Результаты

В таблице 1 представлен результат сравнений статических анализаторов, поддерживающие стандарты безопасного кодирования для встраиваемых устройств и устройств Интернета Вещей.

Точность измерений вычислялась согласно формуле [9, 10]:

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP},$$

где TP – корректно определенные нарушения, FP – некорректно определенные или не найденные нарушения.

Таблица 1

Результат анализа статических анализаторов

	Разрабатываемое решение	PVS-Studio	Cppcheck
Затраченное время, секунды	0,161	4,814	5,151
TP , штук	445	445	388
FP , штук	78	197	57
Точность измерений, %	85	69	87

На основании результатов, представленных в таблице 1, можно заключить, что разрабатываемое решение демонстрирует наименьшее время, затрачиваемое на выполнение проверок правил безопасного кодирования, при сопоставимой точности.

Заключение. Все рассмотренные в рамках текущей работы анализаторы показали хорошие результаты по точности измерений, однако разработанное решение превосходит на порядок аналоги по скорости проверок правил.

Скорость проведения анализа является важным критерием оценки эффективности статических анализаторов и влияет на общую продолжительность проверки кода. Проверка кода должна производиться как можно чаще, желательно после минимальной модификации исходного кода.

Дальнейшие исследования будут направлены на увеличение правил безопасного кодирования и повышением точности обнаружения нарушений для существующих правил у разрабатываемого решения.

Список литературы

1. Usmonov B., Evsutin O., Iskhakov A. et al. The cybersecurity in development of IoT embedded technologies // 2017 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT). – Tashkent: IEEE, 2017. – P. 1–4.
2. Shelupanov A., Konev A., Kosachenko T., Dudkin D. Threat Model for IoT Systems on the Example of OpenUNB Protocol // International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. – 2019. – Vol. 7, № 9. – P. 283–290.
3. Eichelberger H. et al. Automated Reproduction and Analysis of Bugs in Embedded Software // Embedded Software Verification and Debugging. – 2017. – P. 67–106.
4. Shiraishi S., Mohan V., Marimuthu H. Test suites for benchmarks of static analysis tools // 2015 IEEE International Symposium on Software Reliability Engineering Workshops (ISSREW). – Gaithersburg: IEEE, 2015. – P. 12–15.
5. Bermejo Higuera J.R. et al. Benchmarking Approach to Compare Web Applications Static Analysis Tools Detecting OWASP Top Ten Security Vulnerabilities // Computers, Materials & Continua. – 2020. – Vol. 64, № 3. – P. 1555–1577.
6. Mateo Tudela F. et al. On Combining Static, Dynamic and Interactive Analysis Security Testing Tools to Improve OWASP Top Ten Security Vulnerability Detection in Web Applications // Applied Sciences. – 2020. – Vol. 10, № 24. – P. 9119.
7. MISRA C:2012 Guidelines for the use of the C language in critical systems // Electro Volt: сайт. – 2013. – URL: https://electrovolt.ir/wp-content/uploads/2022/09/MISRA-C_2012_Guidelines-for-the-Use-of-the-C-Language-in-Critical-Systems-Motor-Industry-ResearchAssociation-2013-2013.pdf (дата обращения: 01.03.2024)
8. MISRA C:2012 Examples from MISRA C:2012 document // GitHub: сайт. – 2024. – URL: <https://github.com/jubnzv/MISRA-Example-Suite> (дата обращения: 01.03.2024)
9. Nunes P., Medeiros I., Fonseca J.C. et al. Benchmarking Static Analysis Tools for Web Security // IEEE Trans. Rel. – 2018. – Vol. 67, № 3. – P. 1159–1175.
10. Herter J., Kästner D., Mallon C., Wilhelm R. et al. Benchmarking static code analyzers // Reliability Engineering & System Safety. – 2019. – Vol. 188. – P. 336–346.

УДК 537.533

Расчет отклонения и размеров сфокусированного электронного пучка прошедшего через изогнутую отклоняющую катушку

Г.А. Касьянов, И.Ю. Бакеев, А.А. Лыман

Научный руководитель: профессор, А.С. Климов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: gleb.kas.1990@mail.ru

Calculation of deflection and sizes of a focused electron beam passing through a curved deflecting coil

G.A. Kasyanov, I.Yu. Bakeev, A.A. Lyman

Scientific Supervisor: Prof., A.S. Klimov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenin str., 40, 634050

E-mail: gleb.kas.1990@mail.ru

***Abstract.** Demonstrated changes in the deflection angle and cross-sectional dimensions of the focused electron beam when the currents of the focusing and deflecting coils are changed. At a current of 0.34 A applied to the focusing coil, independently of the deflecting coil current, the minimum size of the electron beam spot at a distance of 20 cm from the deflecting coil is observed. At 4 A supplied to the deflecting coil, the smallest beam deflection in the horizontal plane is observed - 17.26 degrees.*

***Key words:** calculation, electron beam, deflection coil.*

Введение

Электронные пучки, генерируемые форвакуумными плазменными источниками электронов [1], могут использоваться в качестве инструмента эффективного теплового воздействия на высокотемпературные диэлектрические материалы [2]. В данном случае локальное тепловое воздействие может нести разнообразные назначения: спекание керамик, модификация поверхностных свойств диэлектриков в результате кратковременного не приводящего к фазовым переходам теплового воздействия, а также плавка, резка высокотемпературных марок керамик и их испарение, и дальнейшее осаждение для формирования функциональных покрытий.

В процессе электронно-лучевой обработки материалов, побочным эффектом которой является интенсивное газовыделение, может происходить попадание направленных потоков испаряемых веществ в рабочую область плазменного источника, что в свою очередь повлечет за собой сбой стабильного горения плазменного разряда. В связи с этим для повышения работоспособности источника электронного луча необходимо предотвратить попадание направленных потоков испаряемых веществ в рабочую область плазменного источника.

Цель настоящей работы заключалась в расчете отклонения и размеров сфокусированного электронного луча, прошедшего через изогнутую отклоняющую катушку.

Материалы и методы исследования

Схема проведения расчетов отклонения и размеров сфокусированного электронного пучка, прошедшего через изогнутую отклоняющую катушку представлена на рис. 1. Форвакуумный плазменный источник электронов 1 монтируется на боковом фланце вакуумной камеры, генерируя электронный пучок 2 в горизонтальном направлении. На пути электронного пучка устанавливается устройство поворота пучка 3, в первоначальном

исполнении, представляющем собой одиночную изогнутую магнитную катушку. На выходе устройства поворота пучок направляется на облучаемую мишень 4. В результате воздействия электронного пучка образуется зона расплава 5. В результате испарения мишени направленный поток испаренных частиц имеет максимальную плотность в перпендикулярном относительно плоскости мишени направлении. Вследствие этого попадает не в рабочую область форвакуумного источника, а отсекается поверхностями тороида, тем самым, не нарушая работоспособность источника электронов.

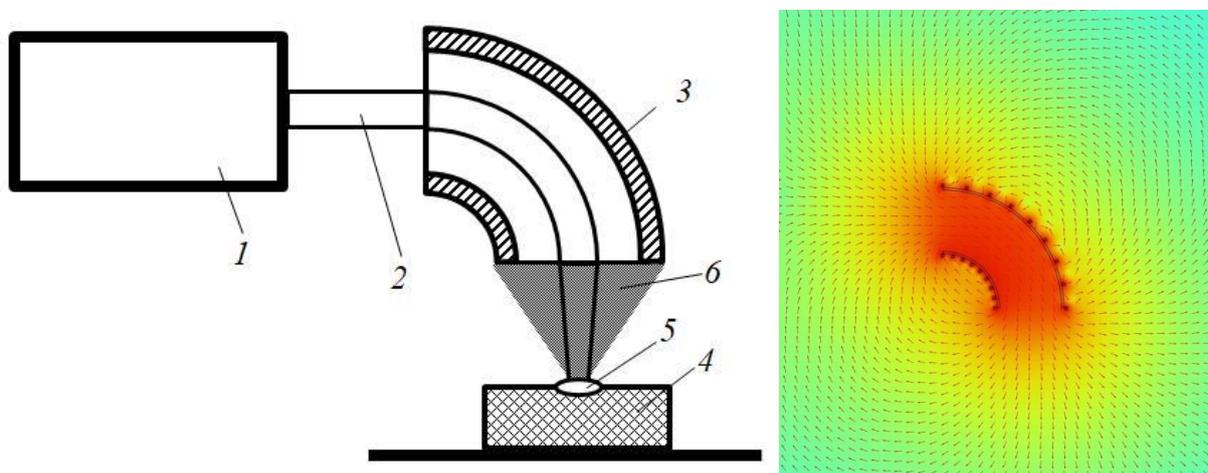


Рис. 1. Схема работы и распределение магнитного поля устройства поворота электронного пучка:
1 – форвакуумный плазменный источник электронов; 2 – сфокусированный электронный пучок;
3 – устройство поворота электронного пучка; 4 – мишень; 5 – зона расплава; 6 – поток испаренных частиц

Расчеты производились с использованием уже изготовленного прототипа устройства отклонения электронного луча, на основе которого была построена геометрия модели. Устройство представляет собой стальную четверть тороида с намотанной на нее медной проволокой, размеры устройства-прототипа: внутренний диаметр тороида – 40 мм, внешний радиус тороида – 57 мм, толщина стенок – 2 мм, количество витков проволоки – 850. Построенная модель предназначалась для просчета траектории узкофокусированного электронного луча, наведенного на отклоняющую катушку, испускаемого из электронной пушки с ускоряющим потенциалом в 10 кВ и определенным током, подаваемым на фокусирующую катушку. Расчет магнитного поля производился численными методами на основе теоремы о циркуляции магнитного поля. Расчет траекторий электронов пучка основывался на полученном распределении магнитного поля катушки (рис. 1 справа) на основе уравнения движения.

В это же время на отклоняющую катушку также подавался определенный ток. При прохождении через изогнутую катушку электронный поток, из-за влияния на него магнитного поля, отклонялся в определенном направлении и выходил из внутренней области катушки. Эксперимент состоял в варьировании токов подаваемых на фокусирующую и отклоняющую катушки с фиксированием угла выхода электронного луча по осям Ox и Oy и минимальных поперечных размеров получаемого пятна на расстоянии 20 см от отклоняющей катушки. Ток фокусирующей катушки варьировался от 0,3 А с шагом в 0,01 А. Ток отклоняющей катушки варьировался от 1 до 7 А.

Результаты

На рис. 2 представлена зависимость углов отклонения выходящего электронного луча по осям Ox и Oy при различных токах, подаваемого на отклоняющую катушку. Как видно, наблюдается два характера поведения кривой: при малых токах – немонотонное распределение и монотонное распределение при максимальных значениях. Причем стоит

отметить, что ток, подаваемый на фокусирующую катушку, не оказывал влияния на отклонение электронного луча. При значениях тока отклоняющей катушки менее 3 А отклонения не наблюдается вовсе, так как электронный луч полностью поглощался внутренними стенками стального тороида. Также можно выделить нахождение минимального отклонения по оси Ox в 17,26 градуса.

Наблюдаемое пятно на расстоянии в 20 см от отклоняющей катушки изменяло свои поперечные размеры в зависимости от тока, подаваемого на фокусирующую катушку, расположенную в электронной пушке. При увеличении тока, подаваемого на фокусирующую катушку, от начального значения размеры пятна сначала уменьшаются до некоторого минимального значения, после чего наблюдается увеличение его поперечных размеров. Вне зависимости от того какой ток подан на отклоняющую катушку минимальные поперечные размеры наблюдались при токе фокусирующей катушки в 0,34 А. Так, например, при 5 А размеры пятна составляли: по оси Ox – 8 мм, по оси Oy – 10 мм. Также стоит отметить, что размеры получаемого пятна не изменялись при варьировании тока отклоняющей катушки.

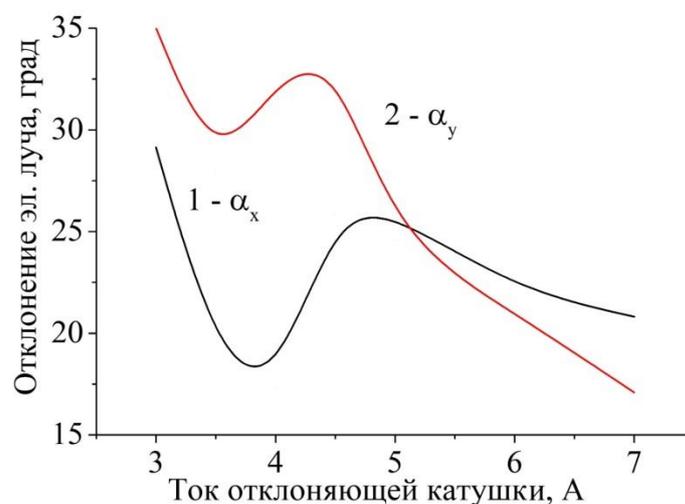


Рис. 2. Распределение углов отклонения для различных токов отклоняющей катушки: 1 – Ox ; 2 – Oy

Заключение

Продемонстрировано изменение угла отклонения и размеров поперечного сечения сфокусированного электронного пучка при изменении токов фокусирующей и отклоняющей катушек. При токе 0,34 А, подаваемом на фокусирующую катушку, независимо от тока отклоняющей катушки, наблюдается минимальный размер пятна электронного пучка на расстоянии 20 см от отклоняющей катушки. При токе 4 А, подаваемом на отклоняющую катушку, наблюдается наименьшее отклонение пучка в горизонтальной плоскости – 17,26 градуса.

Список литературы

1. Bakeev I.Y., Klimov A.S., Oks E.M., Zenin A.A. Generation of high-power-density electron beams by a forevacuum-pressure plasma-cathode electron source // Plasma Sources Science and Technology. – 2018. – Vol. 27, № 7. – P. 075002.
2. Burdovitsin V.A., Klimov A.S., Medovnik A.V., Oks E.M. Electron beam treatment of non-conducting materials by a fore-pump-pressure plasma-cathode electron beam source // Plasma Sources Science and Technology. – 2010. – Vol. 19, № 5. – P. 055003.

УДК 519.688

Интерпретация данных системы контроля и управления доступом

К.И. Киселев

Научный руководитель: старший преподаватель А.Д. Брагин
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: kik15@tpu.ru

Interpretation of physical access control system data

K.I. Kiselev

Scientific Supervisor: Senior lecturer A.D. Bragin
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: kik15@tpu.ru

Abstract. *In the present study, we address the challenge of interpreting data from the Physical Access Control System (PACS) of Tomsk Polytechnic University (TPU). Given the complexity of the data, which includes inconsistencies and missing information, the research devises a novel interpretation method aimed at identifying actual entries and exits.*

Key words: PACS, ETL, EDA

Введение

Согласно зарубежным экспертам, учебная аналитика становится одним из важнейших технологических трендов, обеспечивающих эффективное использование данных в образовательной среде [1]. Административные государственные организации осознают значимость обработки Big Data с целью принятия управленческих решений, основываясь на data-driven подходе.

Точность и актуальность Business Intelligence & Analytics зависят от качества используемых данных. Данная работа посвящена построению процесса извлечения, преобразования и загрузки (ETL) для задачи учета пребывания в учебных корпусах. Процесс обработки усложняется неоднородным содержанием и проблемами качества данных.

Материалы и методы исследования

Система контроля и управления доступом (СКУД, англ. PACS) Томского политехнического университета (ТПУ) фиксирует проходы в корпуса, осуществляемые по пропуску. В базе данных ТПУ информация хранится в таблице с основными полями: Личность, Дата и время, Направление, Корпус, Событие (таблица 1).

Данные содержат пропуски: направление неизвестно, событие неизвестно. Направление неизвестно наблюдается в учебных корпусах А, Б и К. Для каждого корпуса процент таких записей: А – 20 %, Б – 25 % и К – 1 %.

Встречаются подряд идущие записи проходов одного человека, разница времени между которыми составляет несколько секунд. Необходимо учитывать, что повторные считывания описывают один осуществлённый проход.

Прежде чем переходить к анализу, исходные данные следует интерпретировать. Необходимо понять фактические входы и выходы из корпуса. В качестве решения использовался следующий алгоритм:

- Чтение данных. Сортировка по полям Личность и Дата и время. Отбрасывание записей без направления.
- Рассмотрение проходов по одному корпусу.
- Поиск подряд идущих записей вход-выход. Отбрасывание пар с одинаковым временем.

Преимуществами метода интерпретации являются:

- низкое требование к исходным данным – задействованы поля Личность, Дата и время, Направление, Корпус;
- отсутствие необходимости в доверительном интервале разницы во времени, чтобы отбрасывать повторные считывания.

В качестве недостатков выступают:

- интерпретация данных за прошедшие дни. Метод не рассчитан на работу в режиме реального времени;
- отбрасывание непарных проходов, например, когда после входа в один корпус следует вход в другой корпус. Эти записи можно выделять среди остальных, отбрасываемых в процессе интерпретации.

Таблица 1

Исходные данные и их интерпретация для одного человека за 26 апреля 2023 года

Личность	Дата и время	Направление	Корпус	Событие	Интерпретация
91	2023-04-26 12:38:22	вход	Учебный корпус Д	Зарегистрирован проход	—
91	2023-04-26 14:18:48	—	Учебный корпус Б	—	—
91	2023-04-26 14:18:52	вход	Учебный корпус Б	В доступе отказано	—
91	2023-04-26 14:18:54	вход	Учебный корпус Б	В доступе отказано	—
91	2023-04-26 14:18:58	вход	Учебный корпус Б	Зарегистрирован проход	—
91	2023-04-26 14:19:56	вход	Учебный корпус Б	Проход не начат	<i>вход</i>
91	2023-04-26 16:10:22	выход	Учебный корпус Б	Зарегистрирован проход	<i>выход</i>

Результаты

Интерпретация данных за 2023 год использует 90 % всех записей и отбрасывает 10 %. Точность определения фактических проходов на используемых записях составляет 99 %. Ошибки в интерпретации возникают в случаях:

- когда человек отметил, что выходит, но вернулся в корпус;
 - когда датчики считывания находятся не только на входе в корпус, но возле кабинетов.
- Для некоторых учебных корпусов метод интерпретации не работает:

- когда для записей характерны одновременные входы и выходы. Например, вход в 12:40:15 и выход в 12:40:15;
- когда среди отбрасываемых в процессе интерпретации записей наблюдается большой процент непарных проходов (таблица 2).

В указанных корпусах вместо турникетов, для которых обязательно подтверждать проход по пропуску, установлены терминалы, позволяющие проходить не отмечаясь.

Учебные корпуса, для которых не работает метод интерпретации данных

Корпус	Количество записей	Отброшенные записи, %	Установленные посещения	Непарные проходы, %	Непарных проходов из отброшенных записей, %
Учебный корпус Ж	1 014 040	99.75	1 288	93.98	1.99
Учебный корпус Е	75 164	97.26	1 028	48.24	1.31
Учебный корпус И	22 808	96.87	357	66.57	3.22
Учебный корпус В	49 787	24.72	18 739	38.34	94.66
Учебный корпус Д	78 917	18.76	32 056	31.21	98.20
Учебный корпус З	107 734	17.09	44 661	25.81	84.38
Учебный корпус К	907 262	11.79	400 137	19.54	90.81
Учебный корпус Г	36 305	10.83	16 178	18.91	96.06

Заключение

Результатом работы является ELT процесс по интерпретации данных, полученных с помощью СКУД. Разработанный метод применяется в Центре управления данными ТПУ для задач, задействующих данные посещаемости корпусов.

Были проработаны вопросы, связанные с проблемами качества исходных данных. Результатом является снижение количества повторных считываний с февраля 2024 года. Также обсуждается вопрос актуализации хранимых данных, например, добавление информации о датчике считывания, с помощью которого регистрируются проходы [2].

Список литературы

1. Прохорова М.П., Лебедева Т.Е., Лабазова А.В., Белоусова К.В. Тенденции и перспективы развития он-лайн образования. – Текст: электронный // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. – 2019. – № 1 (35). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tendentsii-i-perspektivy-razvitiya-on-layn-obrazovaniya> (дата обращения: 15.03.2024).
2. Козлов А.Е. Система контроля и управления доступом на предприятие: понятие, характеристика и основные требования. – Текст: электронный // Вестник ВГТУ. – 2019. – № 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-kontrolya-i-upravleniya-dostupom-na-predpriyatie-ponyatie-harakteristika-i-osnovnye-trebovaniya> (дата обращения: 15.03.2024).

Анализ временных откликов поглощающего полосно-заграждающего фильтра на воздействие преднамеренных электромагнитных помех

А.А. Киселева

Научный руководитель: к.т.н, Е.С. Жечев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: anastasiyak2301@mail.ru

Time responses analysis of the reflectionless bandstop filter on intentional electromagnetic interferences

A.A. Kiseleva

Scientific Supervisor: PhD, Y.S. Zhechev

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenina str., 40, 634050

E-mail: anastasiyak2301@mail.ru

***Abstract.** Time response analysis of the reflectionless bandstop filter on intentional electromagnetic interferences is presented. Simulation was carried out in the time domain using broadband and narrowband pulses. Time responses to a Gaussian pulse and a damped sinusoidal pulse were evaluated, and N -norms were evaluated. It was found that the use of bandstop filters attenuates various interfering signals.*

***Key words:** electromagnetic compatibility, time domain analysis, bandstop filter, N -norms.*

Введение

В радиочастотных системах СВЧ-связи использование фильтрующих элементов может повысить чувствительность операционных систем. Для подавления широкополосных шумов и других паразитных сигналов в современных системах беспроводной связи большое значение имеют фильтры с высокой избирательностью и подавлением полосы заграждения (ПЗ) [1]. По сравнению с полосовым фильтром [2], полосно-заграждающий фильтр (ПЗФ) может обеспечить наилучшее отражение в ПЗ при наличии сильных помех благодаря низким требованиям к частотной избирательности. Таким образом, нежелательный сигнал отражается обратно на входной порт и затем отклоняется. Кроме того, поглощающий ПЗФ может быть подключен к смесителю для поглощения утечки от генератора в гетеродинном приемнике [3]. Для достижения фазовой коррекции поглощающий ПЗФ реализуется с помощью мостового-Т подхода [4]. Используя модифицированную связанную линию с заземляющим резистором, поглощающий ПЗФ может реализовать отрицательную групповую задержку [5]. Кроме того, для достижения более компактных размеров схемы поглощающий полосовой фильтр с единичными элементами на многослойной структуре представлен в [6].

Большинство исследователей приводят только частотные характеристики и не учитывают поведение сигнала в реальном масштабе времени. Между тем, такая оценка очень важна, поскольку она позволит определить формы напряжения сигналов на выходе фильтров и оценить их опасность, например, с точки зрения N -норм. Цель работы – представить результаты анализа поглощающего ПЗФ при воздействии помеховых импульсов.

Экспериментальная часть

Для анализа выбрана структура широкополосного поглощающего ПЗФ [7]. Выбранный ПЗФ реализован на микрополосковой линии передачи. Схема трассировки показана на рис. 1.

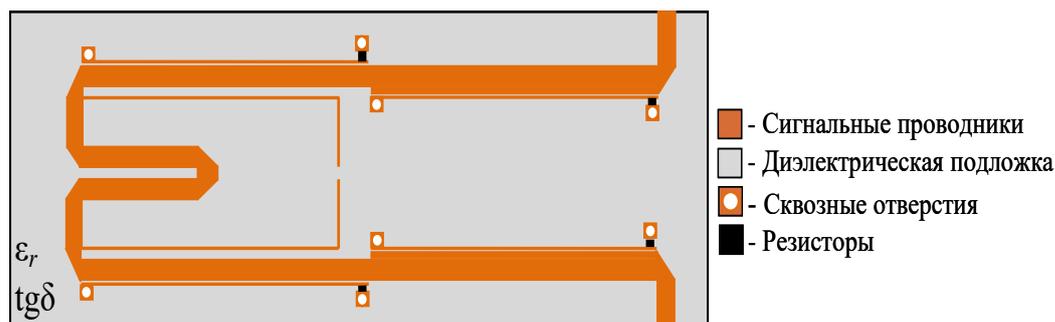


Рис. 1. Схема трассировки исследуемого ПЗФ

Фильтр выполнен на подложке Rogers RO4003С с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r = 3,55$, тангенсом угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta = 0,0027$ и толщиной $h = 0,813$ мм. Толщина проводников составила $t = 0,035$ мм. Номиналы резисторов составили 150 и 200 Ом. Общий размер ПЗФ составил $12,2 \times 34$ мм.

Результаты моделирования

Для исследования характеристик структуры использован электродинамический подход, с помощью которого получены S -параметры, которые использовались для дальнейшего анализа временных откликов на помеховые воздействия. Анализ во временной области проводился с помощью двух сигналов. Первый – Гауссов импульс с шириной спектра от 0,1 до 6 ГГц, в соответствии с определением сверхширокополосной помехи [8]. Второй сигнал – затухающая синусоида для оценки реализации структуры для защиты от УП помех. Временные отклики на Гауссов импульс и на затухающую синусоиду представлены на рис. 2 и рис. 3, соответственно.

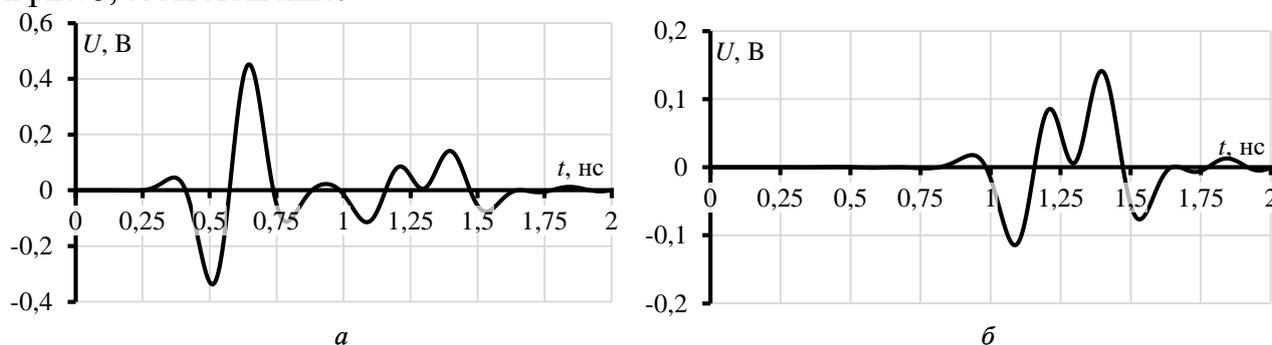


Рис. 2. Временные отклики на Гауссов импульс, полученные на входе (а) и выходе (б) фильтра

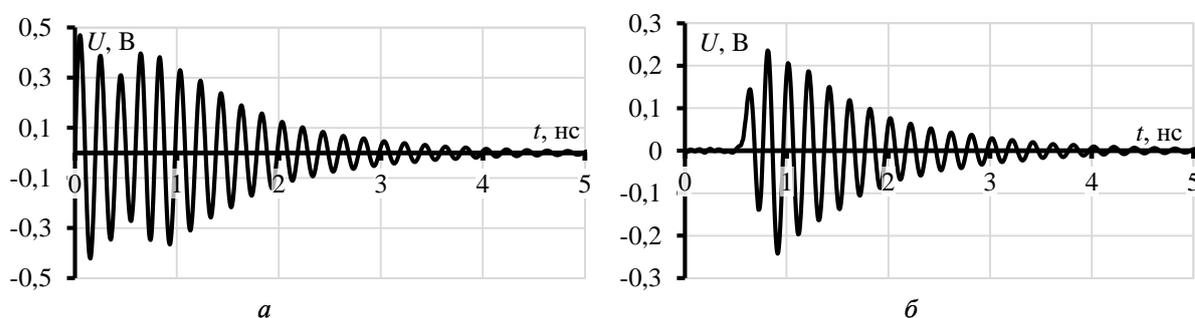


Рис. 3. Временные отклики на затухающую синусоиду, полученные на входе (а) и выходе (б) фильтра

Из рис. 2 видно, что широкополосная помеха раскладывается на два импульса меньшей амплитуды с ослаблением в 3,2 раза. Из рис. 3 видно, что форма узкополосной помехи практически не искажается, а ее пиковое напряжение уменьшается в 1,95 раз. В табл. 1

представлены вычисленные значения N -норм, которые позволяют выполнить оценку уменьшения опасности помеховых воздействий [8].

Таблица 1

Значения N -норм на входе и выходе фильтра, полученные для двух помеховых воздействий

Вид помехи	Фильтр	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5
Гауссов импульс	Вход	0,45	$9,27 \cdot 10^9$	$1,2 \cdot 10^{-11}$	$1,43 \cdot 10^{-10}$	$5,33 \cdot 10^{-6}$
	Выход	0,14	$2,61 \cdot 10^9$	$4,54 \cdot 10^{-12}$	$5,18 \cdot 10^{-11}$	$1,86 \cdot 10^{-6}$
Затухающая синусоида	Вход	0,47	$1,54 \cdot 10^{10}$	$2,55 \cdot 10^{-11}$	$4,62 \cdot 10^{-10}$	$1,01 \cdot 10^{-5}$
	Выход	0,24	$7,82 \cdot 10^9$	$9,74 \cdot 10^{-12}$	$1,97 \cdot 10^{-10}$	$4,57 \cdot 10^{-6}$

Полученные результаты показывают, что значения всех N -норм на выходе фильтра уменьшаются относительно значений на входе. Значительное ослабление наблюдается для N_2 .

Заключение

В данной работе выполнена оценка временных откликов поглощающего ПЗФ на воздействие преднамеренных электромагнитных помех. Получены временные отклики для двух помеховых воздействий и вычислены N -нормы. Показано что, Гауссов импульс ослабился в 3,2 раза, а затухающая синусоида – в 1,95 раз.

Исследование выполнено за счет проекта FEWM-2024-0005 Минобрнауки России.

Список литературы

1. Pozar D. M. Microwave engineering – Hoboken: Wiley, 2012. – 752 p.
2. Hong J. S. G., Lancaster M. J. Microstrip filters for RF. Microwave applications – Hoboken: Wiley-Interscience, 2004. – 488 p.
3. Wu Y., Cui L., Zhuang Z., Wang W., Liu Y. A simple planar dualband bandpass filter with multiple transmission poles and zeros// IEEE Transactions on Circuits and Systems II, Express Briefs. – 2018. – Vol. 65, № 1. – P. 56–60.
4. Боков Г. Электромагнитные помехи импульсных преобразователей // Электронные компоненты. – 2018. – № 5. – С. 142–149.
5. Qiu L.F., Wu L.S., Yin W.Y., Mao J.F., Absorptive bandstop filter with prescribed negative group delay and bandwidth// IEEE Microwave and Wireless Components Letters. – 2017. – Vol. 27, № 7. – P. 639–641.
6. Guyette A.C., Hunter I.C., Pollard R.D., Jachowski D.R. Perfectly-matched bandstop filters using lossy resonators// IEEE MTT – S International Microwave Symposium Digest. – Long Beach: IEEE, 2005. – P. 517–520.
7. Yang C.H., Wu C.H., Tang C.W. Design of a wideband microstrip bidirectional absorptive bandstop filter // IEEE Asia-Pacific Microwave Conference (APMC). – Singapore: IEEE, 2019. – P. 956–958.
8. Electromagnetic compatibility (EMC) – Parts 1–5: General–High Power Electromagnetic (HPEM) Effects on Civil Systems// IEC Standard. – 2004. – С. 61000–1–5.
9. Baum C.E. Norms and eigenvector norms// Mathematics Notes. – 1979. – № 63. – P. 1–42.

УДК 538.956

**Исследование диэлектрических свойств слоистых покрытий
на основе диоксида циркония и никеля**

Т.О. Климкин, А.К. Нестеренко, С.А. Сальников

Научный руководитель: с.н.с., к.т.н., А.В. Тюнков

Томский государственный университет систем электроники и радиотехники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: klimkin.timur13@mail.ru

**Investigation of dielectric properties of layered coatings based
on zirconium dioxide and nickel**

T.O. Klimkin, A.K. Nesterenko, S.A. Salnikov

Scientific Supervisor: Senior researcher, Ph.D. A.V. Tyunkov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenin str., 40, 634050

E-mail: klimkin.timur13@mail.ru

Abstract. *The purpose of this work is a comprehensive study of the dielectric constant, loss angle tangent, active and total resistance of multilayer coatings. The work is aimed at determining the electrical characteristics of these materials to assess their suitability in various fields of electronics and electrical engineering, including improving the performance and reliability of electronic devices. The main task is to identify the dependencies between the structure of multilayer coatings and their electrical properties, which will allow us to develop recommendations for the use of new high-performance materials with specified parameters.*

Key words: *Layered coatings, dielectric constant, loss angle tangent.*

Введение

Развитие современных технологий требует непрерывного совершенствования материалов, применяемых в сферах электроники и электротехники, среди которых можно выделить многослойные покрытия. Эти уникальные композиции позволяют интегрировать свойства различных материалов в единую структуру, предоставляя преимущества перед однородными покрытиями. Многослойность и способность к комбинированию материалов придают этим покрытиям особые характеристики, такие как термическая устойчивость, повышенная защита, адгезия и др. [1]. Для диэлектрических слоев важными параметрами являются диэлектрическая проницаемость, указывающая на способность материала поляризоваться в электрическом поле и тангенс угла потерь, отражающий долю потерь энергии в виде тепла. Изучение многослойных покрытий способствует разработке новых и улучшению уже существующих материалов, что влияет на эффективность и долговечность электронных приборов.

Экспериментальная часть

Нанесение покрытий проводилось с применением форвакуумного электронного источника с плазменным катодом. Схема электронного источника и принцип работы детально представлены в [2]. В начале процесса, для предотвращения взрывного растрескивания, керамическая мишень подвергалась предварительному нагреву с помощью электронного луча низкой мощности (150 Вт). Последующее увеличение мощности электронного луча достигалось за счет постепенного повышения ускоряющего напряжения (с 3 до 13 кВ) и тока пучка (с 50 до 80 мА), что было необходимо для интенсивного испарения материала мишени. Испаренные пары материала мишени осаждались на подложках, формируя таким образом слой покрытия. Спустя определенный временной промежуток, луч переключался на фрагмент

мишени из никеля, а затем снова возвращался к керамической мишени, создавая таким образом последний, третий слой покрытия. С помощью длительности испарения мишени регулировалась толщина слоев. В качестве материала для керамической мишени использовалась циркониевая керамика, частично стабилизированная оксидом иттрия.

В качестве подложек (образцов) использовались пластины нержавеющей стали размерами $23 \times 23 \text{ см}^2$ и толщиной 2 мм. Пара образцов закреплялась на вращающемся держателе как показано на рисунке 1.

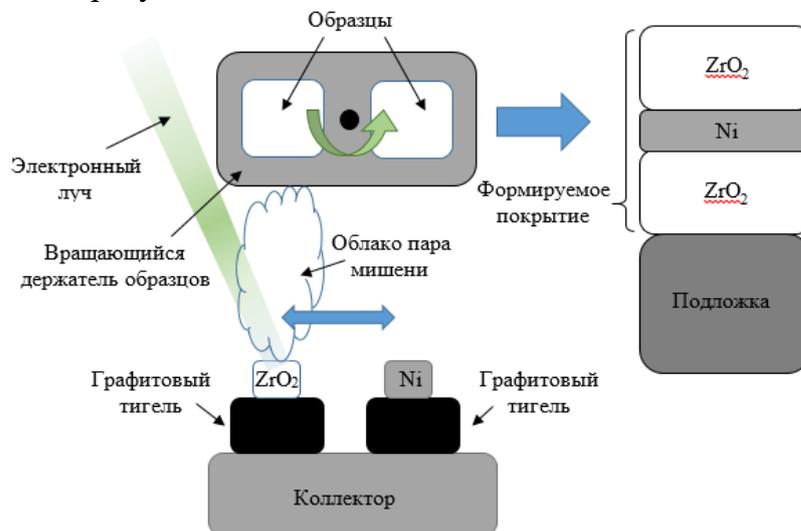


Рис.1. Схема эксперимента

Перед исследованиями диэлектрических свойств один образец из каждой пары подвергался отжигу в муфельной печи в течении 1 часа при температуре $800 \text{ }^\circ\text{C}$. Далее на заключительный слой покрытия каждого образца осаждался слой меди толщиной 3 мкм и диаметром 1 см для создания конденсаторной структуры. Исследование диэлектрических параметров покрытий проводились с использованием измерителя имиттанса в диапазоне частот 50 Гц – 100 кГц.

Параметры образцов с покрытиями, полученные экспериментальным путем занесены в таблицу 1. Зависимости диэлектрических свойств слоистых покрытий от различных параметров представлены на рисунке 2.

Таблица 1

Параметры проведения экспериментов

№	Слой 1	Слой 2	Слой 3	Время осаждения слоя (1/2/3) мин.	Суммарная толщина
1	ZrO ₂	Ni	ZrO ₂	15 / 1 / 15	120 мкм
2	ZrO ₂	Ni	ZrO ₂	7 / 1 / 7	50 мкм
3	ZrO ₂	-	-	14 / - / -	50 мкм

Результаты

На рисунке 2 представлены результаты измерения диэлектрической проницаемости и тангенса угла потерь полученных покрытий. Как видно из рисунка, наличие слоя никеля толщиной 500 нм практически не влияет на диэлектрическую проницаемость, значение которой составляет 16–17 для покрытий суммарной толщиной 50 мкм. Однако, наличие слоя никеля обеспечивает лучшие значения тангенса угла потерь во всем диапазоне частот (до 0,08). Данный эффект связан со структурными изменениями в покрытии, вызванные наличием слоя никеля. При этом можно сделать вывод, что миграционные потери в данном случае не возникают. Увеличение суммарной толщины покрытия с 50 до 120 мкм, а также дополнительный отжиг покрытий приводит к уменьшению значения диэлектрической проницаемости на низких частотах (до 20 кГц). При увеличении частоты свыше 20 кГц

разница в значении диэлектрической проницаемости покрытий образцов пренебрежимо мала (1–2). Увеличение толщины керамических слоев покрытия также способствует уменьшению тангенса угла диэлектрических потерь (с 0,12 до 0,03), а дополнительный отжиг, наоборот, его увеличению (с 0,03 до 0,14), причем во всем частотном диапазоне. Отжиг в атмосфере воздуха приводит к наличию в пленке избыточного кислорода, что способствует формированию большого количества кислородных вакансий, а, следовательно, обеспечивается ионная проводимость в оксиде циркония, что в дальнейшем ведет к увеличению потерь в диэлектрике.

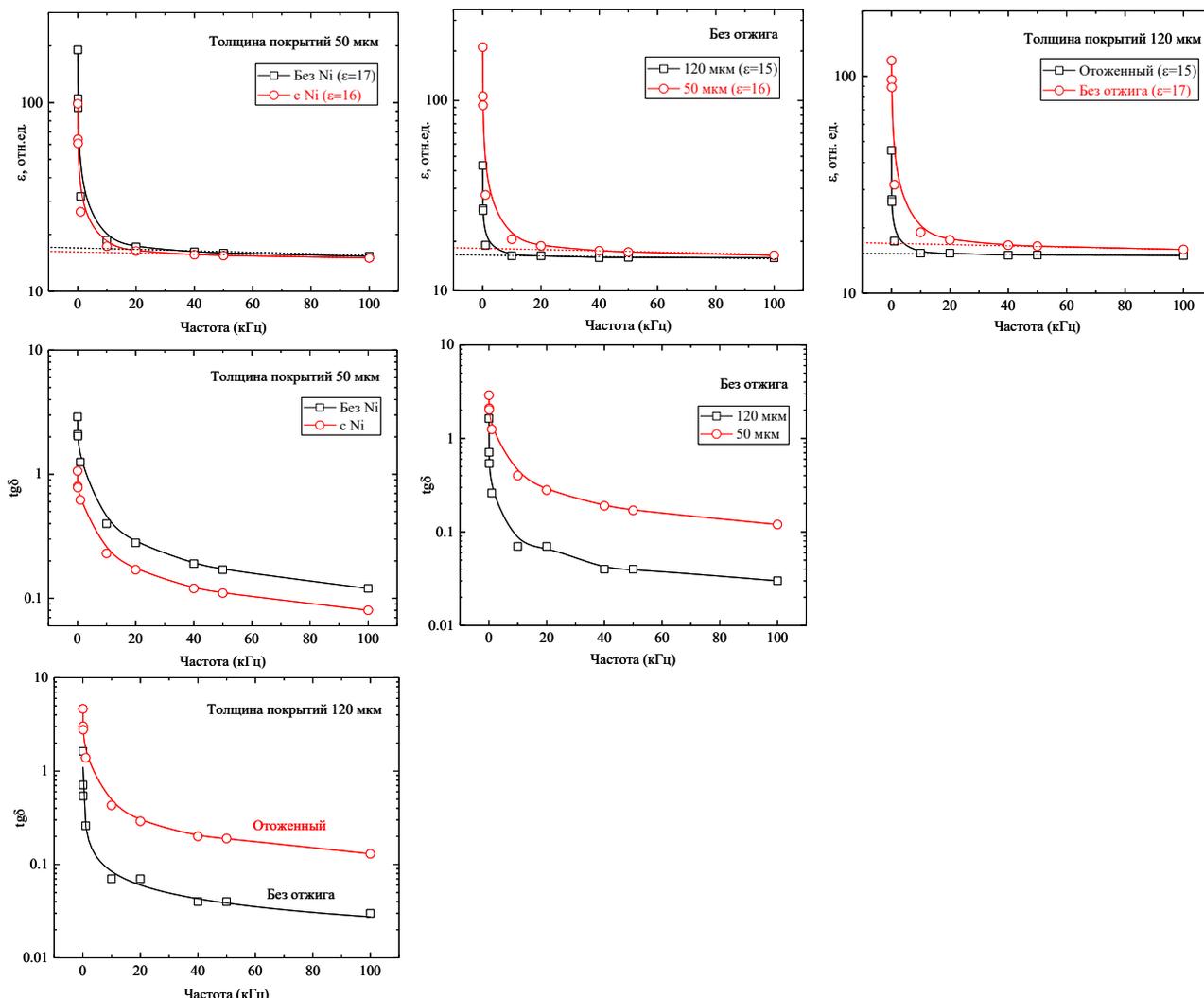


Рис. 2. Зависимость диэлектрической проницаемости (верхний ряд) и тангенса угла потерь (нижний ряд) от частоты для покрытий, осажденных при различных условиях эксперимента

Заключение

Исходя из проведенного исследования диэлектрических свойств многослойных покрытий, было выявлено влияние различных факторов на электрические характеристики материалов. Увеличение толщины покрытия приводит к незначительному снижению диэлектрической проницаемости, что указывает на возможность контроля этого параметра путем подбора оптимальной толщины слоев. Процесс отжига, несмотря на его положительное воздействие на некоторые свойства материалов, в данном случае увеличивает тангенс угла потерь, что может сказаться на эффективности использования покрытий в некоторых приложениях. Наличие никелевой пленки оказывает положительное влияние на тангенс угла потерь, что делает ее перспективной для создания многослойных покрытий с заданными

свойствами. В целом, результаты исследования подчеркивают важность комплексного подхода к анализу электрических характеристик многослойных покрытий.

Работа поддержана грантом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках конкурса FEWM-2024-0006.

Список литературы

1. Лобанов М.Л., Кардонина Н.И., Россина Н.Г., Юровских А.С. Защитные покрытия. – Екатеринбург: Урал. ун-та, 2014. – 200 с.
2. Burdovitsin V.A., Oks E.M. Fore-vacuum plasma-cathode electron sources // Laser and Particle Beams. – 2008. – Vol. 26, № 4. – P. 619–635.

УДК 004.5

**Сбор данных электроэнцефалограмм для изучения
методов биологической обратной связи**

И.В. Ковалев

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Е.Ю. Костюченко
Томский государственный университет систем управления и радиотехники,
Россия, г. Томск, ул. пр. Ленина, 40 634050
E-mail: kvi@fb.tusur.ru

Collecting electroencephalogram data to study biofeedback methods

I.V. Kovalev

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Ph.D. E.Yu. Kostyuchenko
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenin str., 40, 634050
E-mail: kvi@fb.tusur.ru

Abstract. *When processing information, our brain produces electromagnetic signals. These signals can be read with electroencephalograph. Moreover, depending on the information processed by the brain, it is possible to count activities in different specific frequency ranges, the so-called “brain rhythms”. Thus, receive feedback on the quality of processing. Researchers use this specificity in medicine to create various therapies.*

However, most studies only look at data collected as patients perform tasks, although things like response to performance can also provide useful information about the quality of therapy.

This paper describes the process of collecting and the resulting dataset of EEG data on student reactions for future training of a neural network for biofeedback. We plan to use the findings in a study of response to outcome.

Key words: *neurofeedback, electroencephalogram, selection of features, dataset.*

Введение

Нейробиоуправление — это область исследований, основная идея которой заключается в том, чтобы использовать электрическую активность мозга для управления внешними объектами или получения информации из мозга. При этом система, анализируя сигналы мозга различных частот, может давать обратную связь ученику или пациенту, что позволяет ему контролировать свои физиологические процессы. Например, уменьшение бета-волн свидетельствует системе, что концентрация человека была нарушена, о чем она может сообщить человеку [1]. Исследования показывают, что человек способен управлять своим вниманием при выполнении задачи, если получает обратную связь [2]. Однако большинство просмотренных исследований не рассматривает потенциальную информацию, которую можно получить из реакции студентов или пациентов для будущего обучения нейронной сети биологической обратной связи.

Для обучения нейронной сети или другого классификатора обнаружению событий синхронизации\десинхронизации необходим датасет. В результате поиска среди существующих наборов данных в открытом доступе не было найдено подходящего, ввиду специфики задачи [3, 4]. Однако на основе сведений о создании таких наборов данных была разработана собственная программа для сбора ЭЭГ-данных с последующим осуществлением сбора для проведения предварительных экспериментов.

Экспериментальная часть

Для проведения экспериментов мы используем 2 программы: Neuroplaypro и Neurotest. Neuroplaypro – это бесплатное программное обеспечение, позволяющее опрашивать устройства-

электроэнцефалографы, записывать и просматривать полученные данные. Neurotest – это разработанная нами программа, генерирующая задания для студентов-испытуемых.

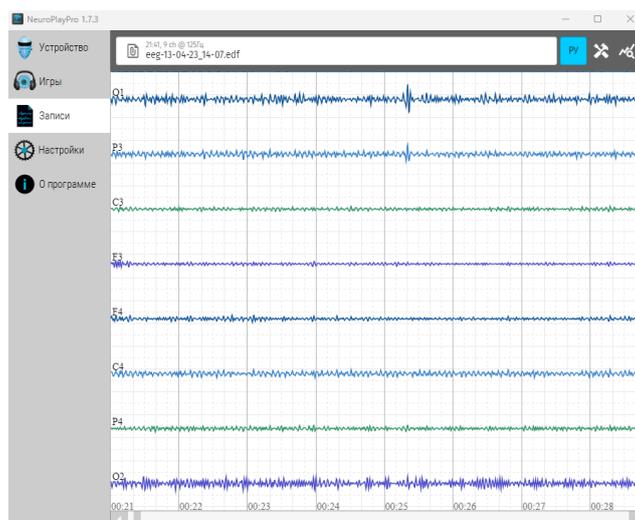


Рис. 1. Программа для съема данных NeuroPlayPro

Съём данных происходил по следующему алгоритму:

- Запускаются 2 программы, в neurotest выбирается вариант задания.
- На голову студента одевается устройство-электроэнцефалограф. В качестве устройства используется NeuroPlay-8С. Это восьмиканальный мобильный беспроводной биоусилитель для съема ЭЭГ с сухими электродами, прикрепляемый к ЭЭГ-шлему.
- Студент должен решить задание без использования калькулятора и ввести ответ в специальное поле в neurotest.
- Предыдущие пункты повторяются для каждого студента по 10 раз.

В процессе выполнения задания система ставит метки, которые помогут отделить реакцию при будущей предобработке данных.

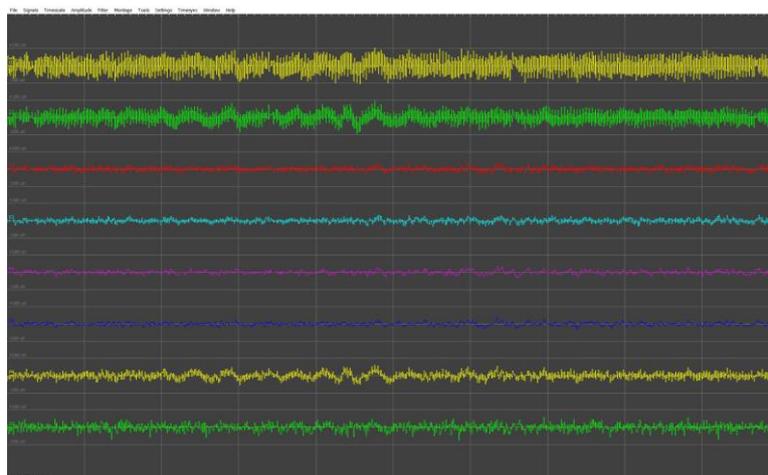


Рис. 2. Отфильтрованные данные (программа для просмотра ЭЭГ-данных EDFbrowser)

Результаты

Были собраны данные ЭЭГ 6-и студентов. Всего собранных данных – 140 записей выполнения заданий, записанных по 8 каналам электродов ЭЭГ-шлема. 70 записей, где студентам выводились ответы и 70, где ответы не выводились, а также применялись ложные правильные ответы. Частота дискретизации записей равна – 125. Каждая запись длится в

среднем около 4–9 минут, из которых запись реакции студента на ответ длится примерно 1–4 секунды.

Некоторые записи оказались испорчены. Выбранный временной отрезок равен 1 секунде. В итоге получается тензор данных размерностью [118, 8, 125]. Всего полученных правильных ответов для обучения – 44, неверных ответов для обучения – 41, правильных ответов для верификации – 16, неверных ответов для верификации – 17.

Event	Time (HH:MM:SS.SSS)
start task	0:00:00.008
answer	0:05:19.736
end task	0:05:26.696
start task	0:05:26.696
answer	0:09:56.552
end task	0:10:11.504
start task	0:10:11.504
answer	0:14:41.912
end task	0:14:43.136
start task	0:14:43.136
answer	0:19:23
end task	0:19:29.792

Рис. 3. Метки времени для предобработки (программа для просмотра ЭЭГ-данных EDFbrowser)

На итоговый тензор было наложено два фильтра, чтобы отделить нужные для работы диапазоны. Были наложены следующие фильтры: высокочастотный – 4Гц и низкочастотный – 30 Гц. Такой диапазон был выбран, чтобы захватить Тета, Альфа и Бета ритмы.

Заключение

Полученные данные будут предобработаны и использованы для обучения нейронной сети для нахождения событий вызванной синхронизации\десинхронизации на графике данных при реакции студента на результат ответа. Однако самих собранных данных, по предварительным тестам, недостаточно для обучения сети, так как, сеть будет переобучаться. Поэтому для увеличения датасета планируется применить аугментацию.

Список литературы

1. Klimesch W. Memory processes, brain oscillations and EEG synchronization // International Journal of Psychophysiology. – 1996. – Vol. 24, № 1–2. – P. 61–100. – doi.org/10.1016/s0167-8760(96) 00057-8
2. Cai, S., Liu, Z., Liu, C. и др., Effects of a BCI-Based AR Inquiring Tool on Primary Students' Science Learning: A Quasi-Experimental Field Study // SciEducTechnol. – 2022. – Vol. 31. – P. 767–782. doi.org/10.1007/s10956-022-09991-y
3. EEG Signals from an RSVP Task // PhysioNet: сайт. – 2017. – URL: www.physionet.org/content/ltrsvp/1.0.0/ (дата обращения: 13.03.2024)
4. Romanovskaya Y., Pyushin E. Sound augmentation methods // International Journal of Open Information Technologies – 2023. – Vol. 11, № 3. – P. 12–17.

**Анализ и моделирование эксплуатации уязвимости
«Apache Spark Unauthenticated Command Injection RCE»**

А.С. Коваленко, В.С. Репкин, Н.И. Сермавкин

Научный руководитель: доцент, к.т.н., А.А. Конев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: a.s.kovalenko@mail.ru

**Analysis and simulation of exploitation of the vulnerability
"Apache Spark Unauthenticated Command Injection RCE"**

A.S. Kovalenko, V.S. Repkin, N.I. Sermavkin

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Ph.D. A.A. Konev

Tomsk State University of Control system and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenin str., 40, 634050

E-mail: a.s.kovalenko@mail.ru

Abstract. *This article provides a comprehensive analysis of the vulnerability known as "Apache Spark Unauthorized Command Injection RCE". This vulnerability allows attackers to inject shell commands through the Apache Spark framework without the need for authentication. The article provides a detailed analysis of this vulnerability, including the identification of potential threats and risks associated with its exploitation. Additionally, the article discusses protection methods and offers recommendations for increasing the security of systems using this vulnerable framework. The purpose of these measures is to prevent possible attacks and ensure reliable operation of information systems. The study includes a practical attack scenario, demonstrating the ways in which attackers can infiltrate the system through this vulnerability. It is important to note that the vulnerability exploitation process was formally described using the Meta-Attack Language (MAL) modeling methodology.*

Key words: *information security, vulnerability analysis, Apache Spark, RCE, MAL.*

Введение

Исследование уязвимости «Apache Spark Unauthenticated Command Injection RCE» под идентификатором CVE-2022-33891 является актуальным в современном мире, где цифровые технологии проникают во все сферы деятельности. Понимание и моделирование эксплуатации таких уязвимостей не только помогает в их предотвращении, но и повышает общую осведомленность о необходимости безопасности данных и систем. Таким образом, данное исследование имеет важное практическое значение в сфере информационной безопасности в современном мире. Уязвимость имеет оценку 8.8 по стандартизированному методу оценки уязвимостей CVSS3 (Common Vulnerability Scoring System), что указывает на значительное воздействие на безопасность системы. Уязвимость затрагивает версии фреймворка 3.0.3 и более ранних версий, а также версий 3.1.1-3.1.2 и версий 3.2.0-3.2.1. Злоумышленник, воспользовавшись этой уязвимостью, сможет послать любую вредоносную нагрузку и установить вредоносную сессию с жертвой [1].

Экспериментальная часть

Перед началом процесса настройки и эксплуатации была организована виртуальная инфраструктура, состоящая из двух узлов: машина злоумышленника и сервер с уязвимой версией Apache Spark. Уязвимый сервер Apache Spark был развёрнут из docker-контейнера.

Конфигурация машины злоумышленника: операционная система: Kali GNU/ Linux 6.1.0. Конфигурация сетевого интерфейса: inet 10.0.2.19, netmask 255.255.255.0, broadcast 10.0.2.255. Инструменты эксплуатации: msfconsole 6.3.25.

Машина жертвы (хост с уязвимым сервером): операционная система: Ubuntu 20.04.6 LTS. Конфигурация сетевого интерфейса: inet 10.0.2.4, netmask 255.255.255.0, broadcast 10.0.2.255. Уязвимое ПО: Apache Spark версии 3.1.1.

Для успешного прохождения эксплуатации уязвимости необходимо следующее: злоумышленник просканировал сеть заранее и уже знает IP-адрес и порт уязвимого сервиса на удалённом узле. Файл конфигурации spark-defaults.conf содержит в себе параметр «spark.acls.enable» со значением true [2].

Была проведена ручная эксплуатация уязвимости. Используя инструментарий злоумышленника, была сгенерирована полезная нагрузка. Также используя утилиту netcat, включен прослушиватель порта 4444, который будет ловить любое входящее подключение. После выполнения команды-запроса к серверу с параметром «doAs» – прослушиватель поймал подключение и установил TCP-сессию с жертвой (рис. 1).

```
(root@kali)-[~]
└─# echo 'sh -i >& /dev/tcp/10.0.2.19/4444 0>&1' | base64
c2ggLWkgPiYgL2Rldi90Y3AvMTAuMC4yLjE5LzQ0NDQgMD4mMQo=

(root@kali)-[~]
└─# curl -d 'doAs=`echo c2ggLWkgPiYgL2Rldi90Y3AvMTAuMC4yLjE5LzQ0NDQgMD4mMQo= | base64 -d | bash`' -X POST http://10.0.2.4:8080/data

(root@kali)-[~]
└─# nc -nvlp 4444
listening on [any] 4444 ...
connect to [10.0.2.19] from (UNKNOWN) [10.0.2.4] 59874
sh: 0: can't access tty; job control turned off
$ whoami
spark
$
```

Рис. 1. Ручная эксплуатация уязвимости «Apache Spark Unauthenticated Command Injection RCE»

Результаты

Используя вышеописанные инструкции, сгенерировав аналогичную, либо иные полезные нагрузки, можно исследовать различные варианты атак и их воздействие на целевую систему. Это может быть, как обычная shell-сессия, так и более опасное meterpreter-соединение.

В результате эксплуатации уязвимости открывается сокет, позволяющий злоумышленнику выполнять удалённый код на уязвимой машине (рис. 2).

```
root@nsi:~# nsenter --target $(docker inspect --format {{.State.Pid}} a5d780c84834) --net netstat
Active Internet connections (w/o servers)
Proto Recv-Q Send-Q Local Address           Foreign Address         State
tcp        0      0 172.18.0.2:35990       10.0.2.19:4444         ESTABLISHED
tcp        0      1 172.18.0.2:58376       10.0.2.11:4444         SYN_SENT
```

Рис. 2. Стабильный сокет с машиной злоумышленника на уязвимом хосте

Были представлены меры по защите от эксплуатации уязвимости «Apache Spark Unauthenticated Command Injection RCE»: обновление Apache Spark: уязвимость затрагивает версии фреймворка 3.0.3 и более ранних версий, а также версий 3.1.1-3.1.2 и версий 3.2.0-3.2.1. Необходимо проверить версию фреймворка и установить последнюю версию приложения. Необходимо регулярно обновлять фреймворк, чтобы иметь доступ к последним патчам и

улучшениям безопасности. Настройка безопасности Spark: внимательно настроить параметры безопасности в файле конфигурации Spark. Убедиться, что параметр «spark.acls.enable» установлен в false, чтобы отключить функциональность, вызывающую уязвимость. Это может быть сделано в файле spark-defaults.conf.

Было разработано формальное описание процесса эксплуатации уязвимости «Apache Spark Unauthenticated Command Injection RCE» с использованием методологии моделирования Meta Attack Language (MAL).

MAL (Meta Attack Language) представляет собой структуру языка моделирования угроз, которая интегрирует графы вероятностных атак и защиты с объектно-ориентированным моделированием. Кроме того, MAL предоставляет формальный подход, который позволяет полуавтоматически создавать и эффективно рассчитывать графы атак. (рис. 3) [3, 4].

Описание охватывает действия злоумышленника и представляет техники защиты для предотвращения каждого шага его атаки.

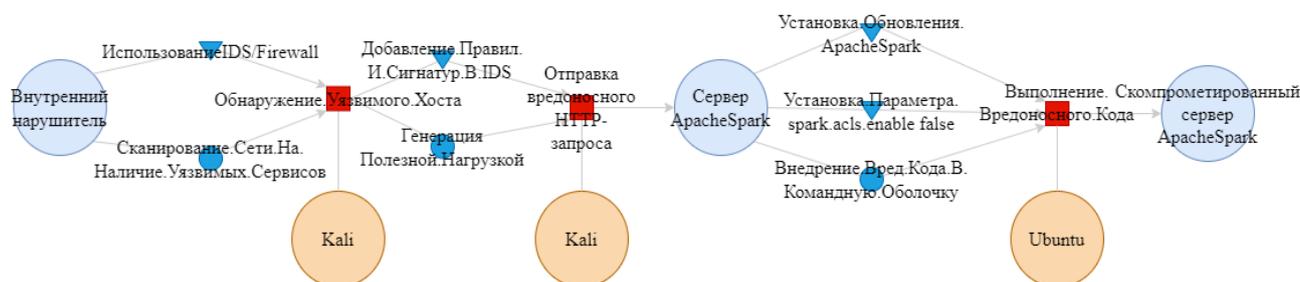


Рис. 3. Формальное представление процесса эксплуатации уязвимости с использованием средств методологии моделирования Meta Attack Language (MAL)

Заключение

В рамках исследования была рассмотрена критическая уязвимость, известная как «Apache Spark Unauthenticated Command Injection RCE». Эта уязвимость остается актуальной и представляет серьезную угрозу для многих проектов, использующих Apache Spark в качестве фреймворка.

В исследовании был проведен подробный анализ этой уязвимости. Важно отметить, что актуальность данной уязвимости подчеркивается тем, что множество систем до сих пор подвержены ей, если не будут приняты соответствующие меры для её устранения. Также был представлен практический сценарий эксплуатации уязвимости с использованием как с помощью предустановленных средств командой оболочки Kali Linux.

Также было разработано и представлено формализованное описание процесса эксплуатации уязвимости с использованием методологии графического моделирования Meta-Attack Language (MAL). В данном описании представлены шаги злоумышленника в процессе эксплуатации, а также приведены контрмеры, которые могут быть приняты для противодействия злоумышленнику.

Список литературы

1. Reporting security issues Apache Spark // Apache Spark: сайт. – 2018. – URL: <https://spark.apache.org/security.html> (дата обращения: 03.02.2024).
2. CVE-2022-33891 // AttackerKB: сайт. – 2013. – URL: <https://attackerkb.com/topics/5FyKBES4BL/cve-2022-33891> (дата обращения: 19.02.2024).
3. Novokhrestov A., Konev A., Shelupanov A.A., Buymov A. Computer network threat modelling // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series. – 2020. – Vol. 1488. – P. 012002.
4. Konev A., Shelupanov A., Kataev M., Ageeva V., Nabieva A. A Survey on Threat-Modeling Techniques: Protected Objects and Classification of Threats // Symmetry. – 2022. – Vol. 14, Iss. 3. – P. 549.

УДК 533.9, 666.653

Электронно-лучевая модификация Mn-Zn ферритов для СВЧ электроники

Н.С. Кorableв, А.С. Климов, А.А. Зенин

Научный руководитель: профессор, д.т.н. А.С. Климов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: nik.korablev201@mail.ru

Electron beam modification of Mn-Zn ferrites for microwave electronics

N.S. Korablev, A.S. Klimov, A.A. Zenin

Scientific Supervisor: Prof., Ph.D., A.S. Klimov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenin str., 40, 634050

E-mail: nik.korablev201@mail.ru

Abstract. *We present the results of processing Mn-Zn ferrites with a continuous electron beam in the range of pre-vacuum pressures (10 Pa). It is shown that with increasing temperature and processing time, the inductance and Q-factor of ferrite decrease, which can be used to increase the reflective properties in the microwave range*

Key words: *Mn-Zn ferrites, inductivity, low-energy electron beam, forevacuum.*

Введение

Развитие современных сверхширокополосных радиосистем требует разработки новых измерительных приборов и модернизации существующих, а также решения новых задач, касающихся проблем электромагнитной совместимости. Эти задачи не могут быть решены без оснащения испытательных стендов, а также радиосистем и средств радиосвязи широкополосными экранирующими и поглощающими материалами [1].

Марганец-цинковые ферриты относятся к числу таких перспективных радиопоглощающих материалов, поскольку они интенсивно поглощают электромагнитные волны с частотами от 100 до 700 МГц. Однако дальнейшее развитие приборов требует расширения частотного диапазона поглощения электромагнитного излучения, а также улучшения поглощающих свойств материалов, которое можно достичь в том числе за счет модификации структуры ферритов путем термической обработки, лазерно-индуцированного травления [2], электронно-лучевой облучения [3] и облучение потоками ионов. В данной работе представлено исследование влияния электронно-лучевой обработки потоками низкоэнергетических электронов в форвакуумной области давлений (вакуум порядка 1–100 Па) на электрофизические свойства Mn-Zn ферритов.

Экспериментальная часть

В качестве материала для исследований были использованы ферритовые кольца диаметром внешней части 10 мм, внутренней части 4 мм и высотой 5 мм марки 2000НМ. Электронно-лучевая обработка ферритов проводилась непрерывном режиме, пучком электронов с энергией 8 кэВ на экспериментальной вакуумной установке, при давлении в рабочей камере 9–11 Па, при мощности пучка электронов от 216 до 264 Вт. Электронный пучок создавался форвакуумным плазменным источником [4], позволяющим непосредственно обрабатывать материалы с низкой электропроводностью.

Схематическое изображение экспериментальной установки представлено на рисунке 1.

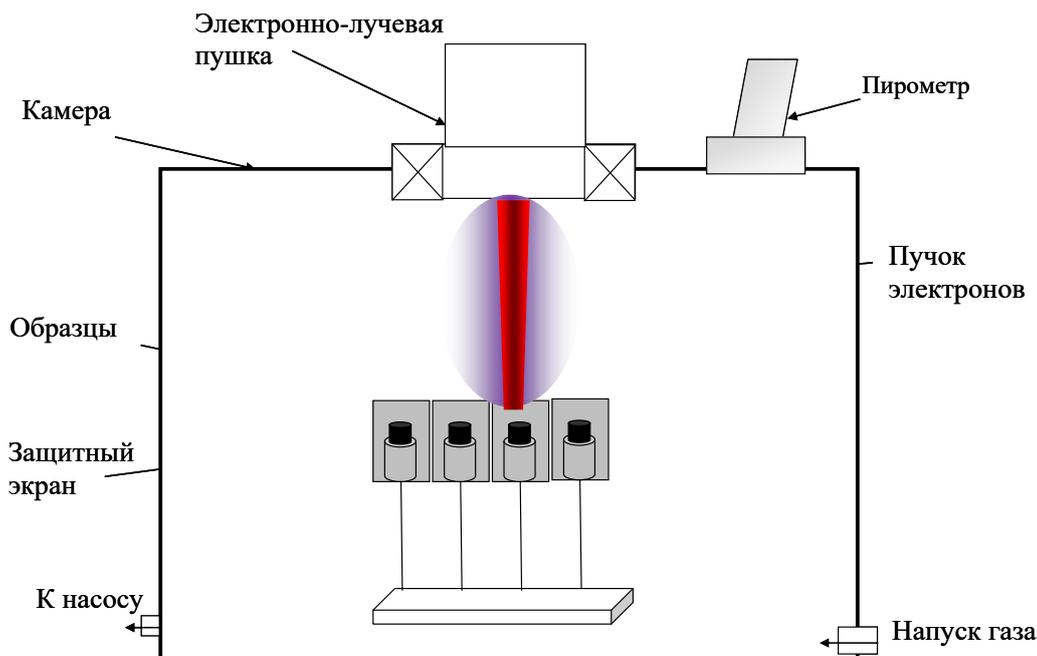


Рис. 1. Схема эксперимента по электронно-лучевому облучению ферритов в непрерывном режиме

Режимы обработки экспериментальных образцов пучком низкоэнергетических электронов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Режимы обработки экспериментальных образцов

Номер образца	Время обработки, с	Мощность пучка, Вт	Давление в вакуумной камере, Па	Температура, °С
1	10	216	10	600
2	30	224	11	800
3	60	240	11	1200
4	120	264	9	1200

При определении указанных выше технологических режимов обработки ключевой задачей стояло определение зависимости изменения электрофизических свойств Mn-Zn ферритов от времени обработки образцов.

Результаты

С целью определения изменения электрофизических свойств образцов после облучения была построена и изучена частотная зависимость индуктивности и добротности образцов от частоты. Для измерения указанных выше параметров необходимо было создать обмотку из металлической проволоки. В качестве обмотки была использована медная проволока толщиной 1,6 мм. Количество витков равнялось 15.

В качестве измерительного прибора использовался измеритель иммитанса Е7-29 с выставленным частотным диапазоном в пределах от 100 Гц до 3 МГц.

На основании полученных измерений были построены зависимости индуктивности и добротности измеряемых образцов от времени облучения, рисунок 2.

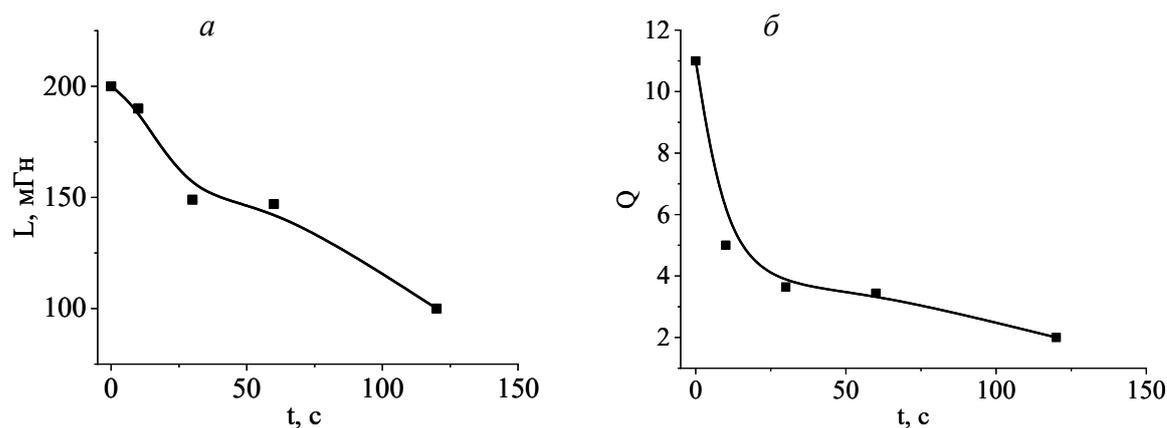


Рис. 2. Зависимость электромагнитных параметров ферритов от времени облучения на частоте 1 МГц: а – индуктивность; б – добротность

На основании полученных зависимостей можно отметить тенденцию к уменьшению добротности облученных ферритов в зависимости от времени обработки, что в свою очередь может свидетельствовать о возможном улучшении радиопоглощающих свойств.

Заключение

В результате проведенных исследований была показана зависимость индуктивности и добротности ферритов от времени электронно-лучевой обработки. С ростом продолжительности обработки наблюдается снижение индуктивности и добротности. На частоте 100 Гц добротность снижается с 11 до 2. Индуктивность также имеет тенденцию к снижению. Кроме того, максимум индуктивности с ростом времени обработки сдвигается в область низких частот. Указанные изменения свидетельствуют о потенциальном улучшении поглощательных свойств ферритов в мегагерцовом диапазоне.

Работа выполнена при поддержке гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках конкурса FEWM-2024-0006

Список литературы

1. Sharma K., Aggarwal N., Kumar N., & Sharma A. Synthesis techniques and advance application of Mn-Zn nano-ferrites // *Materials Today: Proceedings*. – 2023.
2. Lu Y.F., Takai M. Surface damage in a Mn-Zn ferrite induced by laser chemical etching // *Journal of applied physics*. – 1993. – Vol. 73, № 1. – P. 158–162.
3. Raghuvanshi S., Tiwari P., Kane S.N., Avasthi D.K., Mazaleyrat F., Tatarchuk T., Mironyuk I. Dual control on structure and magnetic properties of Mg ferrite: role of swift heavy ion irradiation // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. – 2019. – Vol. 471. – P. 521–528.
4. Klimov A.S., Burdovitsin V.A., Zenin A.A., Oks E.M., Khasanov O.L., Dvilis E.S., Khasanov A.O. Specific features of the charge neutralization of silicon carbide in sintering by electron beam in the forevacuum range of pressure // *Technical Physics Letters*. – 2015. – Vol. 41, № 8 – P. 747-749.

Типизация механизмов защиты от угрозы добавления несанкционированного элемента в компьютерную систему

Д.А. Коровкин, Н.А. Коровкин

Научный руководитель: доцент, к.т.н. А.А. Конев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: dkorovkin2003@mail.ru

Typification of protection mechanisms against the threat of adding an unauthorized element to a computer system

D.A. Korovkin, N.A. Korovkin

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Ph.D. A.A. Konev

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenin str., 40, 634050

Email: dkorovkin2003@mail.ru

***Abstract.** An approach to classifying protection mechanisms against the threat of adding an unauthorized element to the system is presented. Typing is performed relative to three levels of the system and specific types of mechanisms. A list of threats has been compiled for each level of the computer system.*

***Key words:** security mechanisms, authentication, audit, access control.*

Введение

Постоянное развитие информационных технологий и, в частности, компьютерных систем, влечёт за собой необходимость в совершенствовании механизмов защиты. Для оценки их полноты необходимо сначала определить типы механизмов защиты. Это позволит упростить методику оценки защищённости системы.

Типы механизмов защиты рассматривались по отношению к трём уровням компьютерной системы. Первый уровень – локальные сети в рамках глобальной сети, второй – ОС в локальной сети, за третий уровень было взято программное обеспечение в ОС. Необходимо отметить, что два последних уровня системы были разделены на две части: аппаратные и программные компоненты, а также периферийные устройства и процессы соответственно.

В данной работе рассматривалась типовая угроза добавления несанкционированного элемента. Более подробно типизация угроз рассмотрена в [1, 2]. В частности, имеется в виду угроза создания несанкционированной локальной сети или угроза клонирования трафика пакетов на уровне программных компонентов ОС.

Результаты

Полученная классификация механизмов защиты позволила комплексно рассмотреть типовую угрозу добавления несанкционированного элемента компьютерной системы. Так, были определены классы: разграничение доступа (включает в себя определение и установление в системе прав и привилегий пользователей, устройств, процессов и т.д.), аутентификация (проверка подлинности учетных данных пользователя или устройств в системе), пассивный и активный аудиты (мониторинг и сбор информации о действиях, событиях и состоянии системы без активного взаимодействия или вмешательства в её работу, а также с активным взаимодействием соответственно). Был составлен перечень примеров для типовой угрозы (таблица 1), далее для каждой угрозы – механизмы защиты в соответствии с классом (таблица 2).

Таблица 1

Примеры рассматриваемой типовой угрозы по отношению к трем уровням системы

Угроза добавления несанкционированного элемента компьютерной системы		
Уровни системы		Перечень угроз
Локальные сети в рамках глобальной сети		Угроза создания несанкционированной локальной сети
ОС в рамках рабочей станции	Аппаратные компоненты	Угроза добавления несанкционированного маршрутизатора
	Программные компоненты	Угроза клонирования трафика пакетов
Компоненты ОС	Периферийные устройства	Угроза добавления несанкционированного Flash-устройства
	Процессы	Угроза запуска несанкционированной программы (вируса)

Таблица 2

Механизмы защиты для разных угроз

Угроза добавления несанкционированного элемента компьютерной системы				
Типы механизмов защиты Угрозы	Разграничение доступа	Аутентификация	Пассивный аудит	Активный аудит
Угроза создания несанкционированной локальной сети	Белый список внешних IP-адресов	Реализация протокола 802.1X для аутентификации устройства в локальной сети	Анализ журналов сети, считывание данных подключений	Анализ трафика сети
Угроза добавления несанкционированного маршрутизатора	Использование белых списков для входа в помещение с маршрутизатором	Сравнение MAC-адресов устройств по белому списку	Удаление из белого списка субъектов, по той или иной причине отстраненных от использования рабочей станции	Сверка идентификационных данных входящих в помещение субъектов с данными, находящимися в базе белого списка
Угроза клонирования трафика пакетов	1) Использование матрицы доступа 2) Использование групповых политик безопасности	1) Парольная защита аккаунта ОС 2) Аутентификация на основе IP-адресов 3) Использование биометрических данных при входе в ОС	Ведение журнала аудита событий сетевого трафика для отслеживания изменений и аномалий	Использование средств сетевого мониторинга (например, Wireshark) для обнаружения подозрительной активности

<p>Угроза добавления несанкционированного Flash-устройства</p>	<ul style="list-style-type: none"> • опломбирование разъемов USB на материнской плате • использование USB Security Lock • отключение USB-накопителей с помощью редактора реестра 	<p>Белый список ID USB-устройств</p>	<p>Периодическая сверка пломб на портах USB</p>	<p>Установка и контроль датчиков на портах USB с целью дальнейшей программной сверки санкционированного использования USB-устройств</p>
<p>Угроза запуска несанкционированной программы (например, вируса)</p>	<p>1) Создание белого списка пользователей 2) Использование матрицы установления полномочий</p>	<p>1) Парольная защита 2) Аутентификация на основе протоколов (OpenID)</p>	<p>2) Аудит на основе анализа работы процессов для выявления аномалий 3) Аудит на основе проверки соответствия сервисов стандартам безопасности</p>	<p>1) Аудит на основе проведения тестовых атак на сервисы для обнаружения уязвимостей</p>

Заключение

В результате, данная классификация механизмов защиты от угрозы добавления несанкционированного элемента разделяет механизмы на конкретные типы (число которых может дополняться), а также соотносит их к различным уровням системы. Преимущество данной классификации в том, что она охватывает сразу несколько названных уровней, а также включает в себя как программную, так и аппаратную части любой произвольной автоматизированной системы.

Список литературы

1. Novokhrestov A., Konev A., Shelupanov A. Model of Threats to Computer Network Software // Symmetry. – 2019. – Vol. 11, Iss. 12. – P. 1506.
2. Novokhrestov A., Konev A., Shelupanov A.A., Buymov A. Computer network threat modelling // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series. – 2020. – Vol. 1488. – P. 012002.

УДК 004.932.2

**Свёрточные нейронные сети при классификации изображений
для выявления признаков болезней, связанных с мелкой моторикой**

Д.Е. Кошечко, В.М. Ежова, С.А. Фоминых

Научный руководитель: доцент, к.т.н., Е.Ю. Костюченко

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: dk_infotech@mail.ru

**Convolutional neural networks in image classification to identify signs of diseases associated
with fine motor skills**

D.E. Koshechko, V.M. Ezhova, S.A. Fominykh

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Ph.D. E.Yu. Kostyuchenko

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenin str. 40, 634050

Email: dk_infotech@mail.ru

Abstract. *This report presents work on the implementation and use of convolutional neural networks in the classification of images created by people undergoing rehabilitation after a disease associated with impaired fine motor skills. The tasks of searching for a dataset, analyzing and implementing architectures of selected convolutional neural networks, as well as selecting neural network parameters were completed.*

Keywords: *Convolutional neural networks, dataset, rehabilitation.*

Введение

Целью работы является оценка динамики реабилитации пациентов после болезней, связанных с нарушением мелкой моторики – инсульта. В связи с нехваткой необходимых данных использовались изображения, полученные от пациентов с болезнью Паркинсона, по главному схожему признаку – нарушению мелкой моторики. В рамках представленного этапа осуществляется рассмотрение предобученных нейронных сетей для классификации изображений здоровых людей и пациентов с болезнью Паркинсона.

Свёрточная нейронная сеть – это специальная архитектура нейронных сетей, состоящая из нескольких слоев. Чем больше слоёв, тем больше обучающаяся способность, но и выше склонность к переобучению. Основными её элементами являются: свёрточный слой, применяющий фильтры к изображению для выделения определенных признаков, таких как границы, углы и текстуры; пулинг, уменьшающий размерность изображения, сохраняя при этом важные признаки; нормализация по батчу и полносвязный слой, связывающий извлеченные признаки с классификатором или регрессором [1].

Для решения поставленной задачи были взяты следующие архитектуры: vgg19, EfficientNetB0, ResNet-18, предобученные на базе данных ImageNet. При классификации изображений такие нейронные сети показывают высокую производительность и результативность [2].

Архитектура ResNet18 состоит из 18 слоев, включая 16 сверточных и 2 полносвязных. Архитектура включает в себя пропущенные соединения, которые позволяют сети изучать остаточные функции вместо непосредственного изучения, лежащего в основе отображения. Это помогает смягчить проблему исчезающего градиента и позволяет обучать очень глубокие модели [3].

Архитектура VGG19 состоит из нескольких сверточных слоев, выполняющих операцию свертки на изображении, а затем следует слой подвыборки, который уменьшает размерность

изображения. После этого идут полносвязные слои, принимающие выходные данные от предыдущих слоев [4].

Модели, описанные выше, требуют предварительной обработки входных данных, но особенностью архитектуры EfficientNetV0 является включенность предварительной обработки входных данных на уровне модели (слой Rescaling) [5].

Экспериментальная часть

На начальном этапе был проведен поиск в сети Интернет набора данных, связанного с исследованием мелкомоторных движений при реабилитации после инсульта. В результате в открытом доступе подобных наборов данных найдено не было. По этой причине было принято решение о формировании собственного на основе записей пациентов после инсульта по данным, предоставленным Томским НИИ курортологии и физиотерапии. Однако, чтобы не ждать появления такого набора, на текущем этапе решилась аналогичная задача с использованием набора данных по болезни Паркинсона, также связанного с нарушением мелкомоторных движений.

Набор данных NewHandPD [6] содержит изображения, полученные от 66 людей, разделенных на две группы: здоровых и пациентов. В первую группу входили 35 человек, во вторую группу – 31. Каждый участник прошел тесты, в которых необходимо прорисовать по четыре меандра, круга и спирали (на рисунке 1 представлен пример изображений прорисовки фигур). При создании экземпляра круга эталон был обведен не один раз, что привело к неподходящему качеству изображения. Это усложняет оценку динамики реабилитации. Таким образом, в работу были взяты только меандры и спирали.

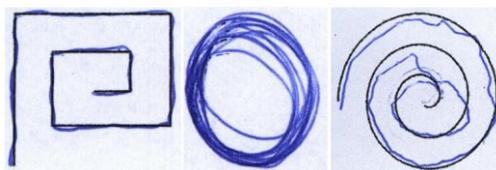


Рис. 1. Пример изображений

После нахождения набора данных перешли к работе с архитектурой нейронной сети. Изначально рассматривался открытый код, решающий задачу классификации по двум классам, в котором используется сверточная нейронная сеть. Один из результатов её работы на загруженном наборе данных NewHandPD представлен на рисунке 2.

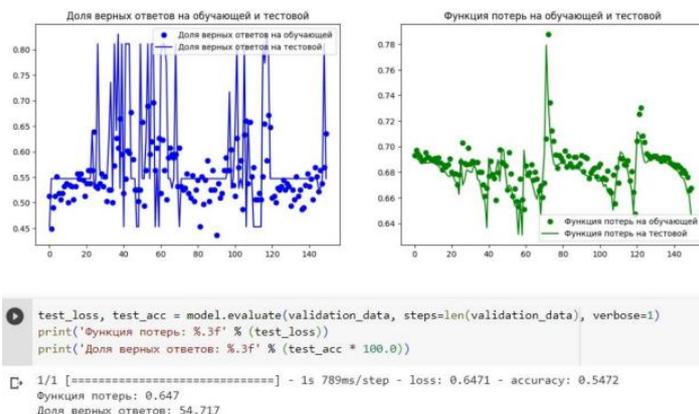


Рис. 2. Динамика процесса обучения

При подборе параметров, добавлении и удалении слоёв, увеличении эпох обучения до 200, показатели доли верных ответов находились в среднем на 50 %, показатели функции

потерь не опускались ниже 60 %, что указывало на то, что сеть не обучалась, а пыталась угадывать изображения. Было принято решение попробовать испытать, описанные выше, предобученные архитектуры ResNet-18, vgg19, EfficientNetB0.

Рассматривая, выбранные архитектуры, проходил подбор параметров (включая следующие изменения: урезание количество слоёв, увеличение количество эпох, подключение метода «заморозки» обученных слоёв модели, др.) и фиксировали результаты.

Результаты

По итогам данной работы было выявлено что модель vgg19 на наборе данных NewHandPD является наиболее точной, так как её результаты оказались выше, чем у двух других рассматриваемых архитектур. Итоговые результаты можно увидеть ниже в таблице 1.

Таблица 1

Результаты работы предобученных нейронных сетей

	ResNet18	VGG19	EfficientNetB0
Доля верных ответов	0.887	0.906	0.887
Функция потерь	0.385	0.223	0.275

Заключение

В результате проделанной работы и при сравнении показателей, ранее полученных на найденном наборе данных [7], можно говорить о том, что при использовании выбранных сверточных нейронных сетей были получены высокие результаты, превосходящие показатели 2016 и 2018 годов, достигающие уровня 2019 г.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках базовой части государственного задания ТУСУРа на 2023–2025 гг. (проект № FEWM-2023-0015).

Список литературы

1. Введение в сверточные нейронные сети // skine.ru: сайт. – 2022. – URL: <https://skine.ru/articles/28935/> (дата обращения: 23.03.2023).
2. Большое сравнение 400 нейронных сетей для задачи классификации на более 8000 классов // Amazing Softworks: сайт. – 2013. – URL: <https://h.amazingsoftworks.com/ru/post/666314/> (дата обращения: 04.05.2023).
3. Архитектура ResNet // Neurohive: сайт. – 2019. – URL: <https://neurohive.io/ru/vidy-nejrosetej/resnet-34-50-101/> (дата обращения: 11.05.2023).
4. Архитектура vgg19 // Про программирование: сайт. – 2024. – URL: https://proproprogs.ru/neural_network/primery-arhitektur-svertochnyh-setey-vgg16-i-vgg19 (дата обращения: 11.05.2023).
5. Image classification via fine-tuning with //Keras: сайт. – 2023. – URL: https://keras.io/examples/vision/image_classification_efficientnet_fine_tuning/ (дата обращения: 11.05.2023).
6. Описание используемого набора данных // Faculty of Sciences - Bauru Campus: сайт. – 2023. – URL: <https://wwwp.fc.unesp.br/~papa/pub/datasets/Handpd/> (дата обращения: 11.04.2023).
7. Diaz M., Moetesum M., Siddiqi I., Vessio G. Sequence-based dynamic handwriting analysis for Parkinson’s disease detection with one-dimensional convolutions and BiGRUs // Expert System with Applications – 2021. – Vol. 168. – P. 1–34.

Определение состояния алкогольного опьянения с помощью методов машинного обучения

П.Ю. Лаптев, С.А. Литовкин

Научный руководитель: к.т.н. Е.Ю. Костюченко

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: pavel.laptev.87@gmail.com

Determination of alcohol intoxication by machine learning methods

P.Y. Laptev, S.A. Litovkin

Scientific Supervisor: Ph.D. E. U. Kostyuchenko

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenin str., 40 634050

E-mail: pavel.laptev.87@gmail.com

Abstract. *This paper describes the created speech analyzer to determine the state of alcohol intoxication. For training, we used our own dataset consisting of 340 audio recordings of tongue twisters. The analysis was carried out on the basis of the VGG16 neural network, with modified fully connected layers. According to the testing results, the model trained on mel-spectrograms shows an F1-score equal to 0.81 and an UAR equal to 0.82.*

Key-words: *neural networks, speech analysis, alcohol intoxication, spectral features, VGG16.*

Введение

Проект направлен на разработку алгоритма основанного на методах машинного обучения, а именно нейронных сетях, для определения состояния алкогольного опьянения на основе устной речи человека

Экспериментальная часть

Для определения состояния алкогольного опьянения используется устная речь человека, а именно произнесённые скороговорки, нацеленные на произношение сонорных и гласных звуков. Данные скороговорки были выбраны, поскольку именно сонорные и гласные звуки подвержены наибольшему влиянию алкогольного опьянения [1], а сами скороговорки позволяют оценить количество и длительность пауз человека, за счёт того, что подразумевают быстрое прочтение текста.

Таким образом был собран личный набор данных, состоящий из 340 аудио записей, 200 из которых записаны в трезвом состоянии, и 140 в состоянии алкогольного опьянения при степени опьянения равной 1.5 ‰, поскольку при такой степени опьянения состояния человека гарантированно может определяться на слух человеком [2]. Весь набор данных был преобразован к формату изображений трёх видов: спектрограммы, мел-кепстральные коэффициенты, мел-спектрограммы. Каждое из изображений было создано как в размере 256 × 256 пикселей, так и 512 × 512 пикселей, для более подробного анализа влияния входных данных. Пример входных данных представлен на рисунке 1. Также было принято использовать набор данных, расширенный с помощью методов аугментации, а именно замедление и ускорение на 10 ‰, что позволило расширить объём данных в 3 раза.

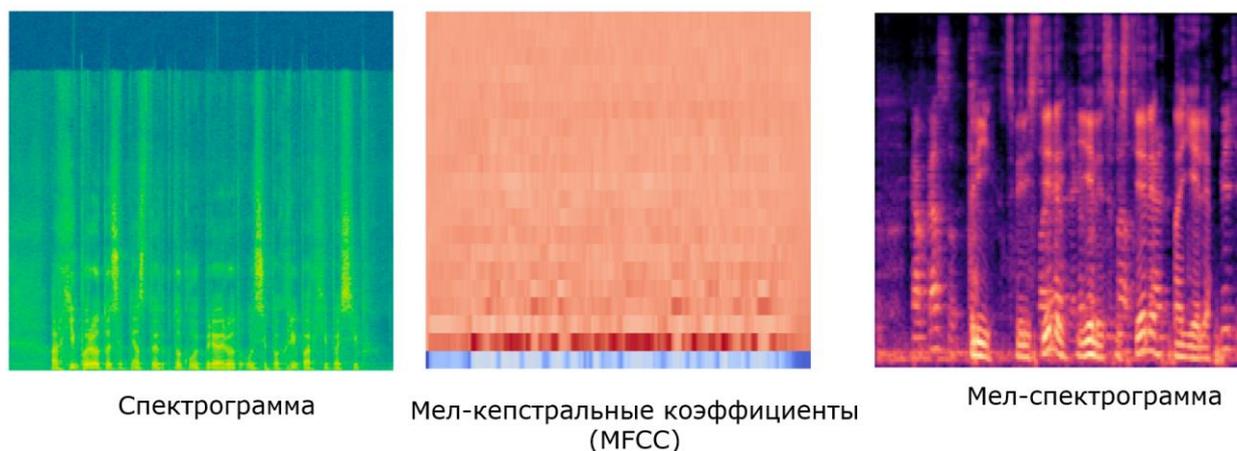


Рис. 1. Пример входных изображений

Для выполнения поставленной задачи было решено использовать свёрточную нейронную сеть VGG16 [3], архитектура которой представлена на рисунке 2, где верхняя часть является свёрточными слоями для извлечения признаков, а нижняя часть является полносвязными слоями, для принятия итогового решения. Выбор такой архитектуры связан с форматом входных данных, а также поскольку VGG16 позволяет производить глубокое обучение. Всего было обучено 12 моделей, в соответствии с вариативностью входных данных.

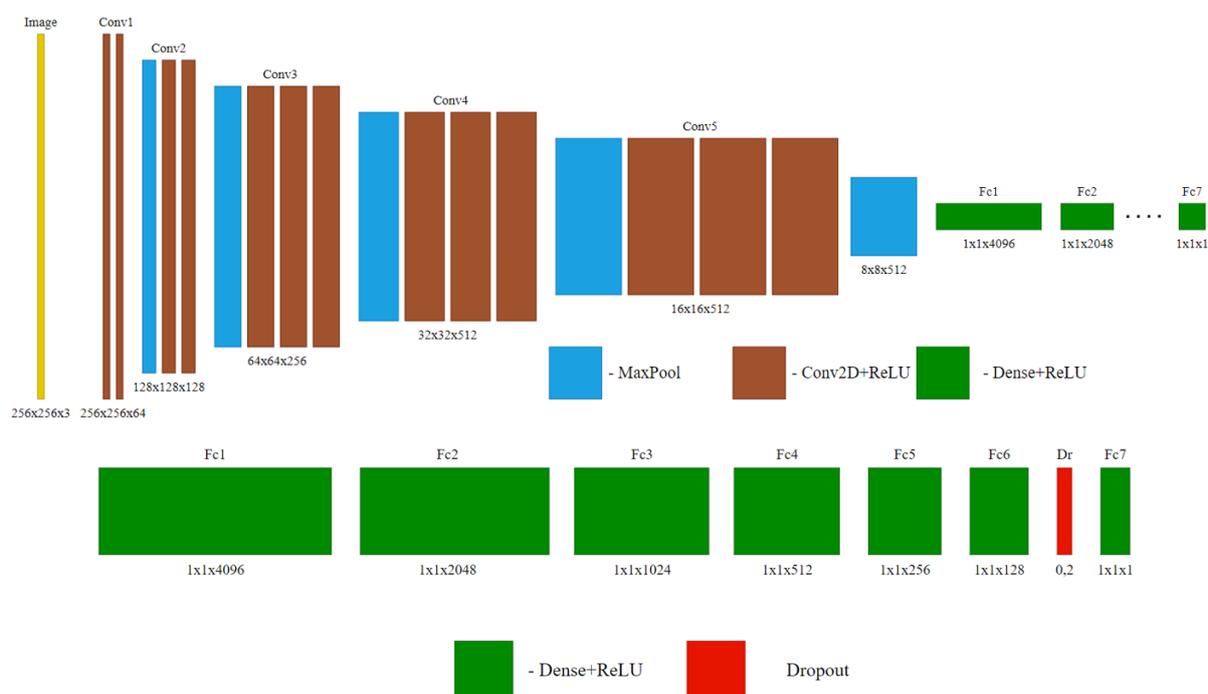


Рис. 2. Архитектура модели нейронной сети VGG16, использованной в работе

Обученные нейронные сети были протестированы с помощью метода 10-ти кратной кросс-валидации, результаты которой представлены в таблице 1.

Результаты

По результатам тестирования было выделено две наилучшие модели – обученная на спектрограммах аугментированного набора данных размера 512 × 512 пикселей, и модель, обученная на мел-спектрограмме аналогичного набора данных. Однако предпочтение было отдано модели обученной на мел-спектрограммах, поскольку при проверке с помощью

статистического теста Манна-Уитни не было обнаружено статистической значимости в различиях результатов моделей, а показатель СКО для состояния алкогольного опьянения является ниже, что может говорить о более низкой вероятности возникновения ошибки второго рода – определение человека в алкогольном состоянии как трезвого.

Таблица 1

Качественные параметры набора данных

		Спектрограммы				Мел-кепстральные коэффициенты				Мел-спектрограммы			
		256 × 256		512 × 512		256 × 256		512 × 512		256 × 256		512 × 512	
		noAug	Aug	noAug	Aug	noAug	Aug	noAug	Aug	noAug	Aug	noAug	Aug
MSE	Test-GT	0.14	0.12	0.23	0.13	0.21	0.16	0.28	0.20	0,15	0.15	0,12	0.12
	Sober-GT	0.13	0.10	0.12	0.11	0.18	0.13	0.16	0.14	0,12	0.12	0,10	0.17
	Drunk-GT	0.16	0.15	0.19	0.17	0.25	0.21	0.37	0.28	0,20	0.20	0,15	0.15
F-мера		0.77	0.81	0.79	0.81	0.65	0.76	0.61	0.74	0,76	0.77	0,79	0.81
UAR		0.79	0.82	0.81	0.83	0.70	0.77	0.68	0.74	0,77	0.79	0,79	0.82

Заключение

В ходе проведенного исследования был разработан анализатор устной речи, для определения состояния алкогольного опьянения на основе свёрточной нейронной сети VGG16. Было обучено 12 разновидностей модели нейронной сети на основе разных входных данных, и предпочтение было отдано модели обученной на мел-спектрограммах аугментированного набора данных размера 512 × 512 пикселей.

При тестировании были получены следующие показатели: F-мера равна 0.81, метрика UAR равна 0.82. Данный результат по метрике UAR опережает результаты исследования ADLAIA [4] на 0.15.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России, госзаказ на 2023–2025 гг., проект № FEWM-2023-0015 (ТУСУР).

Список литературы

1. Pisoni D.B., Martin C.S. Effects of alcohol on the acoustic-phonetic properties of speech: perceptual and acoustic analyses // *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*. – 1989. – Vol. 13, № 4. – P. 577–587.
2. Sigmund M., Zelinka P. Analysis of voiced speech excitation due to alcohol intoxication // *Information Technology and Control*. – 2011. – Vol. 40, № 2. – P. 143–150.
3. Jiang Z. P. et al. An improved VGG16 model for pneumonia image classification // *Applied Sciences*. – 2021. – Vol. 11, № 23. – P. 11185.
4. Bonela A. A. et al. Audio-based Deep Learning Algorithm to Identify Alcohol Inebriation (ADLAIA) // *Alcohol*. – 2023. – Vol. 109. – P. 49–54.

Разработка автоматизированной системы обнаружения вредоносных URL-адресов

А.В. Ли, В.С. Репкин, Н.И. Сермавкин

Научный руководитель: доцент, к.т.н. А.К. Новохрестов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, ул. Ленина, 40, 634050

E-mail: 79131048719@yandex.ru

Development of an automated system for detecting malicious URL-addresses

A.V. Li, V.S. Repkin, N.I. Sermavkin

Scientific Supervisor: Ass. Prof., PhD. A.K. Novokhrestov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenin str., 40, 634050

E-mail: 79131048719@yandex.ru

Abstract. *The publication describes the development of a malicious URL detection system based on a classification model that demonstrates superior performance on the benchmark dataset. The completed data preprocessing includes the following techniques: simple random sampling, SMOTE, Random Under-sampling, PCA, and feature scaling. For training and testing classification models, such as Support Vector Machine, Naive Bayes Bernoulli classifier, k-nearest neighbors method, Decision Tree, Random Forest, and Gradient Boosting, a dataset consisting of 350000 records was utilized. Model comparison was conducted using the F1-score metric.*

Key words: *Machine learning, dataset analysis, information security, web resource.*

Введение

Многие компании сталкиваются с серьезными потерями из-за нарушений безопасности в системах передачи и обработки информации, особенно в сфере телекоммуникаций, банковского и торгового секторов. Защита информационных систем является сложной задачей для компаний и государственных учреждений. Важность сохранения целостности и конфиденциальности информации требует пристального внимания к вопросам безопасности [1]. В современном цифровом мире угроза вредоносных URL-адресов остается одной из наиболее актуальных проблем, требующих непрерывного внимания и разработки эффективных механизмов защиты. С увеличением объема интернет-трафика и развитием технологий обработки данных становится все сложнее распознать и заблокировать вредоносные URL-адреса в реальном времени [2]. Переход на зараженный веб-ресурс может привести к серьезным последствиям, таким как компрометация конфиденциальной информации, взлом систем и утечка данных. Развитие автоматизированных систем, способных эффективно и быстро анализировать URL-адреса, является важным направлением в борьбе с отмеченной угрозой информационной безопасности. Такие системы могут предостеречь пользователей от совершения нежелательных действий с неблагоприятными последствиями [3].

Целью данной работы является разработка автоматизированной системы обнаружения вредоносных URL-адресов на основе моделей классификации. Соответственно, ключевая задача – определение модели, которая наиболее точно предсказывает факт наличия вредоносного содержимого на веб-ресурсах. Результаты исследования могут быть применены при разработке антивирусного программного обеспечения, SIEM-систем, средств обнаружения вторжений и других продуктов для защиты информации [4]. Также система может быть внедрена как расширение в веб-браузере, позволяя пользователям в режиме реального времени получать предупреждения о потенциально вредоносных URL-адресах и защищать свои данные во время интернет-серфинга.

Экспериментальная часть

Исследуемый набор данных содержит 1682213 записей, каждая из которых представляет собой набор признаков и URL-адрес с меткой, указывающей на его вредоносность или легитимность [5]. Ввиду большого объема данных, для повышения скорости обработки и обучения моделей, был выполнен алгоритм случайной выборки определенного размера. В результате выборка имеет 350000 записей. Стоит отметить, что исходный набор данных не сбалансирован: легитимных URL-адресов в нем значительно больше, чем вредоносных. Это может привести к некорректности обучения и снижению точности определения вредоносных ссылок. Для решения данной проблемы были реализованы два метода. Метод увеличения выборки использует технику SMOTE (Synthetic Minority Over-sampling Technique), которая генерирует синтетические URL-адреса, схожие с уже имеющимися в классе. Для уменьшения количества записей в классе «легитимные» применялся метод Random Under-sampling, который случайным образом удаляет записи из класса [6].

Исходный набор данных содержит 56 признаков с типом данных float, характеризующих URL-адрес. Для уменьшения размерности данных и исключения коллинеарных признаков был применен метод главных компонент (МГК). В результате использования МГК было выделено 15 главных компонент, которые объясняют 85 % дисперсии данных [7].

Для решения поставленных задач будут применены следующие модели классификации: метод опорных векторов, наивный байесовский классификатор Бернулли, метод k-ближайших соседей, дерево решений, алгоритм случайного леса и градиентный бустинг, которые показали хорошие результаты в работах [7, 8] на других датасетах. В [7] указаны проблемы, которые могут повлиять на качество обнаружения вредоносных ссылок: размер набора данных, выбросы, подборка признаков и устойчивость детекторов. Также стоит отметить, что авторы работ [8, 9] использовали метрику ассигасу (доля верных ответов) при сравнении моделей. В проводимом исследовании для оценки моделей выбрана метрика F1-мера, так как она учитывает в себе как точность, так и полноту. Стоит отметить, что при комплексном анализе показателей модели стоит обращать внимание на баланс между полнотой и точностью [9].

Результаты

Эвристическим методом для всех моделей классификации были определены гиперпараметры, при которых значение метрики F1-мера ближе к единице. Результаты оценки качества предсказания моделей на основе тестовой выборки представлены в таблице 1. Можно заметить, что наилучшим методом машинного обучения (МО) на исследуемом наборе данных является алгоритм случайного леса, у которого значение F1-меры равно 0,8514. Метод опорных векторов является самым не подходящим вариантом для решение поставленной задачи классификации. В будущем планируется использовать полную выборку датасета и гибридные фреймворки МО [9]. Также для оптимизации расходования вычислительных ресурсов будут рассмотрены другие методы предобработки больших наборов данных.

Таблица 1

Значения метрик для сравнения моделей классификации

Метрика	Метод опорных векторов	Наивный байесовский классификатор Бернулли	Метод k-ближайших соседей	Дерево решений	Алгоритм случайного леса	Градиентный бустинг
Доля верных ответов	0,7928	0,8145	0,8019	0,8971	0,9330	0,9188
Полнота	0,7665	0,7014	0,7232	0,8374	0,8829	0,8745
Точность	0,6712	0,7420	0,7956	0,8150	0,8221	0,8066
F1-мера	0,7157	0,7211	0,7577	0,8260	0,8514	0,8392

Заключение

Таким образом, было проведено сравнение методов МО для решения задачи бинарной классификации с использованием общедоступного набора данных, содержащего признаки веб-ресурсов, по которым возможно оценить небезопасность URL-адресов. Продемонстрировано, что использование методов МО, таких как метод опорных векторов, наивный байесовский классификатор Бернулли, метод k-ближайших соседей, дерево решений, алгоритм случайного леса и градиентный бустинг, позволяет эффективно определять вредоносные URL-адреса с высокой точностью и полнотой. При этом, в заданных условиях наилучшим методом оказался алгоритм случайного леса со значением метрики F1-мера равным 0,8514. Так как обучение и тестирование проводилось не на полноценном датасете, а лишь на его выборке из 350000 строк, то точность модели в будущем можно повысить. При предварительной обработке датасета выполнено уменьшение размерности и балансировка данных, изменено количества признаков методом главных компонент из-за высокой вычислительной нагрузки.

Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод, что разработанная система с программной реализацией алгоритма случайного леса является применимой для решения задачи бинарной классификации. Исследование предоставляет практические рекомендации по использованию разработанной системы для защиты сетевой инфраструктуры и обеспечения безопасности пользователей в среде Интернет. Внедрение данной системы в качестве расширения для веб-браузеров позволит пользователям получать предупреждения о потенциально вредоносных URL-адресах в режиме реального времени, повышая их уверенность и обеспечивая безопасный интернет-серфинг.

Список литературы

1. Тренды фишинговых атак на организации в 2022–2023 годах // Positive Technologies: сайт. – 2024. – URL: <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/phishing-attacks-on-organizations-in-2022-2023/> (дата обращения 25.02.2024).
2. Конев А.А., Коваленко А.С., Репкин В.С., Семенов Г.Ю. Уязвимость «Gitea Git Fetch Remote Code Execution»: анализ, формализация автоматизированной эксплуатации, меры защиты // Вестник УрФО. Безопасность в информационной сфере. – 2023. – № 2(48). – С. 67-73.
3. Конев А.А., Репкин В.С., Семенов Г.Ю., Сермавкин Н.И. Формирование уязвимого узла «Adobe coldfusion Deserialization of Untrusted Data vulnerability» // Вопросы кибербезопасности. – 2024. – № 1(59). – С. 75-81.
4. Егошин Н.С., Конев А.А., Шелупанов А.А. Формирование модели нарушителя // Безопасность информационных технологий. – 2017. – № 4 (24). – С. 19-26.
5. Tabular dataset ready for malicious url detection // Kaggle: сайт. – 2024. – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/pilarpieiro/tabular-dataset-ready-for-malicious-url-detection/data> (дата обращения 25.02.2024).
6. Ali H. et al. Imbalance class problems in data mining: A review // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. – 2019. – Vol. 14, № 3. – P. 1560-1571.
7. Aljabri M. et al. Detecting malicious URLs using machine learning techniques: review and research directions // IEEE Access. – 2022. – Vol. 10. – P. 121395-121417.
8. Do Xuan C., Nguyen H. D., Tisenko V. N. Malicious URL detection based on machine learning // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. – 2020. – Vol. 11, № 1. – P. 148-153.
9. Yavanoglu O., Aydos M. A review on cyber security datasets for machine learning algorithms // 2017 IEEE international conference on big data. – Boston: IEEE, 2017. – P. 2186-2193.

**Классификация голоса и речи с точки зрения естественности
с помощью средств машинного обучения**

С.А. Литовкин, П.Ю. Лаптев

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Е.Ю. Костюченко
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050
E-mail: serg666323@gmail.com

**Classification of voice and speech from the point of view
of naturality using machine learning methods**

S.A. Litovkin, P.Y. Laptev

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Ph.D. E. U. Kostyuchenko
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenin str., 40, 634050
E-mail: serg666323@gmail.com

Abstract. *This paper compares different methods for detecting fake speech. For training, 3 datasets were used, 2 public and 1 private. 6 classifiers were compared: 2 neural networks and 4 machine learning algorithms. According to the results, the classifiers SVM, AlexNet and ResNet-101 showed the best results.*

Key words: *neural networks, SVM, AlexNet, ResNet 101, CFAD, FOR.*

Введение

Проект направлен на сравнение различных способов и методов классификации естественной и не естественной речи с помощью машинного обучения, для определения наилучших способов определения поддельной речи.

Экспериментальная часть

Для определения естественной и неестественной речи использовалось 3 набора данных: на китайском языке CFAD [1], на английском языке FOR [2], и личный набор данных поддельной речи на русском языке, созданный с помощью модели RVC-v2. Было создано 3 версии личного набора данных с 20, 50 и 100 эпох на обучение голосовых моделей. Количество записей в каждом наборе данных более 9000, с длительностью в среднем 4 секунды. Для некоторых наборов данных представлена вариация аудио записей с добавлением шумов.

Для определения естественности использовалось 2 нейронные сети: AlexNet и ResNet-101, а также 4 алгоритма машинного обучения: Random Forest, k Nearest Neighbours, support vector machine (SVM), Naive Bayes. Все наборы данных был преобразованы к формату изображений трёх видов: спектрограммы, мел-кепстральные коэффициенты, мел-спектрограммы, размером 256 на 256 пикселей. Пример изображений представлен на рисунке 1. Результаты работы классификаторов для набора данных CFAD при использовании спектрограмм представлены в таблице 1.

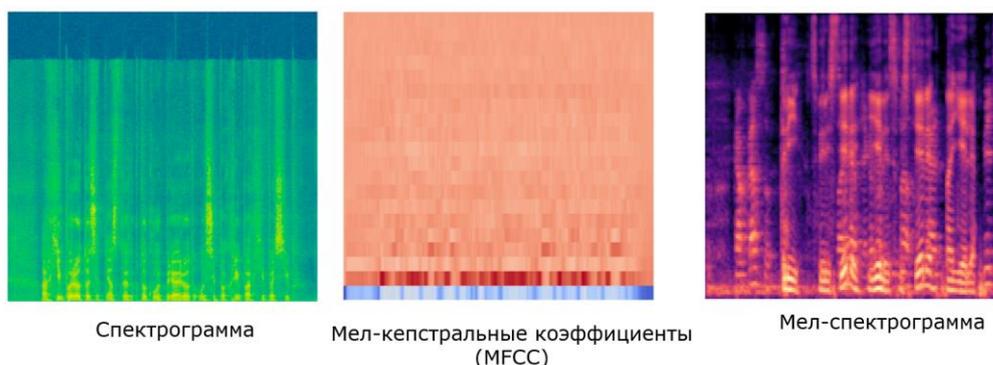


Рис. 1. Пример изображений

Таблица 1

Результаты работы классификаторов для набора данных CFAD

Архитектура	Данные	precision	recall	F_1 -score	accuracy
AlexNet	Origin	0,90	0,89	0,90	0,89
	Fake	0,89	0,90	0,89	
ResNet-101	Origin	0,97	0,77	0,86	0,84
	Fake	0,70	0,96	0,81	
Random Forest	Origin	0,69	0,68	0,69	0,68
	Fake	0,68	0,69	0,68	
KNN	Origin	0,78	0,86	0,82	0,83
	Fake	0,87	0,80	0,84	
SVM	Origin	0,87	0,89	0,88	0,88
	Fake	0,89	0,88	0,88	
Naive Bayes	Origin	0,98	0,63	0,77	0,70
	Fake	0,42	0,95	0,58	

Архитектуры с самыми лучшими результатами для всех наборов данных представлены в таблице 2. Лучшие результаты показали классификаторы ResNet-101 [3], AlexNet [4] и SVM, именно они показывали стабильно высокие результаты для всех наборов данных с различными входными данными. Различные входные данные показывают близкие результаты.

Таблица 2

Итоговая таблица

Набор данных	Входные данные		
	Мел-кепстральные коэффициенты	Спектрограммы	Мел-спектрограммы
CFAD	ResNet-101 – 0,80	AlexNet – 0,89	ResNet-101 – 0,89
FOR	SVM – 0,99	SVM – 0,99	AlexNet – 1,00
CFAD с шумом	AlexNet – 0,79	ResNet-101 – 0,80	AlexNet – 0,81
FOR с шумом	SVM – 0,97	AlexNet – 0,99	ResNet-101 – 0,99
Личный набор 20 Эпох	AlexNet – 0,99	SVM – 0,99	ResNet-101 – 1,00
Личный набор 50 Эпох	SVM – 1,00	AlexNet – 0,99	SVM – 1,00
Личный набор 100 эпох	AlexNet – 0,98	ResNet-101 – 1,00	ResNet-101 – 1,00

Результаты

Архитектуры с самыми лучшими результатами для классификации наборов данных между собой представлены в таблице 3. Для классификации данных из других наборов данных лучше всего подходит использование в качестве входных данных изображения мел-кепстральных коэффициентов. Обучение классификаторов на наборе данных CFAD, позволяет получить точность близкую к 0.7 при анализе других наборов.

Итоговая таблица при анализе наборов между собой

Обучающий набор данных	Валидационный набор данных	Входные данные		
		Мел-кепстральные коэффициенты	Спектрограммы	Мел-спектрограммы
CFAD	Личный набор 50 эпох	ResNet-101 0,74	SVM 0,48	AlexNet 0,52
	FOR	SVM 0,71	ResNet-101 0,81	AlexNet 0,69
FOR	Личный набор 50 эпох	KNN 0,54	ResNet-101 0,46	ResNet-101 0,50
	CFAD	AlexNe 0,55	ResNet-101 0,50	AlexNet 0,51
Личный набор 50 эпох	CFAD	AlexNet 0,61	SVM 0,60	ResNet-101 0,52
	FOR	ResNet-101 0,67	AlexNet 0,47	KNN 0,52

Заключение

В ходе проведенного исследования были сравнены различные классификаторы и методы представления данных для определения поддельной речи на наборах данных. Самые высокие результаты классификации у ResNet-101, AlexNet и SVM. В качестве входных данных лучше всего использовать изображения Мел-кепстральных коэффициентов. Изменение количества эпох на обучении моделей, для создания собственного набора данных, не повлияло на точность классификации.

При тестировании были получены следующие показатели по ассигасу для набора данных CFAD – 0,89, FOR – 1,00, для личного набора данных 1,00, вне зависимости от количества эпох на обучение.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России, госзаказ на 2023–2025 гг., проект № FEWM-2023-0015 (ТУСУР).

Список литературы

1. Ma H. et al. FAD: A Chinese dataset for fake audio detection– Текст : электронный // arXiv preprint arXiv:2207.12308. – 2022. – URL: <https://arxiv.org/pdf/2207.12308.pdf> (дата обращения: 04.06.2018).
2. The Audio Processing Techniques Lab at York // APTLY and LaSSoftE Lassonde School of Engineering: сайт. – 2020. – URL: <http://bil.eecs.yorku.ca/aptly-lab>. (2020).
3. He K. et al. Deep residual learning for image recognition // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – Las Vegas: IEEE, 2016. – P. 770–778.
4. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G. E. Imagenet classification with deep convolutional neural networks // Advances in neural information processing systems. – 2012. – Vol. 1. – P. 1097–1105.

УДК 519.688

**Стенд для исследования нейронных сетей
и методов противодействия состязательным атакам**

Б.С. Лодонова, Я.А. Усольцев

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Е.Ю. Костюченко
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050
E-mail: balzhitl@mail.ru

Bench for researching neural networks and methods for countering adversarial attacks

B.S. Lodonova, Ya.A. Usoltsev

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Ph.D. Eu.Yu. Kostyuchenko
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenin str., 40, 634050
E-mail: balzhitl@mail.ru

***Abstract.** In this paper, we presented the result of developing a test bench for neural networks, their methods of protecting and conducting adversarial attacks. This bench was designed to automate experiments with the above instruments. In the future, the stand can be used to initially familiarize students with neural networks.*

***Key words:** neural networks, biometric authentication, adversarial attack.*

Введение

Процесс ручного подбора параметров классификатора, параметризации данных, архитектуры и прочего занимает много времени, с учетом логирования данных и их обработки. В этом случае использовать автоматизацию экспериментов для ускорения работы может быть весьма удобным решением, поскольку в этом случае можно будет сосредоточиться на обработке и анализе результатов прогонов экспериментальных архитектур. Подбор архитектур классификаторов с использованием специальных алгоритмов и методов машинного обучения позволяет выбирать оптимальные модели для конкретной задачи классификации, а проведение атак на классификаторы также играет важную роль в исследовании и тестировании их устойчивости к внешним воздействиям [1]. Автоматизация этого процесса позволяет быстро оценить уровень защищенности классификатора и провести необходимые корректировки для повышения его надежности.

Таким образом, использование автоматизированной обработки данных, подбора архитектур классификаторов и проведение на них атак позволяет значительно ускорить процесс проведения экспериментов, сократить затраты времени и ресурсов, а также повысить качество и достоверность получаемых результатов. Потому реализация стенда для проведения экспериментов по тестированию классификаторов является практически значимой задачей на данный этап развития проекта.

Разрабатываемый стенд, как ожидается, будет осуществлять две основные функции: подбор классификатора, методов защиты, предобработки данных и сохранение имеющихся моделей и их архитектур. Обзор текущего состояния рынка систем автоматизации показал, что имеющиеся решения дают доступ к ограниченному функционалу, причем значительная часть этих решений является системами графического программирования, например, как RapidMiner [2]. Это означает, что гибкость настройки изучаемого классификатора является ограниченной, что может становиться причиной некорректной настройки этого самого классификатора. Иные САД имеют либо строгую специализацию по типам обрабатываемых данных (например, TIBCO Data Science [3] или МТС Анализ геоданных) либо жесткие ограничения по набору инструментов (например, Polymatica и Orange Data Mining [4]).

Потому на данном этапе проекта решено реализовать относительно гибкий вариант стенда для проведения исследований нейросетевых классификаторов и атак на них. В дальнейшем был реализован функционал для внедрения методов защиты. На текущий момент при реализации стенда было решено отказаться от графического метода программирования для конечных пользователей, поскольку это означает ограничения функциональности итогового стенда.

В начале разработки к системе были выдвинуты следующие требования:

- возможность имплементировать ранее реализованные архитектуры нейронных сетей,
- возможность имплементировать ранее реализованные методы защиты,
- расширяемость архитектуры стенда,
- поддержка имеющихся библиотек искусственного интеллекта языка Python.

На предыдущих этапах были реализованы атаки BasicIterativeMethod, FastGradientMethod, HopSkipJump, VirtualAdversarialMethod, ZerothOrderOptimization. Были реализованы такие архитектуры, как рекуррентная, байесовская и перцептрон. Реализованы такие методы защиты, как БПФ, сжатие конвертами и Вейвлет-преобразование. Все указанные модули должны быть адаптированы и имплементированы в итоговый стенд.

Материалы и методы исследования

Для разработки итоговой архитектуры стенда был разработан перечень используемых в системе сущностей. В результате были выбраны следующие классы: датасет, атака на сеть, классификатор, нейронная сеть, ансамбль классификаторов, защита и ядро системы.

В качестве архитектурного решения был выбран смешанный тип отношения классов. Для единых по логике классов выбран монолитный тип наследования, для соединения этих монолитов в единую систему – композитная архитектура.

Итоговый вариант представляет собой смешанный тип, поскольку доступ к функционалу всех монолитных классов реализован через единый класс «Ядро системы». Сам по себе класс ядра представляет собой схожий с композитным типом архитектуры класс, за исключением того, что объект класса ядра дает доступ к монолитным классам за счет агрегирования объектов этих классов в себе в качестве атрибутов.

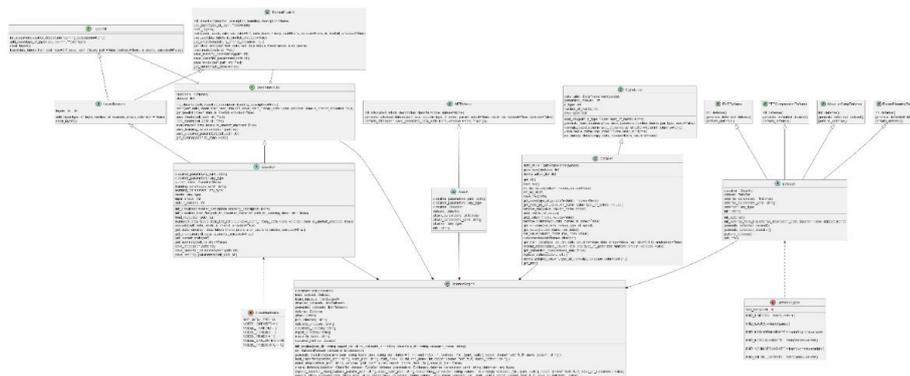


Рис. 1. Архитектура научного стенда

Результаты

Основной функционал стенда был реализован. В дальнейшем планируется создание модуля для автогенерации отчетов по итогам экспериментов для быстрого создания отчетной документации. Монолит классов для реализации функционала датасетов было решено реализовывать на основе pandas и numpy, являющихся библиотеками Python. Данные библиотеки позволяют реализовать базовый функционал по предобработке датасетов, их подгрузки и сохранению. Для дополнительной функциональности импортированы функции train_test_split из библиотеки sklearn и to_categorical из tensorflow. Данные функции позволяют

расширить методы предподготовки данных. Для обработки входных параметров импортирован модуль `re`, позволяющий проводить обработку строковых типов данных. Это необходимо для реализации функций класса. Также импортирован модуль `random`, функции которого используются при параметризации датасета.

Монолит классов классификаторов импортирует такие модули, как `numpy`, `enum`, `yaml`. Эти модули позволяют реализовать базовую функциональность классификаторов. За счёт класса `yaml` возможно автоматизировать погрузку архитектуры классификатора и изменения классификатора в виде `yaml` файлов. Модуль `numpy` позволяет автоматизировать работу с датасетами и их погрузку для обучения классификатора. Модуль `enum` позволяет автоматизировать обработку состояния классификатора. Контроль состояния классификатора необходимо для распределения нагрузки на классификатор, для чего требуется определять текущее состояние классификатора и блокировать его на время обучения и съёма статистик и прочих работ с классификатором. Для дополнительной функциональности импортирована функция `train_test_split` из библиотеки `sklearn`. Данная функция позволяют расширить методы дополнительной обработки данных.

Монолит классов атак позволяет за счёт `yaml` файлов определять параметры атаки, исходную функциональность. Для проведения атаки были импортированы ранее реализованные модули классификации и датасета, а также модуль `yaml`.

Заключение

На данном этапе был реализован стенд исследования состязательных атак на систему биометрической аутентификации. Программная реализация стенда исследования состязательных атак на систему биометрической аутентификации в соответствии с заданными требованиями. В процессе работы были созданы перечень выбранных базовых технологий классификации, проведения атак и методов противодействия им, структурные и поведенческие диаграммы в нотации UML, наборы общих описаний классов и их уточненных вариантов. В результате разработки был реализован функционал стенда исследования состязательных атак в соответствии с исходными требованиями. Результат разработки может быть расширен за счет внедрения таких модулей, как: дополнительные модули защиты, модуль подготовки отчетов на основе логов экспериментов, дополнительные модули классификаторов. На данном этапе стенд является полностью рабочим и предоставляет весь заявленный функционал. Проведено тестирование готовых модулей, которое показало, что стенд соответствует исходным требованиям.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках базовой части государственного задания ТУСУРа на 2023–2025 гг. (проект № FEWM-2023-0015).

Список литературы

1. Arifovic J., Gençay R. Using genetic algorithms to select architecture of a feedforward artificial neural network // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. – 2001. – № 3 (289). – P. 574–594.
2. Kotu V., Deshpande B. *Predictive Analytics and Data Mining: Concepts and Practice with RapidMiner* – Waltham: Morgan Kaufmann, 2014. – 447 p.
3. Brown P.C. *Architecting Complex-Event Processing Solutions with TIBCO* – Boston: Addison-Wesley Professional, 2013. – 310 p.
4. Mohi Z.R. Orange Data Mining as a tool to compare Classification Algorithms // *Dijlah journal of Sciences and Engineering*. – 2020. – Vol. 3, Iss. 3. – P. 13–23.

**Модификация поверхности керамики из диоксида циркония
импульсным форвакуумным плазменным источником электронов**

А.В. Казаков, А.А. Лыман, Н.А. Панченко

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: andrykazakov@gmail.com

**Surface modification of zirconium dioxide ceramics
by a pulsed forevacuum plasma electron source**

A.V. Kazakov, A.A. Lyman, N.A. Panchenko

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenin str., 40, 634050

E-mail: andrykazakov@gmail.com

***Abstract.** The modification of zirconium dioxide ceramic by a pulsed forevacuum plasma electron source has been investigated. It has been found that varying the parameters of the pulsed electron beam allow to change the surface roughness of the ceramics as well as the crystalline phases of the ceramics.*

***Keywords:** pulsed electron beam, surface modification, zirconium dioxide ceramic.*

Введение

На сегодняшний день одним из востребованных и широко распространённых материалов является керамика из диоксида циркония [1, 2]. Благодаря своим исключительным свойствам, таким как высокая прочность, твердость и химическая устойчивость, она применяется в различных отраслях науки и техники, таких как электронная промышленность, металлургия и т.д. [1, 2]. Кроме того, циркониевая керамика обладает высокой биосовместимостью, что позволяет использовать данную керамику в медицине для изготовления костных протезов [1, 2]. Работ, посвященных циркониевой керамике, достаточно много, в том числе интерес представляют методы обработки керамики для придания ей определенных свойств [3].

Для обработки циркониевой керамики могут быть использованы форвакуумные плазменные источники электронов, преимуществом которых является возможность обработки непроводящих материалов вследствие нейтрализации отрицательного заряда на облучаемой мишени за счет формирования потока ионов из пучковой плазмы [4]. Цель настоящей работы заключается в модификации поверхности керамики из диоксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия, с помощью импульсного форвакуумного источника широкоапертурного электронного пучка.

Методика эксперимента

Процесс электронно-лучевой обработки керамики осуществлялся с помощью форвакуумного источника импульсного электронного пучка [4]. В исследованиях использовались керамические образцы из диоксида циркония ZrO_2 , стабилизированного оксидом иттрия Y_2O_3 (содержание оксида иттрия 5,15 %), которые были выполнены в виде дисков толщиной 4 мм и диаметром 16 мм. Керамические образцы размещались на танталовых тиглях, которые устанавливались на системе перемещения (рис. 1), это позволяло обрабатывать несколько образцов без необходимости вскрытия вакуумной камеры. Давление в вакуумной камере составляло 8 Па, а в качестве рабочего газа использовался азот. Параметры импульсного электронного пучка регулировались с помощью системы питания форвакуумного плазменного источника электронов. В экспериментах

ускоряющее напряжение составляло 9 кВ, ток I_e эмиссии изменялся от 30 А до 70 А, длительность импульса τ_d была в диапазоне 250 мкс – 600 мкс, частота следования импульсов была 1 Гц. Варьированием указанными параметрами позволяло регулировать энергию E_p пучка в импульсе ($E_p = U_a \cdot I_e \cdot \tau_d \cdot \beta$, где $\beta = 0,7$ – коэффициент, который характеризует потерю тока эмиссии электронов в используемом источнике электронов) и мощность P_p пучка в импульсе ($P_p = U_a \cdot I_e \cdot \beta$). В области расположения обрабатываемого образца диаметр электронного пучка составлял 4 см. Обработка образцов осуществлялась по очереди, каждый образец при заданных параметрах электронного пучка облучался серией импульсов, количество которых N варьировалось от 5 до 150 импульсов.

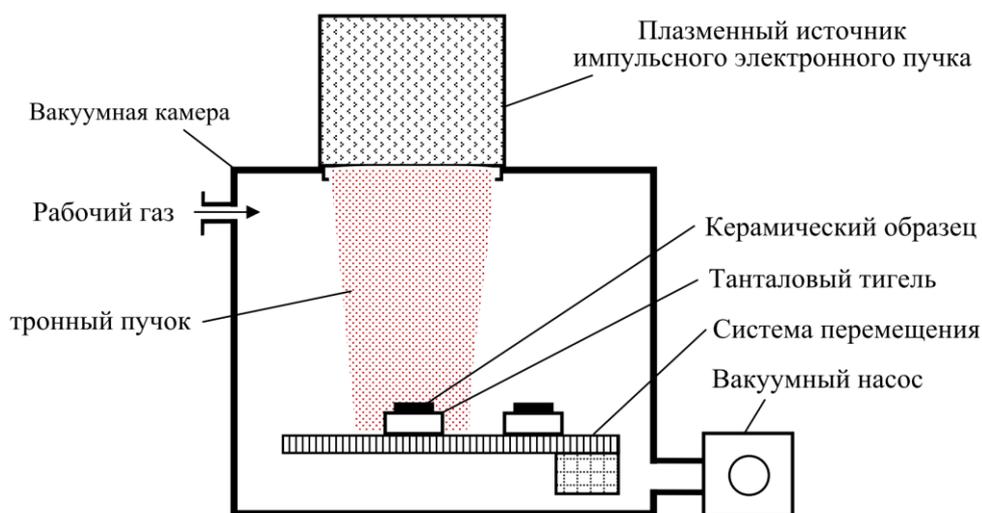


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Керамические образцы из диоксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия, исследовались до и после обработки импульсным электронным пучком. Для измерения шероховатости R_a поверхности образцов использовался профилометр модели 130, а фазовый состав образцов исследовался с помощью рентгенофазного анализатора Shimadzu XRD 6100.

Результаты экспериментов и их анализ

Как показали проведенные исследования, заметное изменение состояния поверхности циркониевой керамики наблюдается при достижении энергии E_p в импульсе величины около 130 Дж/имп. При этом при одинаковой энергии E_p в импульсе характер изменения поверхности зависит от мощности P_p электронного пучка в импульсе. Так, например, при $E_p = 132$ Дж/имп. и плотности мощности $P_p < 300$ кВт/имп. можно обеспечить уменьшение шероховатости R_a керамики. Однако при мощности $P_p > 300$ кВт/имп. после облучения наблюдается увеличение шероховатости поверхности керамических образцов по мере увеличения мощности P_p в импульсе пучка (табл. 1). Наблюдаемое увеличение шероховатости обусловлено появлением пор и микротрещин на поверхности циркониевой керамики.

Обрабатываемые образцы содержат три кристаллические фазы: кубическую ZrO_2 SG 225, тетрагональную ZrO_2 SG 137 и кубическую Y_2O_3 SG 206. При этом в исходных (необработанных образцах) преобладает тетрагональная фаза ZrO_2 SG 137 (рис. 2, а). Обработка импульсным электронным пучком позволяет изменить процентное соотношение между фазами. Так, например, увеличение энергии E_p и мощности P_p электронного пучка в импульсе приводит к росту содержания кубической фазы ZrO_2 SG 225 (рис. 2, б и с).

Шероховатости поверхности R_a образцов до и после обработки

P_p , кВт/имп.	До обработки	После обработки	Изменение R_a
	R_a , мкм	R_a , мкм	ΔR_a , мкм
189	0,154	0,233	0,079
290	0,148	0,5465	0,3985
340	0,106	4,705	4,599
430	0,154	5,665	5,511

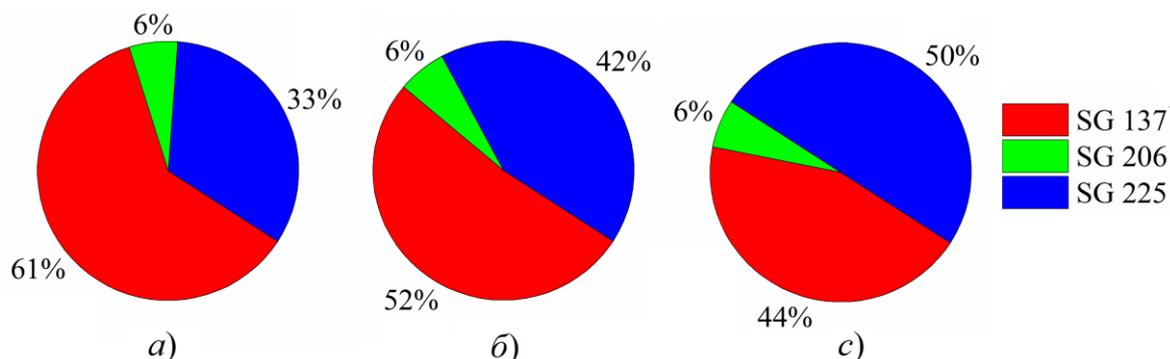


Рис. 2. Фазовый состав керамических образцов:

а) Исходный образец; б) Обработанный образец, $E_p = 135$ Дж/имп., $P_p = 189$ кВт/имп.;в) Обработанный образец, $E_p = 300$ Дж/имп., $P_p = 428$ кВт/имп.

Заключение

Проведены исследования обработки керамических образцов из диоксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия, с помощью импульсного форвакуумного плазменного источника электронов. Установлено, что варьируя параметрами импульсного электронного пучка можно изменять шероховатость поверхности керамики, а также кристаллические фазы керамики.

Работа выполнена при поддержке гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках конкурса FEWM-2024-0006.

Список литературы

1. Федоров П.П., Яроцкая Е.Г. Диоксид циркония. Обзор // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2021. – Т. 23 (2). – С. 169–187.
2. Soon G., Pinguan-Murphy B., Lai K.W., Akbar S.A. Review of zirconia-based bioceramic: Surface modification and cellular response // Ceramics International. – 2016. – V. 42. – P. 12543–12555.
3. Бурдовицин В.А., Климов А.С., Медовник А.В., Окс Е.М., Юшков Ю.Г. Форвакуумные плазменные источники электронов. – Томск: Изд-во ТГУ, 2014. – 288 с.
4. Kazakov A.V., Medovnik A.V., Oks E.M., Panchenko N.A. Broad-beam plasma-cathode electron beam source based on a cathodic arc for beam generation over a wide pulse-width range // Review of Scientific Instruments. – 2020. – V. 91. – Art. No. 093304.

УДК 621.391.825

**Двукратное модальное резервирование с переключением
окончаний отказавших каналов**

С.Р. Морозов

Научный руководитель: профессор, д.т.н. Т.Р. Газизов
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050
E-mail: pred11072@yandex.ru

Double modal reservation with switching of the ends of failed channels

S.R. Morozov

Scientific Supervisor: Prof., PhD. T.R. Gazizov
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenin str. 40, 634050
E-mail: pred11072@yandex.ru

Abstract. *The results of an analysis of the possibilities for improving the characteristics of a structure with double modal reservation are presented. The results show that the use of arbitrary boundary conditions can provide an additional reduction in the interference by an amount from 2 to 3,5 %.*

Key words. *Electromagnetic compatibility, modal filtering, modal reservation.*

Введение. При создании печатных плат (ПП) радиоэлектронной аппаратуры, должно уделяться большое внимание электромагнитной совместимости (ЭМС) и функциональной безопасности электронных схем [1]. Существует ряд способов повышения функциональной безопасности, одним из которых является резервирование. Однако, от воздействия систематических электромагнитных помех (ЭМП) резервирование не защищает, так как при отказе резервируемой системы откажет и резервная система.

Большую опасность для РЭА представляют сверхкороткие импульсы (СКИ), несущие большую энергию при малой длительности. Для предотвращения их влияния используется модальная фильтрация [2]. Разработан и используется подход к компоновке и трассировке резервируемых проводников системы с холодным резервированием, называемый модальным резервированием (МР). Его особенностью является реализация модальной фильтрации за счет использования сильной электромагнитной связи между проводниками [3].

Исследования структур с МР показали, что с последовательными отказами компонентов на концах резервируемых проводников имеет значение порядок переключения на резервные каналы [4]. Так, в случае отказа, моделируемого коротким замыканием (КЗ) или обрывом (ХХ) на одном из концов резервируемой цепи, после переключения на резервную цепь максимальное напряжение импульсов разложения на выходе изменяется как в большую, так и в меньшую стороны. Тогда, дополнительного ослабления помехи возможно достичь за счет переключения окончаний пассивных линий в состояние КЗ или ХХ, что ранее не исследовалось.

Цель работы – рассмотреть возможность переключения окончаний в структуре с двукратным МР для дополнительного ослабления помехового импульса.

Материалы и методы исследования

На рис. 1а представлена выбранная модель поперечного сечения из [5]. Моделирование выполняется в системе TALGAT [6] без учета потерь в проводниках и диэлектриках. Параметры поперечного сечения: ширина сигнального проводника $w_1 = w_3 = 200$ мкм, $w_2 = 440$ мкм, расстояние между проводниками $s_1 = s_2 = 230$ мкм, толщина проводника

$t = 105$ мкм, толщина диэлектрика $h = 290$ мкм, диэлектрическая проницаемость $\epsilon_r = 4$, длина структуры $l = 1$ м.

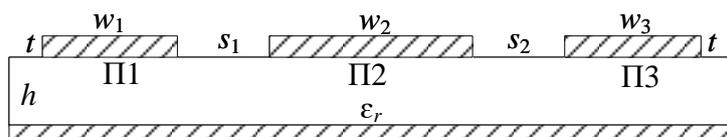


Рис. 1. Поперечное сечение выбранной структуры с двукратным МР

На рис. 2 представлена эквивалентная схема структуры с двукратным МР с устройством переключения (УП) окончаний на ближнем и дальнем концах структуры и источника сигнала до и после отказа. УП представляют собой 2 блока по 3 однополюсных трёхпозиционных переключателя на ближнем и дальнем концах структуры, соответственно. Они позволяют переключать окончания на ближнем и дальнем концах пассивных проводников. УП источника сигнала состоит из 3 многопортовых переключателя Т типа. За счет трех рабочих состояний (50 Ом, ХХ и КЗ), переключатели позволяют подключить источник сигнала к нужному проводнику. Устройство управления резервированием позволит управлять УП. Так после отказа время переключения занимает от долей до единиц секунд. Параметры источника воздействия имели следующие характеристики: форма импульса – трапецевидная; время нарастания, спада и плоской вершины – 10 пс; амплитуда ЭДС – 2 В. Значения нагрузок $R1-R6$ взяты равными 50 Ом. КЗ задавалось значением нагрузки 10^{-6} Ом, а ХХ – 10^6 Ом.

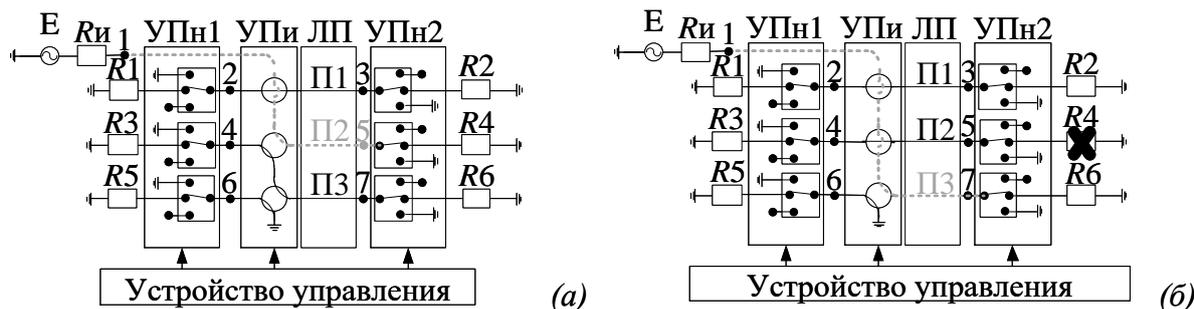


Рис. 2. Эквивалентная схема структуры с двукратным МР с УП нагрузок на ближнем и дальнем концах (УПН1 и УПН2) и источника сигнала (УПи) до (а) и после отказа (б)

Результаты

На рис. 3 представлены зависимости U_{\max} от номера отказа в вариантах схем без и с переключаемой нагрузкой. Видно, что до отказов переключение нагрузки не целесообразно, так как при всех возможных вариантах переключения, U_{\max} больше, чем без него. Однако после отказов, появляются варианты, обладающие меньшим U_{\max} . В табл. 1 представлены варианты измененных нагрузок, при которых удастся достичь наименьших значений амплитуд.



Рис. 3. Зависимости U_{\max} от номера отказа при стандартном переключении (—) и при переключении с изменяемой нагрузкой пассивных линий (---)

Варианты переключенных нагрузок, обладающих наименьшей амплитудой

После отказа 1			После отказа 2				
№	1	2	№	3	4	5	6
П2	50-XX	50-XX	П1	50-XX	50-XX	50-XX	50-XX
П3	50-XX	XX-XX	П2	50-XX	XX-XX	К3-50	К3-XX
$U, В$	0,471	0,457	$U, В$	0,471	0,471	0,479	0,471

U_{\max} для структуры без изменяемой нагрузки до, после отказов 1 и 2 равны 0,491, 0,49 и 0,504 В соответственно. Всего рассмотрен 61 возможный вариант граничных условий (27 до, 18 после отказа 1 и 16 после отказа 2). После отказа 1 наблюдается 2 варианта граничных условий, амплитуда которых на 2 и 3,5 % меньше соответственно, чем в схеме без изменяемой нагрузки. После отказа 2 есть 4 варианта граничных условий, амплитуда которых на 3,38, 3,38, 2,54 и 3,38 % меньше соответственно, чем без изменяемой нагрузки.

Заключение

Выполнен анализ возможностей улучшения характеристик структуры за счет изменения граничных условий. Рассмотрены значения U_{\max} при всех вариантах граничных условий. Обнаружено, что при 2 вариантах после отказа 1 и при 4 вариантах после отказа 2, возможно уменьшить максимальное значение помехового импульса на 2–3,5 %. Это означает, что в ПП с двукратным МР, где требуется максимальное ослабление помехи, возможно использовать структуру с переключаемой нагрузкой.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда №20-19-00446-П, (<https://rscf.ru/project/20-19-00446/>) в ТУСУРе.

Список литературы

- ГОСТ Р МЭК 61508-1—2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Общие требования. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 58 с.
- Gazizov A.T., Zabolotsky A.M., Gazizov T.R. UWB pulse decomposition in simple printed structures // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2016. – Vol. 58, № 4. – P. 1136–1142.
- Шарафутдинов В.Р., Газизов Т.Р. Анализ способов резервирования на основе модальной фильтрации // Системы управления, связи и безопасности. – 2019. – № 3. – С.117–144.
- Belousov A. O., Medvedev A. V., Chernikova E. B., Gazizov T. R., Zabolotsky A. M. Switching order after failures in symmetric protective electrical circuits with triple modal reservation // Symmetry. – 2021. – Vol. 13, № 6. – Iss. 1074. – P. 1–22.
- Morozov S. R., Medvedev A. V. Simulating an Asymmetric Structure with Double Modal Reservation // 2023 IEEE XVI International Scientific and Technical Conference Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE) – Novosibirsk : IEEE: 2023. – P. 610–613.
- Kuksenko S.P. Preliminary results of TUSUR University project for design of spacecraft power distribution network: EMC simulation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 560. – P. 1–7.

Влияние шлейфов между проводниками двух связанных линий передачи на значения дальней перекрестной помехи

М.С. Мурманский

Научный руководитель: к.т.н. Е.С. Жечев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: mihailmurmanskii@gmail.com

The influence of fingers between conductors of two coupled transmission lines on the values of far-end crosstalk

M.S. Murmanskii

Scientific Supervisor: Ph.D Y.S. Zhechev

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenin str. 40, 634050,

E-mail: mihailmurmanskii@gmail.com

***Abstract.** The influence of fingers on frequency and time characteristics of two coupled transmission lines is investigated. Electrodynamics simulation was performed in the frequency range from 10 MHz to 10 GHz. It is shown that the use of fingers reduces the value of far-end crosstalk. Also the use of fingers increases the cutoff frequency by 300 MHz. The frequency range in which the long-range crosstalk does not exceed -20 dB has increased by 310 MHz.*

***Keywords:** N-norms, far-end crosstalk.*

Введение

Для уменьшения значений дальней перекрестной помехи применяют различные способы и методы модификаций микрополосковых линий передачи. Так, например, используют близко расположенные проводники и витки схемы трассировки проводников в виде меандра [1]. Дополнительно к этому применяют утолщение паяльной маски и U-образные отводы на пассивной линии [2]. Так же, используют шлейфы между межсоединениями, которые изменяют собственные значения матриц электростатической и магнитной индукции, что приводит к уменьшению значений дальней перекрестной помехи [3]. Однако ранее не было исследовано влияние шлейфов между проводниками двух связанных линий передачи.

Таким образом цель данной работы – исследовать влияние шлейфов между проводниками двух связанных линий передачи на значения дальней перекрестной помехи во временной и частотной областях.

Экспериментальная часть

В качестве среды моделирования использована система квазистатического анализа TAlGAT [4]. В качестве объекта исследования выбрана структура из [1], состоящая из двух связанных линий передачи, свернутых в меандр. На рис. 1 представлены её используемые шлейфы, поперечное сечение и эквивалентная схема включения.

Параметры поперечного сечения: ширина проводников $w = 0,5$ мм, толщина проводников $t = 0,018$ мм, расстояние между проводниками $s = 0,15$ мм, расстояние между парами $d = 0,15$ мм, высота диэлектрической подложки $h = 0,25$ мм, общая длина проводников $l = 250$ мм. В качестве диэлектрической подложки использован СВЧ ламинат RO4350B с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r = 3,66$ и тангенсом угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta = 0,018$. Параметры используемых шлейфов: расстояние между шлейфами $s_1 = 0,05$ мм, ширина шлейфов $w_1 = 0,05$ мм, длина шлейфов $l_1 = 0,075$ мм.

Номиналы резисторов составили 50 Ом. В качестве помехового воздействия выбран Гауссов импульс с частотным спектром от 0 до 6 ГГц. Для анализа сигналов во временной области использованы N -нормы [5]. На рис. 2 представлен гауссов импульс во временной области и его спектральная плотность напряжения.

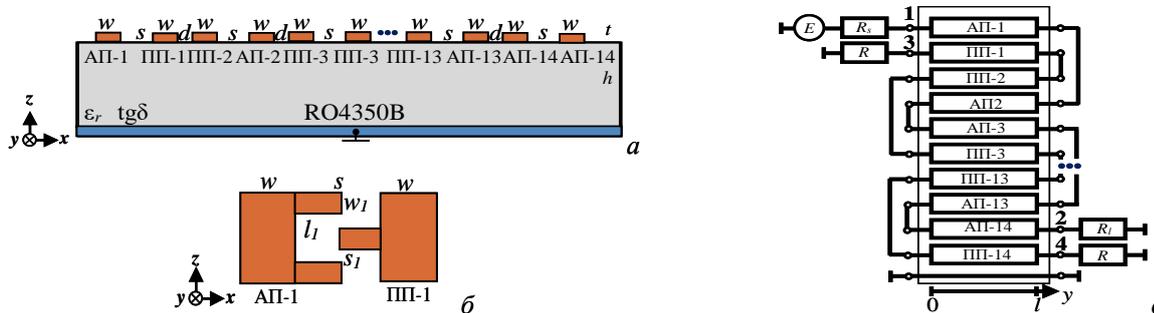


Рис. 1. Используемые шлейфы (а), поперечное сечение (б) и эквивалентная схема включения (в) исследуемой структуры

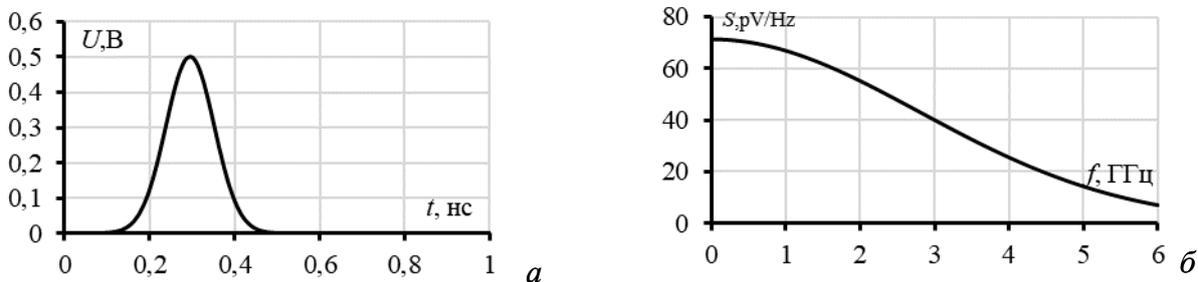


Рис. 2. Гауссов импульс во временной области (а) и его спектральная плотность напряжения (б)

Результаты

Выполнен анализ влияния шлейфов на частотные зависимости модулей коэффициентов передачи $|S_{21}|$ и $|S_{41}|$ (рис. 3).

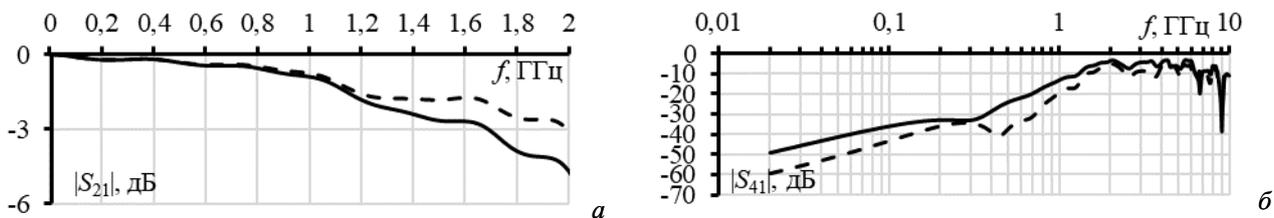


Рис. 3. Частотные зависимости $|S_{21}|$ (а) и $|S_{41}|$ (б) с использованием шлейфов (--) и без них (—)

Из рис.3а видно, что использование шлейфов увеличивает значение частоты среза с 1,7 до 2 ГГц. Из рис.3б видно, что использование шлейфов повышает диапазон частот в котором $|S_{41}|$ не превышает минус 20 дБ на 320 МГц. На рис. 4 показан временной отклик, вычисленный в порту 4 при использовании шлейфов и без них.

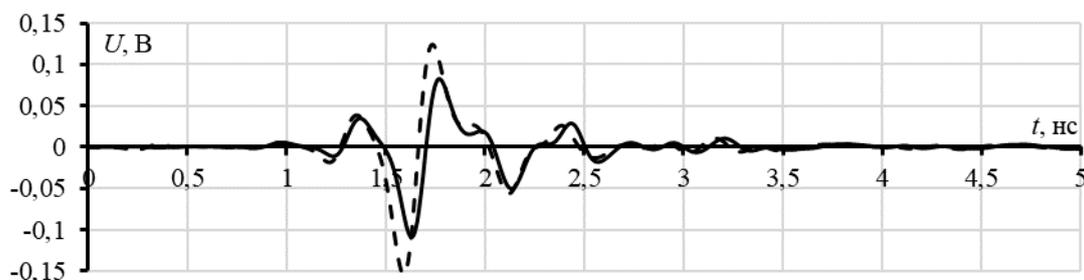


Рис. 4. Формы напряжения дальней перекрестной помехи при использовании шлейфов (--) и без них (—)

Из рис. 4 видно, что использование шлейфов позволяет снизить значение дальней перекрестной помехи во временной области с 1,52 до 0,109 В.

В табл. 1 приведены значения вычисленных N -норм временных откликов в 4 порту.

Таблица 1

Вычисленные значения N -норм временных откликов в 4 порту

Структура	N_1	$N_2 \cdot 10^9$	$N_3 \cdot 10^{-18}$	$N_4 \cdot 10^{-11}$	$N_5 \cdot 10^{-6}$
с шлейфами	0,109	2,276	5,315	4,806	1,442
без шлейфов	0,154	3,186	18,888	6,221	2,022

Из табл. 1 видно, что использование шлейфов позволяет уменьшить значение N_1 в 1,41 раза, а также ослабить значения N_2 в 1,39 раза, N_3 – 3,55 раз, N_4 в 1,294 раза и N_5 в 1,402 раза.

Заключение

Таким образом, использование шлейфов между проводниками двух связанных линий передачи позволяет уменьшить значение дальней перекрестной помехи в 4 порту в 1,41 раза. Выявлено, что использование шлейфов повышает диапазон частот в котором $|S_{41}|$ не превышает уровень минус 20 дБ на 330 МГц. Так же выявлено, что использование шлейфов увеличило частоту среза на 300 МГц.

Исследование выполнено в рамках проекта FEWM-2024-0005 Минобрнауки России.

Список литературы

1. Zhechev Y.S. Routing Technique for Microwave Transmission Lines to Ensure UWB Interference Immunity // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2023. – Vol. 71. – P.5304–5316.
2. Lin Z. Sensitivity Analysis of Local Soldermask and Coverlay in High Speed Transimission Lines for DDR5 Applications to Reduce FEXT // IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility & Signal/Power Integrity. – Reno: IEEE, 2020. – P. 586–590.
3. Ge J. High Performance Interconnects with Reduced Far-End Crosstalk for High-Speed ICs and Communication Systems // IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology. – 2023. – Vol. 13. – P. 1013–1020.
4. Kuksenko S.P., Gazizov T.R., Zabolotsky A.M., Ahunov R.R., Surovtsev R.S., Salov V.K. and Lezhnin E.V. New developments for improved simulation of interconnects based on method of moments // Proceedings of the 2015 International conference on modelling, simulation and applied mathematics. – Phuket: Atlantis Press, 2015. – P. 1–8.
5. Baum C.E. Norms and eigenvector norms // Math. Notes. – 1979. – Vol. 63. – P. 1–42.

**Влияние числа витков модального фильтра
на его частотные и временные характеристики**

М.С. Мурманский

Научный руководитель: к.т.н., Е.С. Жечев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: mihailmurmanskii@gmail.com

The influence of turns number of modal filter on its frequency and time characteristics

M.S. Murmanskii

Scientific Supervisor: Ph.D., Y.S. Zhechev

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenin str., 40, 634050

E-mail: mihailmurmanskii@gmail.com

Abstract. In this paper, the effect of changing the number of modal filter turns on the time and frequency characteristics is investigated. It is found that changing the number of turns from 3 to 11 increases the far-end crosstalk (FEXT) at a level of minus 20 dB at 210 MHz. Also the cutoff frequency increases by 45 MHz.

Keywords: modal filter, N-norms.

Введение

Современные радиотехнические системы подвержены влиянию сверхширокополосных (СШП) и узкополосных (УП) электромагнитных помех (ЭМП) [1]. Для подавления СШП и УП ЭМП используют различные частотно-селективные устройства, такие как [2–4]. В том числе к способам защиты от СШП и УП ЭМП можно отнести модальные фильтры (МФ) [5]. В статье [6] предлагается использование близкой трассировки проводников и пар проводников, для достижения максимального помехоподавления. А также увеличения частоты дальней перекрестной помехи по уровню -20 дБ. Однако в этой статье не было исследовано влияние числа витков МФ на его частотные и временные характеристики. Таким образом, цель работы – исследовать влияние числа витков МФ на его частотные и временные характеристики.

Экспериментальная часть

В качестве среды моделирования использована система квазистатического моделирования TALGAT. В качестве объекта исследования выбран МФ из [7], на рисунке 1 и 2 представлены поперечное сечение и эквивалентная схема включения которого изменялось с 3 до 11.

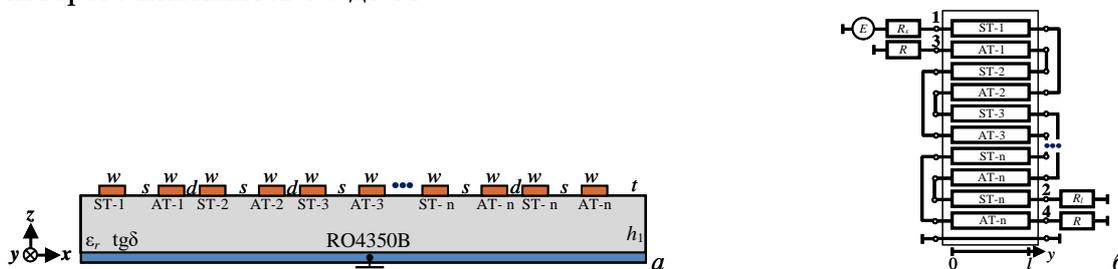


Рис. 1. Поперечное сечение и эквивалентная схема исследуемого МФ

Параметры поперечного сечения МФ: ширина проводника $w = 0,5$ мм, толщина проводников $t = 0,018$ мм, расстояние между проводниками $s = 0,15$ мм, расстояние между

парами $d = 0,15$ мм, высота диэлектрической подложки $h = 0,25$ мм, общая длина проводников $l = 1000$ мм. В качестве диэлектрической подложки использован СВЧ ламинат RO4350B с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r = 3,66$ и тангенсом угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta = 0,018$. Номиналы резисторов составили 50 Ом. В качестве помехового воздействия выбран Гауссов импульс с частотным спектром 0–6 ГГц. На рисунке 2 представлен гауссов импульс во временной области и его спектральная плотность напряжения. Для анализа сигналов во временной области использованы N -нормы [9].

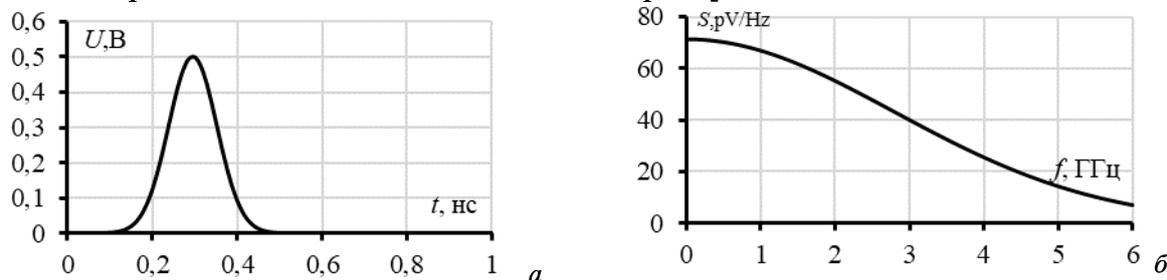


Рис. 2. Гауссов импульс во временной области (а) и его спектральная плотность напряжения (б)

Результаты

Выполнен анализ выходных откликов во 2 порту. В таблице 1 представлены результаты вычисленные N -нормы и значения дальней перекрестной помехи в частотной области ($|S_{(4,1)}|$ (по уровню минус 20 дБ)) и значения частоты среза.

Таблица 1

Значения N -норм, частоты среза и дальней перекрёстной помехи (по уровню минус 20 дБ)

Число витков	N_1	$N_2 \cdot 10^8$	$N_3 \cdot 10^{-11}$	$N_4 \cdot 10^{-11}$	$N_5 \cdot 10^{-6}$	$ S_{41}, \text{дБ} $ (ГГц) (- 20 дБ)	$f_{\text{ср}}$ (ГГц)	Размеры (мм)
3	0,099	9,865	7,002	9,23	2,040	0,1	0,345	333x3,75
5	0,094	6,328	6,992	10,21	2,017	0,145	0,27	200x6,35
7	0,089	5,910	6,989	11,05	2,038	0,21	0,3	142x8,95
9	0,092	5,463	6,988	11,81	2,059	0,26	0,360	111,11x11,55
11	0,097	4,968	7,002	12,2	2,089	0,31	0,4	90x14,15

Из таблицы 1 видно, что увеличение числа витков с 3 до 11 уменьшает значение N_1 в 0,02 раза, а также N_2 в 1,98 раз. Незначительное увеличение значения N_4 в 1,32 раза вызвано наличием дополнительных переотражений. Так же из таблицы 1 видно, что при увеличении числа пар проводников значение дальней перекрестной помехи (по уровню минус 20 дБ) увеличивается на 200 МГц и частота среза увеличивается на 55 МГц. Дополнительно к этому удалось уменьшить габариты платы МФ с 333x3,75 до 90x14,15 мм.

На рисунке 3 представлены временные отклики в порту 2, полученные для МФ состоящего из 3 и 11 витков. Также приведены частотные зависимости коэффициента передачи и значения дальней перекрестной помехи. Видно, что увеличение числа витков приводит, к возрастанию количества резонансов и увеличению частоты дальней перекрестной помехи (по уровню минус 20 дБ) на 210 МГц.

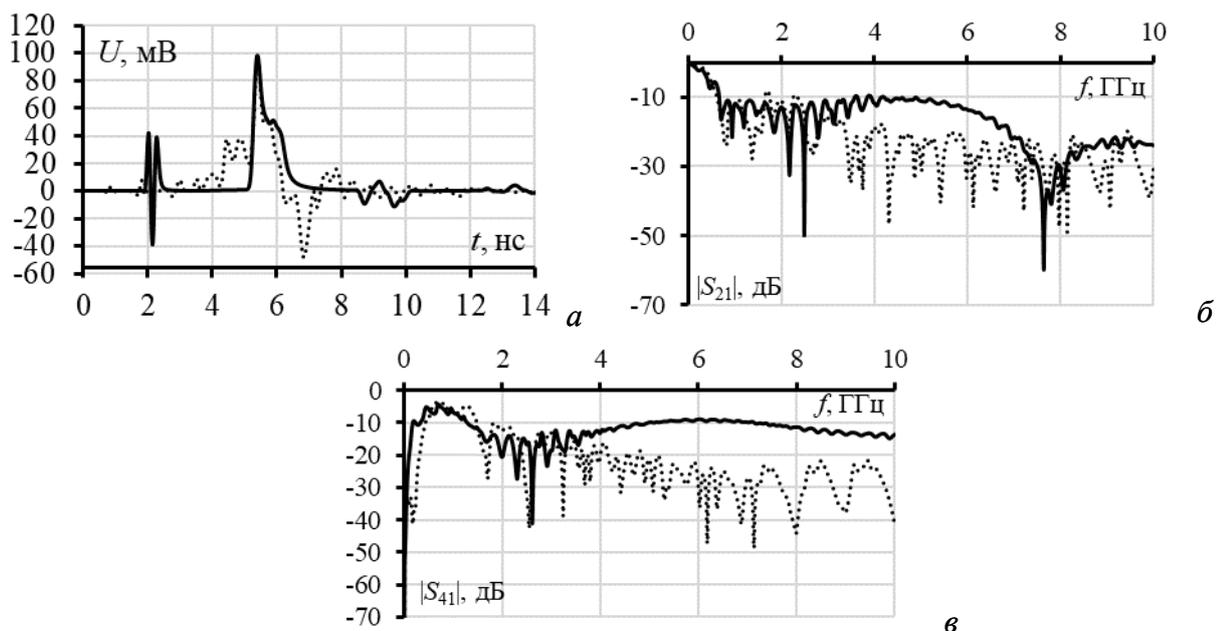


Рис. 3 Временной отклик в 2 порту для 3 (—) и 11 (⋯) пар проводников МФ, значения ($|S_{21}|$, дБ) для 3 и 11 пар, ($|S_{41}|$, дБ) для 3 и 11 пар проводников

Заключение

Выявлено, что увеличение числа витков МФ приводит к увеличению частоты дальней перекрёстной помехи (по уровню минус 20 дБ) на 210 МГц и увеличению частоты среза на 55 МГц. Выявлено, что возрастание числа витков позволяет уменьшить значение N_1 и N_2 в 0,02 и 1,98 раз соответственно.

Исследование выполнено в рамках проекта FEWM-2024-0005 Минобрнауки России.

Список литературы

1. Balzovsky E.V., Lysykh P.M. Investigation of the effect of the summation of monopolar pulses of individual generators for a bipolar UWB pulse formation // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 2140, № 1. – P. 012008.
2. Maghlakelidze G. et al. Effect of RF signals on TVS diode trigger voltage for ESD protection // 2020 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility & Signal/Power Integrity (EMCSI). – Reno: IEEE, 2020. – P. 194–199.
3. Damnjanović M., Babković K., Kisić M. EMI and EMC in Electronics Course at the FTS, University of Novi Sad // 2023 22nd International Symposium on Power Electronics (Ee). – Novi Sad: IEEE, 2023. – Vol 1. – P. 1-6.
4. Sagiyeva I. Y. et al. Modal Filters Based on a Microstrip Line with Overhead Conductors Grounded at Both Ends // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2023. – Vol. 65, № 5. – P. 1371-1378.
5. Nosov A.V., Surovtsev R.S. Revealing new possibilities of ultrashort pulse decomposition in a turn of asymmetrical meander delay line // 2020 21st International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM). – Chemal: IEEE, 2020. – P. 149-153.
6. Zhechev Y.S. et al. Routing Technique for Microwave Transmission Lines to Ensure UWB Interference Immunity // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2023. – Vol. 71, № 12. – P. 5304–5316.
7. Baum C.E. Norms and eigenvector norms // Math. Notes. – 1979. – Vol. 63. – P. 1–42.

**Кремний-углеродные покрытия,
полученные электронно-лучевым испарением карбида кремния
Л.Ж. Нгон А Кики**

Научный руководитель: профессор, д.т.н. В.А. Бурдовицин
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина 40, 634050.

E-mail: burdov@fet.tusur.ru

**Silicon-carbon coatings,
obtained by electron beam evaporation of silicon carbide**

L.J. Ngon A Kiki

Scientific Supervisor: Prof., Dr. V.A. Burdovitsin
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenin str., 40, 634050

E-mail: burdov@fet.tusur.ru

Abstract. *Silicon-carbon coatings were prepared by electron beam evaporation of silicon carbide in argon atmosphere. It has been shown that the properties of coatings are largely determined by deposition rate, which in turns depends on beam power.*

Key words: *silicon carbide, electron beam evaporation, silicon-carbon coatings deposition.*

Введение

Тонкопленочные кремний-углеродные покрытия обладают уникальными механическими, электрическими и оптическими свойствами [1], что обуславливает неослабевающий интерес как к самим покрытиям, так и к методам их осаждения [2]. К наиболее распространенным на сегодняшний день методам относятся плазмохимические и электрохимические методы, основанные на использовании металлоорганических прекурсоров [3]. Основная проблема использования таких методов заключается в повышенных требованиях к безопасности, поскольку ядовиты как сами металлоорганические соединения, так и продукты их разложения. Альтернатива заключается в использовании вакуумных методов, состоящих в распылении или испарении твердых мишеней. Наиболее подходящая для таких операций мишень - керамика на основе порошка карбида кремния. Использование такой мишени для ВЧ-магнетронного или ионного распыления позволяет получать пленки приемлемого качества, однако скорость осаждения не превышает сотен нанометров в минуту и, кроме того, при любых видах ионного распыления неизбежно попадание в осаждаемое покрытие продуктов распыления элементов реактора. Это затрудняет контролирование состава покрытия. Электронно-лучевое испарение позволяет добиться больших скоростей осаждения при достижении удовлетворительных механических свойств [4]. Цель настоящей работы – исследование оптических свойств покрытий.

Экспериментальная часть

Для проведения эксперимента использовалась установка, изображенная схематически на рис. 1. Создание электронного пучка осуществлялось форвакуумным электронным источником 1, размещенным на верхнем фланце вакуумной камеры 2, изготовленной из немагнитной нержавеющей стали. Электрическое питание разрядного и ускоряющего промежутков источника производилось выпрямителями U_d и U_a соответственно. В качестве рабочего газа использовался аргон, напускаемый в камеру. Сфокусированный магнитной линзой 3 электронный пучок 4 направлялся на мишень 5, спеченную из порошка карбида кремния и размещенную в графитовом тигле 6. Испаряющийся из мишени 5 материал попадал

на подложку 7, закрепленную в нагреваемом держателе, оснащенной термопарой 8. Определение скорости испарения карбида кремния производилось путем взвешивания мишени до и после испарения. Для анализа свойств осаждаемых пленок производилось измерение спектров пропускания в видимом диапазоне. В этом случае осаждение пленок производилось на стеклянные подложки. Толщина покрытий измерялась с помощью микроинтерферометра МИИ-4. Измерения состава пленок производилось на растровом электронном микроскопе Quanta 200 3D, оснащенной системой энергодисперсионного анализа PEGASUS.

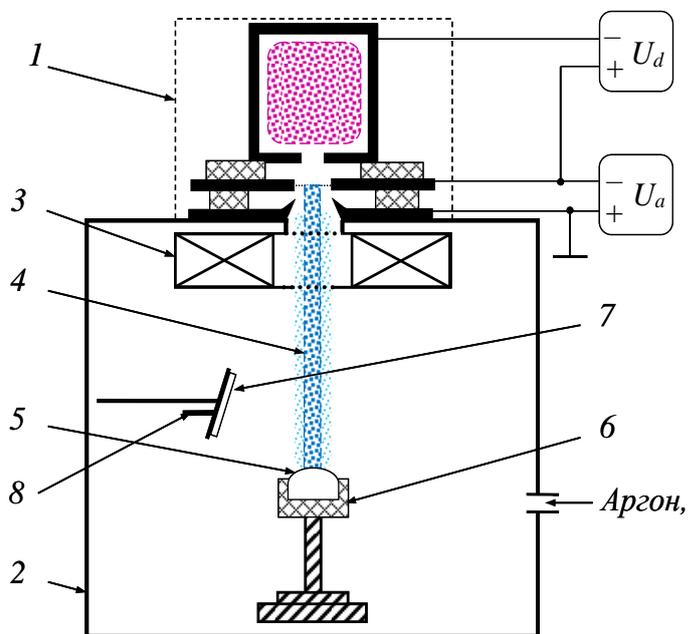


Рис. 1. Схема установки

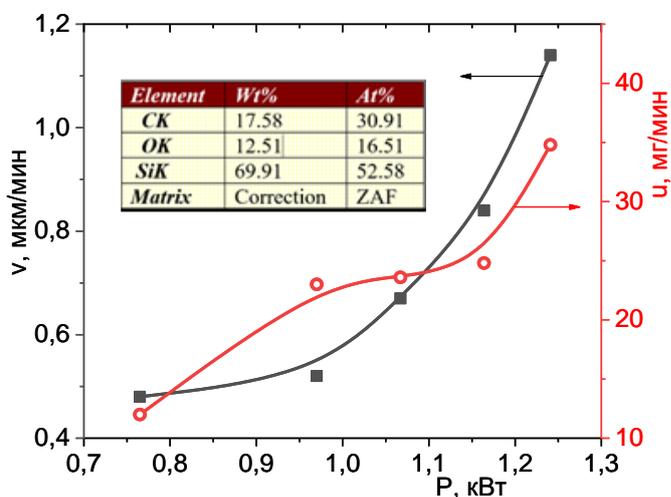


Рис. 2. Скорости испарения v и осаждения u как функции мощности электронного пучка

Результаты

На рис. 2 представлены скорость испарения карбида кремния, а также скорость осаждения кремний-углеродного покрытия в зависимости от мощности электронного пучка.

На спектрах пропускания в видимой области наблюдается четко выраженный край собственного поглощения. Поскольку зависимость коэффициента поглощения от энергии кванта света не спрямляется ни в одних из известных координат, за положение края собственного поглощения принималась длина волны, определяемая по пересечению касательной к соответствующей области спектра с горизонтальной шкалой длин волн, соответствующей нулевому пропусканию. Приведенные на рис. 3 значения ширины оптической щели близки к величине 2 эВ, характерной для аморфного карбида кремния [5]. Экспериментальные кривые показывают смещение края собственного поглощения пленок в сторону больших длин волн с увеличением мощности электронного пучка. Объяснение указанной зависимости может быть найдено с учетом состава покрытия, показанного на вкладке к рис. 2. Как можно заметить, покрытие содержит не только кремний и углерод, но и кислород. Возможный источник кислорода – остаточная

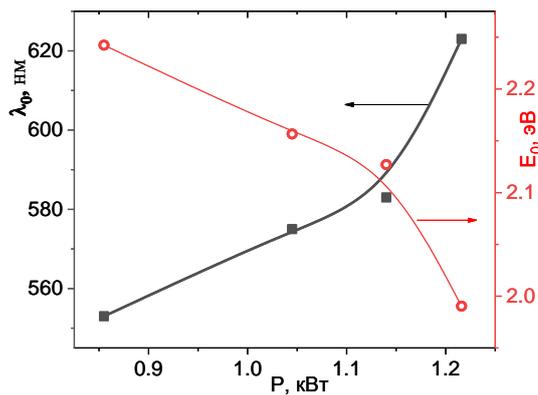


Рис. 3. Положение края собственного поглощения в зависимости от мощности электронного пучка

атмосфера вакуумной камеры. Поскольку с повышением мощности пучка возрастает скорость осаждения, то меньшее количество испаренного материала успевает прореагировать с кислородом, содержащимся, скорее всего, в парах воды, неизбежно присутствующих в вакуумной камере.

Заключение

Электронно-лучевое испарение карбида кремния в аргоне позволяет осаждать кремний-углеродные покрытия со скоростями порядка одного микрометра в минуту, приемлемыми для технологического применения. Помимо кремния и углерода покрытия содержат кислород, что обусловлено наличием паров воды в вакуумной камере. Значения ширины оптической щели осаждаемых покрытий близки к величинам, сообщаемым в литературных источниках.

Работа поддержана грантом № 24-29-00392 Российского научного Фонда.

Список литературы

1. Bunton G.V. Some properties of silicon carbide thin films prepared by electron beam evaporation // J. Phys. D: Appl. Phys. – 1970. – Vol. 3. – P. 232–235.
2. Ghica C., Ristoscu C., Socol G., Brodoceanu D., Nistor L.C., Mihailescu I.N., Klini V, Fotakis C. Growth and characterization of b-SiC films obtained by fs laser ablation // Applied Surface Science. – 2006. – Vol. 252. – P. 4672–4677.
3. Гренадеров А.С., Оскомов К.В., Соловьев А.А., Работкин С.В. Осаждение кремний-углеродных покрытий из плазмы несамостоятельного дугового разряда с накальным катодом // Журнал технической физики. – 2016. – Т. 86, В. 5. – С. 51–56.
4. Zolotukhin D.B., Kazakov A.V., Oks E.M., Tyunkov A.V., Yushkov Yu.G. Electron beam synthesis of silicon-carbon coatings in the forevacuum pressure range // Ceramics International. – 2022. – Vol. 48, Iss. 10, – P. 13890–13894.
5. Tehrani F.S., Fakhredin M., Tafreshi M.J. The optical properties of silicon carbide thin films prepared by HWCVD from pure silane and methane under various total gas partial pressure // Mater. Res. Express. – 2019. – Vol. 6. – P. 086469.

**Разработка программного модуля
для моделирования разреженных рупорных антенн в системе TALGAT**

М.Т. Нгуен, А.Ф. Алхадж Хасан

Научный руководитель: профессор, д.т.н. Т.Р. Газизов
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050
E-mail: nguyen.t.2213-2022@e.tusur.ru

**Development of a software module
for modeling sparse horn antennas in the TALGAT system**

M.T. Nguyen, A.F. Alhaj Hasan

Scientific Supervisor: Prof., Dr. T.R. Gazizov
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenin str., 40, 634050
E-mail: nguyen.t.2213-2022@e.tusur.ru

Abstract. *In this study, we have developed and presented a software module with GUI to simplify the process of modeling sparse horn antennas using wire grid in the TALGAT system. This module allows to set the geometrical parameters of the horn structure, the number of wire grid elements and the excitation source. In addition, it also allows setting parameters to create different sparse antennas with controlled accuracy of the antenna characteristics. In addition, this module allows to select among different numerical integration methods to calculate the impedance matrix and then the basic characteristics of the antenna at a specific operating frequency or frequency band. To demonstrate the operability of the software module, a horn antenna from another work was selected as an example. The results showed that the software module can easily generate sparse antennas and accurately calculate their main characteristics.*

Key words: *Wire-grid, sparse antennas, horn antenna, method of moments, optimal current grid approximation, TALGAT system.*

Введение

В настоящее время разработка новых облегченных моделей антенн с меньшим массой и размерами необходима для улучшения функциональности радиосвязи и удовлетворения высоких требований, предъявляемых к современным радиоэлектронным устройствам. Поскольку соответствие таким требованиям может повлиять на основные характеристики антенны, необходимо создавать их специфические модели и тщательно исследовать их. Одним из наиболее испытанных методов моделирования является метод моментов (МоМ). [1]. Благодаря простоте своего алгоритма, он может достаточно точно вычислить характеристики антенны и при этом, по сравнению с другими методами, занимает меньшее время. Более того, он позволяет разработать на его основе новые подходы, одним из которых является аппроксимация проводящей поверхности антенны с помощью проводной сетки (ПС). [2].

На основе ПС недавно предложена аппроксимация оптимальной токовой сеткой (АОТС) для эффективной генерации разреженных антенн [3]. Она применялась в системе TALGAT для расчета их характеристик. Они отличаются контролируемой точностью характеристик при значительном уменьшении массы. Однако язык программирования этой системы (TALGAT_script) работает только с элементарными командами, создающими простые провода, что усложняет построение сложных структур. Для моделирования сложных конструкций ПС и, тем более, применения на них АОТС, пользователю необходимы хорошие знания геометрии и программирования, что затрудняет его задачу и усложняет сам процесс проектирования разреженных антенн.

Поэтому основной целью данной работы является разработка программного модуля с интуитивно понятным графическим интерфейсом пользователя (ГИП), упрощающего процесс моделирования рупорной антенны ПС и позволяющего создавать разреженные структуры из исходной в системе TALGAT. Данный модуль позволяет задать размер рупора, количество элементов сетки и источник возбуждения и создать разреженную структуру на основе исходной ПС. Кроме того, он позволяет выбирать различные методы расчета матрицы импеданса и основных характеристик антенны с контролируемой точностью на определенной частоте или в диапазоне частот.

Экспериментальная часть

Для достижения цели данной работы выбран язык программирования высокого уровня Python, благодаря его универсальности и эффективности в разработке интерфейсных программных модулей, а также богатым и разнообразным библиотекам. Из них использованы Tkinter, Matplotlib и Openrukl. Они позволяют удобно и быстро создать ГИП с множеством доступных функций, окон, виджетов и действий, предоставляя мощные инструменты для эффективного построения графиков, анализа и визуализации данных. Кроме того, для обеспечения работы с расчетными методами и командами, встроенными в систему TALGAT, использовались библиотеки UTIL, MATRIX, MOMW, MOM2D, RESPONSE и GRAPH. Структурная схема программного модуля включает в себя три подмодуля: настройки параметров антенны, исходной и разреженной антенны. На основе этой схемы построен ГИП, представленный на рис. 1. Для упрощения работы с модулями ГИП создан в одном окне.

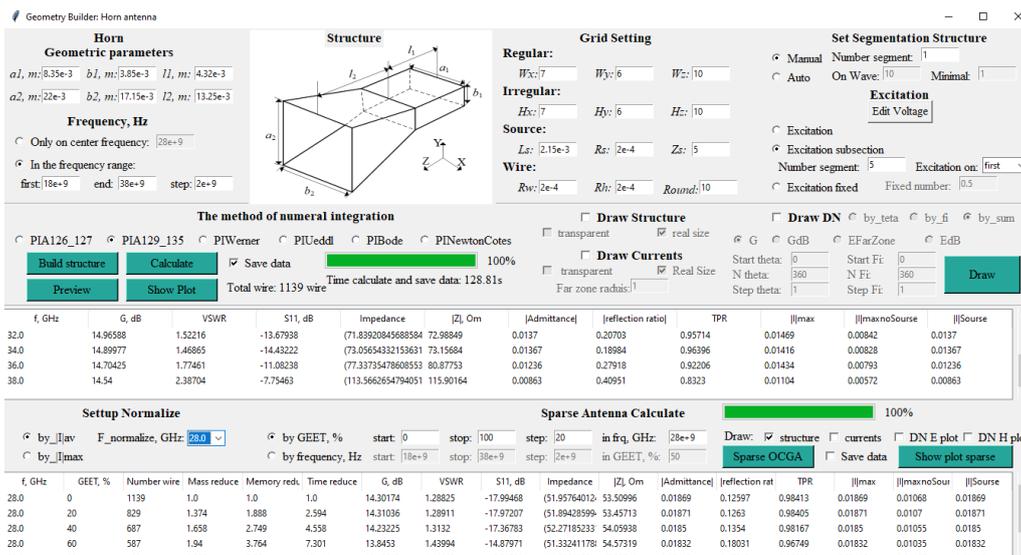


Рис. 1. ГИП программного модуля

Стоит отметить, что подмодуль разреженной антенны позволяет выполнять следующие функции: задать частоту, на которой будут нормироваться токи, нормировать ток по его среднему или максимальному значению, задать значение допуска на удаление элементов сетки (ДУЭС) для получения различных разреженных структур, задать частотный диапазон для расчета характеристик разреженной структуры, полученной при выбранном значении ДУЭС, рассчитать и показать характеристики разреженной антенны и графически продемонстрировать зависимость полученных данных от частоты или ДУЭС.

Результаты

Для тестирования работоспособности ГИП в качестве примера выбрана рупорная антенна из работы [4]. При нажатии кнопки «Build structure» построилась исходная структура из ПС с использованием 1139 проводов. После нажатия кнопки «Calculate» начинается

процесс расчета основных характеристик рупорной антенны и сведения полученных данных в таблицу, сопровождающийся отображением стадии расчета на индикаторе с указанием процента выполнения (рис. 1). Кроме того, отображается время расчета и сохранения данных, которое в данном примере составило 128,81 с. При нажатии на кнопку «Show plot» отображаются зависимости основных характеристик антенны от частоты. Анализируя полученные данные, можно определить структуру, удовлетворяющую заданным требованиям. После нажатия кнопки "Sparse OCGA" модули тока в проводах сетки на частоте 28 ГГц нормировались относительно их среднего значения. Затем генерировались разреженные структуры (при ДУЭС от 0 до 100 % с шагом 20 %), диаграммы направленности (ДН) которых показаны на рис. 2. Полученные результаты демонстрируют работоспособность программного модуля при создании разреженных антенн с контролируемой точностью характеристик.

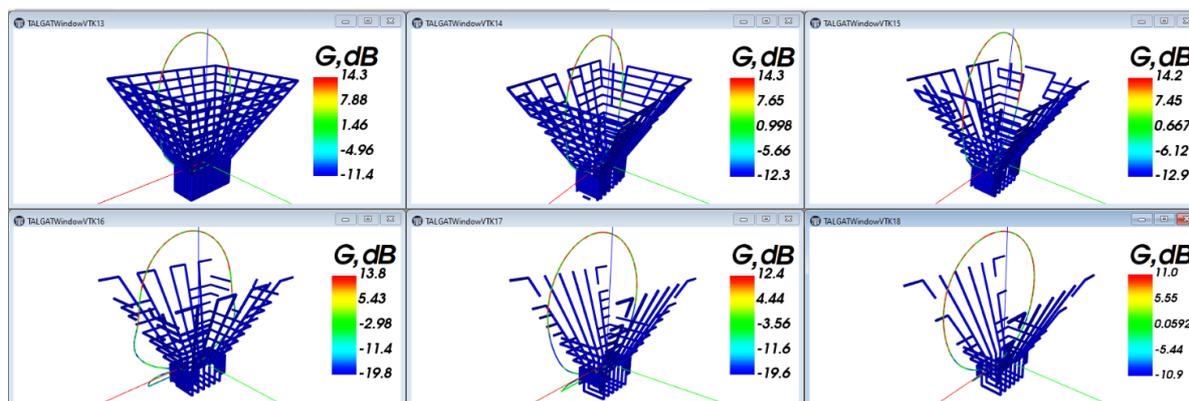


Рис. 2. Полученные ДН разреженной структуры при различных значениях ДУЭС

Заключение

Таким образом, разработан программный модуль с ГИП. Модуль позволяет значительно упростить процесс моделирования рупорных антенн ПС в системе TALGAT и создавать разреженные структуры антенн из исходной. Его работоспособность показана на примере рупорной антенны из литературы. Разреженные антенны создавались с помощью АОТС при различных ДУЭС. Благодаря ГИП пользователи могут быстро проанализировать, оценить и выбрать подходящую разреженную структуру, удовлетворяющую их требованиям. Дальнейшая работа направлена на развитие данного программного модуля и расширение его возможностей в части моделирования различных типов разреженных антенн.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России по проекту FEWM-2023-0014.

Список литературы

1. Квасников А.А., Демаков А.В., Иванов А.А., Клюкин Д.В., Комнатнов М.Е., Куксенко С.П. Система компьютерного моделирования антенн методом моментов // Системы управления, связи и безопасности. – 2022. – № 1. – С. 49-66.
2. Алхадж Хасан А.Ф. Нгуен М.Т., Газизов Т.Р. Моделирование антенн методом моментов: аппроксимация поверхности проводами // Доклады ТУСУР. – 2023. – Т. 26, № 2. – С. 51-71. DOI:10.21293/1818-0442-2023-26-2-51-71.
3. Alhaj Hasan A., Nguyen M.T., Kuksenko S.P., Gazizov T.R. Wire-grid and sparse MoM antennas: Past evolution, present implementation, and future possibilities // Symmetry. – 2023. – Vol. 15, № 2. – P. 378. DOI:10.3390/sym15020378.
4. Helena D., Ramos A., Varum T., Matos J.N. The use of 3D printing technology for manufacturing metal antennas in the 5G/IoT context // Sensors. – 2021. – Vol. 21, № 10. – P. 3321. DOI: 10.3390/s21103321

**Синтез связанных микрополосковых линий передачи
с помощью машинного обучения**

Н.С. Павлов

Научный руководитель: к.т.н. Е.С. Жечев
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050
E-mail: pavlov.n@tu.tusur.ru

Synthesis of coupled microstrip transmission lines using machine learning

N.S. Pavlov

Scientific Supervisor: Ph.D. Y.S. Zhechev
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenin str., 40, 634050
E-mail: pavlov.n@tu.tusur.ru

Abstract. This paper presents the method for synthesizing of geometric parameters of a coupled microstrip transmission line using machine learning. Sets of design parameters were used as input parameters. The synthesis model is a neural network with four hidden layers. The model predicts accurate values of geometric parameters with an average error of about 1 %.

Key words: coupled microstrip line, synthesis, machine learning, neural networks.

Введение

Микрополосковые линии передачи (МПЛ) необходимы для обеспечения работоспособности современных радиоэлектронных устройств (РЭУ). Данные линии используются для обеспечения эффективного распространения сигнала, согласования импеданса и защиты от электромагнитных помех [1]. Для точного проектирования МПЛ необходимо использовать синтез ее параметров [2]. При этом модели машинного обучения (МО) являются одним из наиболее востребованных и актуальных инструментов использующихся при синтезировании подобных структур. Цель работы – выполнить синтез МПЛ с помощью МО.

Материалы и методы исследования

Для синтеза параметров МПЛ использовалась методика из [3], которая заключается в использовании МО и базисных наборов проектных параметров [4]. Для данной работы в качестве входных параметров использовались значения собственного Z_{11} и взаимного Z_{12} волнового сопротивления и значения четной τ_{effe} и нечетной τ_{effo} эффективной погонной задержки. На выходе синтезировались геометрические параметры МПЛ: ширина проводника w , толщина подложки h , расстояние между проводниками s и толщина проводников t . На рис. 1 представлены поперечное сечение МПЛ и ее эквивалентная схема включения.

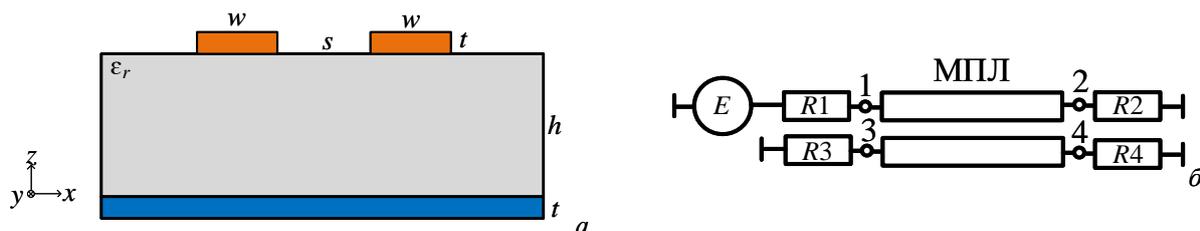


Рис. 1. Поперечное сечение МПЛ (а) и эквивалентная схема включения (б)

Используемая модель нейронной сети имеет последовательно полно-связанную структуру. Модель состоит из входного слоя, четырех скрытых слоев и выходного слоя. Входные и выходные слои имеют по 4 нейрона (сигнала), первый скрытый слой имеет 256 нейронов, второй – 128, третий – 64, четвертый слой – 32. Для программной реализации модели синтеза связанных МПЛ использована среда разработки Jupyter Notebook открытого пакета Anaconda. В качестве языка программирования использовали высокоуровневый язык программирования общего назначения с динамической строгой типизацией и автоматическим управлением памятью Python. Для построения и обучения модели синтеза использовали фреймворк Keras.

На первых двух слоях в качестве функции активации использована функция *ReLU* (Rectified Linear Unit), на двух последних – *ELU* (Exponential Linear Unit). В качестве оптимизатора использован *adam* (adaptive moment estimation) или адаптивная оценка момента с скоростью обучения 0,0005. В качестве функции потерь использована функция *mse* (mean squared error), которая представляет собой среднюю квадратичную ошибку. На рис. 2 представлена архитектура нейронной сети.

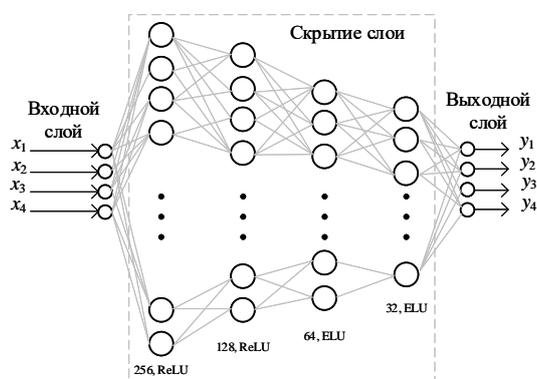


Рис. 2. Архитектура нейронной сети

Перед обучением модели проведена нормализация данных. Данный процесс необходим для того, чтобы преобразовать данные к неким безразмерным величинам. Обучение проводилось с помощью центрального процессора AMD Ryzen 9 7900X, количество эпох составило 20000, а время обучения 14 мин. и 11 сек. На рис. 3 представлена зависимость метрики средней абсолютной ошибки *mae* от количества эпох.

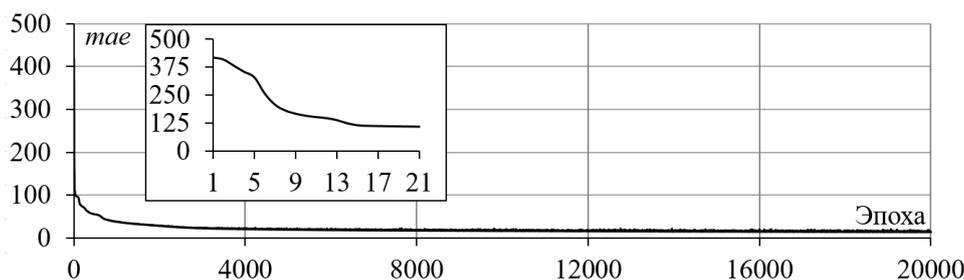


Рис. 3. Зависимость метрики *mae* от количества эпох

Из рис. 1 видно, что значение ошибки плавно уменьшается, значение на первой эпохе составляло 418, на последней – 3, что в средней означает, что предсказанные моделью геометрические параметры будут отличаться от истинных на 3 мкм.

Результаты

Для того, чтобы проверить достоверность результатов синтеза с помощью МО проведен анализ на основе тестовых данных из общей базы данных, которые не использовались

при обучении модели. Также для сравнения рассчитано среднее отклонение предсказанных и истинных значений с помощью выражения:

$$\Delta_{cp} = \frac{x - x_{пред}}{x_{cp}} \cdot 100\%,$$

где x_{cp} – среднее значение двух геометрических параметров;

x – истинное значение геометрического параметра;

$x_{пред}$ – предсказанное значение геометрического параметра.

Таблица 1

Сравнение истинных и предсказанных геометрических параметров связанной МПЛ

Геометрические параметры связанной МПЛ, мкм								Отклонение, %
w	$w_{пред}$	h	$h_{пред}$	s	$s_{пред}$	t	$t_{пред}$	
360	357,6	100	100,4	390	386,4	70	71,3	0,99
420	419,6	1000	998,4	140	139,3	35	35,9	0,84
160	161,2	2000	2000,3	240	238,9	35	36,3	1,23
500	498,3	500	499,8	125	125,1	35	35,7	0,59
310	308,6	1500	1498,9	420	419,3	105	105,8	0,38
120	117,9	1000	999,1	190	188,5	105	106,9	1,12
370	369,7	100	100,9	410	407,9	35	35,7	0,94
460	457,3	2000	1999,1	230	229,2	18	18,3	0,68
240	241,5	500	499,7	280	276,7	105	105,9	0,78
270	268,5	1500	1499,5	280	278,3	105	106,3	0,62

Из таблицы 1 видно, что в среднем, отклонение изменяется в диапазоне около 1 %. Максимальное отклонение составляет 1,23 %, минимальное – 0,38 %. Из результатов анализа можно сделать вывод, что предсказанные значения геометрических параметров связанной МПЛ близки к истинным, отклонения величин имеют малые значения.

Заключение

В результате проведенного исследования реализована модель синтеза геометрических параметров связанной МПЛ с помощью МО. В процессе обучения удалось достичь уменьшение средней квадратичной ошибки с 418 до 3. Анализ достоверности результатов синтеза осуществлялся на основе тестовых данных. Среднее отклонение геометрических параметров составило около 1%, максимальное – 1,23 %, а минимальное – 0,38 %.

Исследование выполнено в рамках проекта FEWM-2024-0005 Минобрнауки России.

Список литературы

1. Семенищев А. П., Мамыкин А.Д., Шадт А.К., Лунегов И.В. Моделирование микрополосковых линий в СВЧ-диапазоне // Вестник Пермского университета. Серия: Физика. 2012. – № 1. – С. 91–93.
2. Горбачев А.П. Синтез микроволновых устройств на связанных линиях передачи. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2010. – 123 с.
3. Павлов Н.С., Сурков В.А., Жечев Е.С. Методика синтеза связанных микрополосковых линий передач без потерь с использованием технологий искусственного интеллекта // Электронные средства и системы управления: материалы докладов XIX Международной научно-практической конференции (15–17 ноября 2023 г.): в 2 ч. – Томск : В-Спектр, 2023. – № 2. – С. 41–44.
4. Сычев А.Н., Стручков С.М. Системы параметров одинаковых связанных линий с неуравновешенной электромагнитной связью // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2014. – № 1 (31). – С. 26–30.

Оценка корреляции и взаимосвязи параметров состояния пациента

А.В. Павловский, А.А. Филипас

Научный руководитель: доцент, к.т.н., А.А. Филипас

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: avp135@tpu.ru

Assessment of correlation and interrelation of patient state parameters

A.V. Pavlovsky, A.A. Filipas

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Ph.D., A.A. Filipas

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: avp135@tpu.ru

Abstract. *This paper describes the estimation of correlation and interrelation of patient state parameters. Patient parameters and a demonstration of the algorithms are presented.*

Keywords. *Diagnostics, medicine, automation, estimation.*

Введение

Мониторинг и поиск корреляции и взаимосвязи параметров пациента является необходимой дополнительной информационной поддержкой при постановке диагноза и терапии. Современные средства измерения и обработки информации позволяют проводить анализ взаимосвязи между измеряемыми показателями. Кроме того, станет возможен поиск многокомпонентной связи параметров состояния пациента по интегральным показателям. В основном в медицинских учреждениях контролируют следующие жизненные показатели (Vital signs) пациента [1]: температуру тела, частота сердечных сокращений, частота дыхания, артериальное давление, процент кислорода в крови и т.д. Область значений данных показателей ограничена, и они измеряются с большим интервалом времени [1]. Измеряемая информация (сырые данные) для врача недостаточны для принятия решения о состоянии и терапии пациента. Кроме этого, у каждого человека значения и взаимосвязь параметров индивидуальны. Для подобной информационной системы поддержки врачебных решений требуется специальная обработка измеряемых показателей. Исследование на модели дыхательной системы человека, как объекта автоматизации научных исследований, позволяет провести предварительный анализ измеряемых параметров и их корреляцию, и взаимосвязь, что несомненно расширяет возможности врача [2].

Оценка корреляции и взаимосвязи параметров состояния пациента

В предыдущих исследованиях [2] на имитационной структурной модели отслеживались следующие параметры пациента: температура тела, артериальное давление, процент кислорода в крови и пульс. В данной работе к приведенным выше показателям добавлены параметры дыхательной системы: объем, поток и частота дыхания (рис. 1). Даже на основе визуального анализа некоторые взаимосвязи между показаниями явно заметны. Например, при увеличении пульса растет артериальное давление [3], что в свою очередь влияет на изменение процента кислорода в крови [4] и т.д. Более сложные взаимосвязи в том числе и многокомпонентные требуют специального анализа для их выявления и оценки. Исходя из рис. 1, были взяты следующие показатели состояния пациента: артериальное давление, процент кислорода в крови, пульс и частота дыхания, так как они статистические.

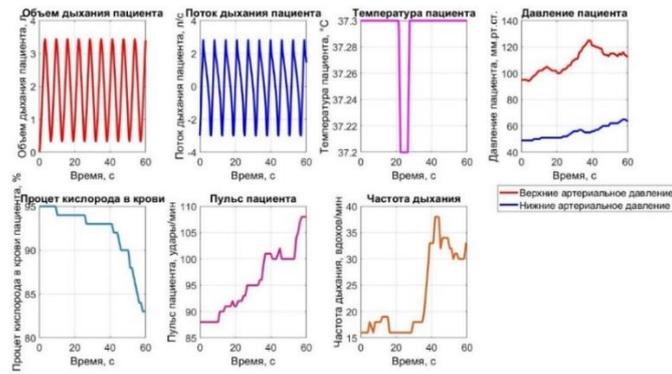


Рис. 1. Работа имитационной модели (параметры пациента)

Исходя из вышеизложенного выдвигается гипотеза, что показатели состояния пациента могут коррелировать. Разработан алгоритм для исследования корреляции между двумя параметрами состояния пациента методом проверки факторов коррелированности [5]. В результате получены следующие лучшие оценки корреляции (табл. 1), значения близкие к единице означает, что корреляция линейна.

Таблица 1

Оценки корреляции

Pulse и PDia	Pulse и PSys	Resp и PDia	Resp и PSys	Resp и Pulse
0.89	0.47	0.29	0.45	0.25

Наблюдаем, что практически линейная корреляция присутствует только между пульсом и нижним артериальным давлением, в других случаях стремится к линейной в меньшей степени. В других комбинациях линейная корреляция не обнаружена. Однако если данные между собой линейно не коррелируют это не отрицает их взаимосвязь. Для этого разработан алгоритм для исследования взаимосвязи параметров пациента на основе метода подбора полиномиальных кривых. Данный алгоритм использует существующую в библиотеке специализированного инженерного ПО для математического моделирования функцию интерполяции, для поиска коэффициентов полинома 2-го порядка. По фактическим данным пациента [6, 7] построена поверхность, описывающая взаимосвязь между тремя параметрами, и представлена на рис. 2, которая описывается полиномом (1).

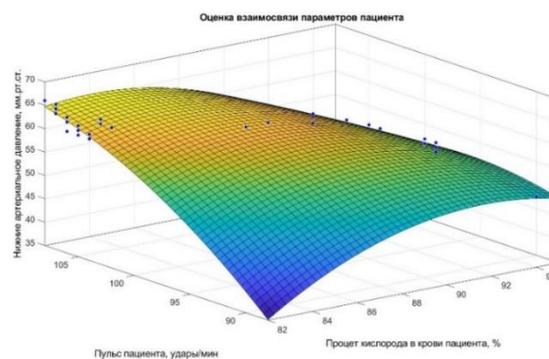


Рис. 2. Зависимость нижнего давления от процента кислорода в крови и пульса

$$PDia_h(Spo2h, Pulseh) = a_1 + a_2 \cdot Spo2h + a_3 \cdot Pulseh + a_4 \cdot Spo2h^2 + a_5 \cdot Spo2h \cdot Pulseh + a_6 \cdot Pulseh^2 \quad (1)$$

где $PDia_h$ – нижнее артериальное давление; $Spo2h$ – процент кислорода в крови; $Pulseh$ – пульс пациента. В таблице 2 представлены коэффициенты выражения (1).

Коэффициенты выражения (1)

a1	a2	a3	a4	a5	a6
61.022	-1.39	3.961	-5.115	-4.793	-1.964

Результаты

Исходя из представленного математического описания обнаружилась взаимосвязь между параметрами пациента, для подтверждения этого проведен анализ статистики согласия (табл. 3). Показатель суммы квадратов отклонения (SSE) невысокий, что говорит о незначительном отклонении модели и это подтверждается среднеквадратической ошибкой (RMSE). Рассматривая показатели R-квадрат (Rsquare) и скорректированный R-квадрат (AdjRsquare), следует, что модель описывает реальные данные на 96 %. Однако, данный метод чувствителен к объему выборки и при ее изменении качество модели может исказиться.

Таблица 3

Критерии согласия

SSE	Rsquare	AdjRsquare	RMSE
112.433	0.966	0.964	1.088

Заключение

В результате данного исследования подтвердилась гипотеза как теоретически, так и практически о корреляции и взаимосвязи параметров состояния пациента. Подтверждением этому являются удовлетворительные показания оценки корреляции (табл. 1) и критериев согласия для оценки взаимосвязи (табл. 3). Разработаны два алгоритма в специализированном инженерном ПО для математического моделирования, которые применимы в области поиска линейной корреляции и взаимосвязи. В дальнейшем будет проведены исследования, в которых будет определяться устойчивость представленных методов от объема выборки параметров состояния пациента.

Список литературы

1. Vital Signs // Physiopedia: сайт. – 2024. – URL: https://www.physio-pedia.com/Vital_Signs. (дата обращения: 27.03.2024).
2. Павловский А., Филипас А.А. Моделирование дыхательной системы человека как объекта автоматизации научных исследований в области легочных терапий // Сборник трудов XX Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук». – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2023. – Т. 7. – С. 112–114.
3. Wilkinson I.B., MacCallum H., Flint L., Cockcroft J.R., Newby D.E. and Webb D.J. The influence of heart rate on augmentation index and central arterial pressure in humans // The Journal of Physiology. – 2000. – Vol. 525. – P. 263–270.
4. Kyriacou P. A., Shafqat K., Pal S. K. Arterial blood oxygen saturation during blood pressure cuff-induced hypoperfusion // Journal of Physics: Conference Series. – 2007. – Vol. 85. – P. 012026.
5. Храмов А.Г. Методы и алгоритмы интеллектуального анализа данных: учеб. пособие – Самара : Изд-во Самарского университета, 2019. – 176 с.
6. Трифонов Е.В. Антропология: дух-душа-тело-среда человека, или Пневмапсихосоматология человека. Русско-англо-русская энциклопедия. 18-е изд. – Текст: электронный – 2015. – URL: <http://www.tryphonov.ru/tryphonov2/terms2/sgfvp2.htm>. (дата обращения: 27.03.2024).
7. Moody G., Mark R.A. Database to Support Development and Evaluation of Intelligent Intensive Care Monitoring // Computers in Cardiology. – 1996. – Vol. 23. – P. 657–660.

Технологические решения для защиты аккаунтов от взлома

Д.В. Пекишев

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. М.Х. Уртенов
Кубанский государственный университет,
Россия, г. Краснодар, ул. Ставропольская 149, 350040
E-mail: anaable1974@gmail.com

Technological solutions to protect accounts from hacking

D.V. Pekishev

Scientific supervisor: Prof., Dr. Sci. M.H. Hourtenov
Kuban State University, Russia, Krasnodar, Stavropolskaya str.,149, 350040
E-mail: anaable1974@gmail.com

***Abstract.** The article describes a telegram bot. The bot is an innovative service that is designed to protect users' personal data in the digital world. The threats of hacking and leaks of personal information are becoming more and more urgent, so such a service helps people protect their accounts from unauthorized access. In the development of the service, heuristic algorithms, external sorting, binary trees, interpolation search and B-tree algorithms were successfully used, which generally had a positive effect on the service. Programs were written to unify data and quickly search through leaked files using a binary tree. In addition, the service uses algorithms for automatically processing new leaks and quickly adding them to the database. The service is distinguished by high search speed, support for combined queries, a clear interface and a complete description of each leak. The bot, upon request, searches for information taken from open sources previously published on the Internet, which allows a person to quickly take measures to protect their accounts, thereby preventing hackers from using this information if it has already appeared in leaks. This article analyzes some existing similar software products, such as HIBP, IntelxIO, FirefoxMonitor, UserBox and QuikOsint. Their strengths and weaknesses are noted. The novelty of the developed application (telegram -bot) is shown. So, the described service can maintain the security of network user accounts. The bot constantly informs people that their personal data has become publicly available. And people can quickly change passwords and protect their accounts.*

***Keywords.** Cybersecurity, data protection, telegram-bot.*

Введение

В наше время активное использование и работа с цифровыми ресурсами сопряжены с комплексом опасностей как для обычных пользователей социальных сетей, так и для специалистов компаний [1]. К сожалению, аккаунты простых людей и сайты, сервера организаций постоянно подвергаются взломам и утечкам важной информации.

Тем не менее, в таком быстро меняющемся мире разработка средств их защиты не стоит на месте: регулярно появляются новые и более совершенные методы и способы защиты конфиденциальных данных населения. Успешно применяется метод многоуровневой авторизации, а для восстановления позабытого пароля можно воспользоваться цифровой услугой «секретный вопрос», ответ на который знаете только вы. Люди используют сложные пароли, удлиняя их дополнительными знаками, стараясь при этом не пользоваться одинаковыми паролями на сайтах и при входе в аккаунты, периодически обновляя их и храня в защищенном файле.

Помимо этого, стали очень популярны и востребованы telegram-боты и специальные сервисы, которые информируют пользователя о том, какая информация о нем появилась в открытом доступе и какие личные данные могут оказаться у киберпреступников, что позволяет человеку оперативно применять меры по защите своих личных данных, используя вышеописанные методы. Учитывая актуальность проблемы по защите аккаунтов от

несанкционированных проникновений и взломов, в ходе исследования была поставлена цель: разработать и внедрить в telegram сервис с расширенным функционалом. При разработке программ были успешно применены методы, а именно: эвристические алгоритмы, внешняя сортировка, бинарные деревья, интерполяционный поиск, алгоритмы В-деревьев, что положительно повлияло на функционал программного продукта.

Экспериментальная часть

Проведем сравнительный анализ некоторых сервисов и ботов по информированию пользователей о возникших угрозах их личным данным в интернет-пространстве.

Так HIBP - самый известный сайт для проверки своих почт. Содержит 15 миллиардов почт из 800 утечек (в основном зарубежных), а также предоставляет API для проверки почты по запросу. Рассмотрим плюсы этого сервиса: сайт дает описание каждой утечки. К минусам можно отнести то, что ищет лишь почты и показывает только их наличие в утечках.

Другой сервис IntelxIO для полнотекстового поиска данных в утекших файлах. Его база состоит из более, чем 100 миллиардов записей, большая часть которых - это необработанные SQL дампы. Этот сервис целенаправленно не занимается обработкой баз с данными, а индексирует их «как есть», кроме того, в нем нет описания и структурирования самой базы. Из плюсов - это большое количество данных, что делает сервис достаточно популярным.

FirefoxMonitor - аналог HIBP, встроенный в браузер Firefox. Также имеет описание источника утечки и показывает только почты.

Еще один сервис ЮзерБокс - известный telegram-бот с полнотекстовым поиском. Поддерживает регулярные выражения и имеет структурированные базы, тем не менее, количество содержащихся в нем данных не слишком велико.

QuikOsint - один из самых старых ботов такого плана. Содержит более 2500 утечек, но в основном собранные утечки небольшие. Помимо поиска по базам выполняет запросы к другим сервисам.

Изучив уже существующие подобные сервисы, был разработан аналогичный программный продукт, но с расширенным функционалом. Остановимся более подробно на этапах проделанной работы при создании данного telegram-бота:

- определены задачи и разработана концепция функционирования telegram-бота;
- выбрана платформа telegram, как одна из самых безопасных и надежных по своей структуре;
- спроектирована архитектура бота;
- выбраны технологии, на которых основана работа сервиса;
- написан код для обработки команд пользователя;
- реализованы алгоритмы обработки данных;
- создана API для интеграции в другие сервисы;
- сформирован массив баз данных и проведена настройка баз с данными;
- разработан интерфейс для простого и удобного взаимодействия с пользователем;
- проведена работа над дизайном сервиса;
- проведено тестирование бота;
- обеспечена максимальная безопасность для пользователя и масштабируемость сервиса;
- реализован регулярный мониторинг работы бота;
- осуществлена работа по поддержке пользователей и решению возникающих проблемных вопросов;
- отработаны способы регулярных обновлений баз с данными.

Результаты

Итак, в процессе работы над проектом были получены следующие результаты и выполнены все поставленные в ходе исследования задачи, а именно:

- собрана информация об актуальных утечках;
- оформлена коллекция баз с утекшими данными из открытых источников;
- разработан комплекс программ для унификации данных;
- при помощи этих программ файлы преобразованы в универсальный формат;
- разработан комплекс программ для преобразования большого набора файлов в структурированный набор подфайлов, по которому можно выполнять быстрый поиск;
 - написана программа для быстрого поиска по файлам, распределённым в соответствии со структурой бинарного дерева;
 - реализована система быстрого поиска по файлам;
 - система поиска внедрена в telegram-бот, позволяющий проверять наличие своих данных в утечках;
 - реализована и опробована система api, позволяющая интегрировать поисковую систему в другие сервисы.

Новизна разработанного сервиса:

- автоматическая обработка новых утечек;
- очень быстрый поиск;
- поиск по комбинированным запросам;
- быстрое добавление новых утечек;
- понятный интерфейс;
- детальное описание каждой утечки;
- результаты в виде структурированных отчётов;
- поиск по разным типам запросов: по ФИО, электронной почте, по номеру телефона, номеру автомобиля, никнейму и по некоторым другим данным.

На основе проведенного исследования и анализа полученных результатов можно выделить несколько рекомендаций для дальнейших исследований и совершенствования уже полученных результатов:

- последующее улучшение системы мониторинга утечек данных с помощью обновления новых источников данных и увеличения частоты обновления базы данных;
- совершенствование алгоритмов поиска утечек данных с помощью анализа больших данных;
- оптимизация поисковых алгоритмов и улучшение алгоритмов систематизации найденной информации [2].

Заключение

Разработанное приложение предоставляет актуальную информацию пользователю в виде двустороннего диалога в режиме реального времени, что сильно экономит его время и позволяет быстро получать ответы на интересующие вопросы. Подобный сервис рассчитан на большую и разновозрастную аудиторию, так как прост и удобен в использовании. В этом его главное преимущество. Сервис полезен и социально значим. Бот помогает выявить уязвимости аккаунтов и вовремя информирует людей о возможных угрозах их личным данным в цифровом мире.

Список литературы

1. Ермакова А.Ю., Люсь А.Б. Анализ рисков нарушения информационной безопасности от компьютерных атак при нарастающей величине потерь от их реализации // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. – 2023. – Т. 21, № 1. – С. 19–31.
2. Васенин В.А., Зензинов А.А., Роганов В.А. Повышение производительности информационных сервисов в системах, ориентированных на работу с большими, редко модифицируемыми данными // Программная инженерия. – 2023. – Т. 14, № 2. – С. 55–61. DOI: 10.17587/prin.14.55-61.

Сравнительная характеристика поверхности диоксида циркония обработанного электронным пучком и влияние параметров поверхности на экспрессию генов

А.Е. Петров, А.А. Зенин, Д.Е. Ивошин

Научный руководитель: профессор, д.т.н. А.С. Климов
Томский университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: a.e.petrov_job@mail.ru

Comparative characteristics of the surface of zirconium dioxide treated with an electron beam and the effect of surface parameters on gene expression

A.E. Petrov, A.A. Zenin, D.E. Ivoshin

Scientific Supervisor: Prof., Dr. A.S. Klimov

Tomsk University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: a.e.petrov_job@mail.ru

***Abstract.** The results of a study of the effect of surface treatment modes of ceramics based on zirconium dioxide on surface parameters and expression of osteocalcin genes are presented. The treatment was carried out by acid etching and electron beam. It is shown that the level of gene expression on the surface treated with an electron beam is higher than on the surface of samples that have undergone classical sandblasting and acid etching in hydrofluoric acid HF.*

***Key words:** electron beam treatment, acid etching, micro-roughness, gene expression.*

Введение

На данный момент в сфере производства дентальных имплантатов преобладает технология модификации поверхности методом пескоструйной обработкой с последующим травлением различными кислотами. Данный метод применяется для металлических и керамических имплантатов [1] и позволяет формировать развитую структуру поверхности. Однако обработка таким методом приводит к уменьшению прочности керамического материала [2], а также в процессе пескоструйной обработки оксидом алюминия, могут оставаться его остатки, которые значительно ухудшают остеоинтеграцию, из-за того, что алюминий и его соединения обладают политропным действием на организм, выраженность которого не находится в прямой зависимости от его концентрации [3].

В качестве альтернативного метода создания топографии на поверхности, предлагается использовать обработку электронным пучком в форвакуумной области давлений. Расплавление поверхностного слоя по траектории движения электронного пучка должно создавать неровности поверхности, которые могут оказывать большое влияние на фиксацию имплантата, пролиферацию и экспрессию генов [4]. В работе [5] была рассмотрена топография поверхности внутрикостной части коммерческих имплантатов в микро, макро и нано диапазоне размеров.

Цель работы заключалась в исследовании структуры поверхности керамики диоксида циркония после электронно-лучевой обработки, сравнении с поверхностью после пескоструйной обработки с кислотным травлением и оценка влияния параметров поверхности на экспрессию генов остеобластоподобных клеток.

Экспериментальная часть

В качестве исследуемого материала была выбрана керамика высокой чистоты TZ-3YSB-E компании TOSOH, Япония. Данный материал обладает высокой прочностью и является биосовместимым.

Шестьдесят образцов изготавливались прессованием в изостатическом прессе при давлении 200 МПа, после чего проводилась сушка при температуре 60 градусов в течение 24 часов и предварительное спекание до температуры в 1100 °С с выдержкой 2 часа. Далее для образцов под пескоструйную обработку и кислотное травление проводили второе спекание при температуре 1500 °С с выдержкой 2 часа, для формирования тетрагональной фазы диоксида циркония. Технология формирования образцов для обработки электронным пучком (ЭЛО) поделилась на две группы, первая ограничивалась сушкой, а вторая группа прошла спекание до 1100 °С с выдержкой 2 часа. Основываясь на работах в открытых источниках, была выбрана пескоструйная обработка (ПО) абразивом 150 мкм и 3 режима травления (КТ):

Режим 1. Травление в HF (40 %) в течении 15 минут.

Режим 2. Травление в HF (9,5 %) в течении 1 часа.

Режим 3. Травление в HF (40 %) в течении 30 минут.

Образцы для обработки были пронумерованы в группы согласно таблице 1.

Таблица 1

Нумерация групп и режимов обработки

Группа №	1	2	3	4	5
Метод обработки	ПО+КТ Режим 1	ПО+КТ Режим 2	ПО+КТ Режим 3	ЭЛО сушка	ЭЛО сушка+предспекание

Микрофотографии, высокого разрешения поверхности образцов были сделаны с помощью растрового электронного микроскопа SEM Hitachi S3400N с приставкой энергодисперсионного анализа Bruker X'Flash 5010.

Результаты

На рисунке 1 показаны изображения поверхности, полученные сканирующей электронной микроскопией (СЭМ) при различном увеличении.

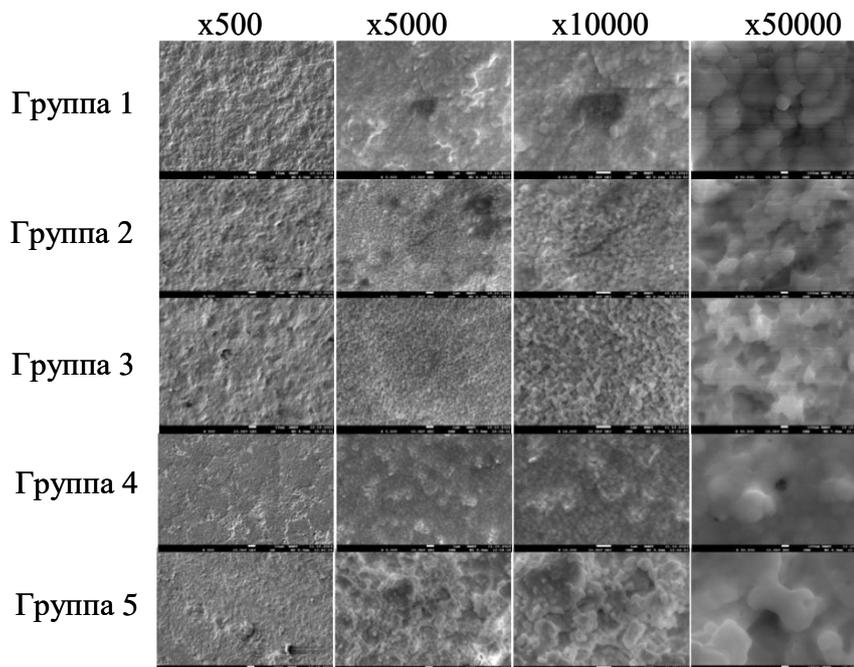


Рис. 1. Изображения поверхности образцов после травления

Изображение показывает незначительное увеличение межзеренных границ и отсутствие других следов травления для первой группы. Вторая и третья группы имеют сотоподобную структуру поверхности, при этом зерна материала едва заметны. Поверхность третьей группы более равномерна, что может быть следствием большего времени травления, так же при максимальном увеличении на поверхности отсутствуют выраженные пики и впадины, как на образцах второй группы.

Поверхность образцов обработанных электронным пучком сильно отличаются от поверхности после механической и химической обработки. На поверхности образцов четвертой и пятой группы не наблюдается сотообразной структуры, зерна материала четвертой группы находятся в сильном контакте, для пятой группы характерно полное сплавление зерен. При небольшом увеличении можно заметить, что поверхность 5 группы является наиболее грубой среди всех групп, при этом явной структуры не обнаружено, пики и впадины хаотично распределены по всей поверхности.

Результаты клеточного ответа оценивались по экспрессии генов остеокальцина BGLAP, остеопантина SPP1, костного морфогенетического белка BMP2 и BMP6 на 14-е сутки методом полимеразной цепной реакции в режиме реального времени. Полученные данные свидетельствуют о том, что группы образцов 2 и 5 демонстрируют повышенную экспрессию остеокальцина BGLAP и костного морфогенетического белка BMP2.

Заключение

В результате проведенных исследований показана перспективность применения электронно-лучевой обработки поверхности керамики диоксида циркония для создания генно-активирующей топографии. Полученный уровень экспрессии генов на поверхности обработанной электронным пучком находится выше чем на поверхности образцов прошедших классическую пескоструйную обработку и кислотное травление в плавиковой кислоте HF. Показано, что электронно-лучевую обработку следует проводить на образцах, прошедших предварительное спекание до температуры 1100 °С.

Работа выполнена при поддержке гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках конкурса FEWM-2024-0006.

Список литературы

1. Anil S., Anand P. S., Alghamdi H., Jansen J. A. Dental Implant Surface Enhancement and Osseointegration. // Implant Dentistry: A Rapidly Evolving Practice – 2011. – P. 83–108. <https://doi.org/10.13140/2.1.2991.2644>.
2. Quentin F, Marc A. Hydrofluoric acid etching of dental zirconia. Part 2: effect on flexural strength and ageing behavior. // Journal of the European Ceramic Society. – 2016. – Vol. 36, Iss. 1. – P. 135–145.
3. Харламов О.В. Экология и токсикология алюминия // Гигиена и санитария. – 2004. – № 3. – С. 73–75.
4. Sammons R.L., Lumbikanonda N., Gross M., & Cantzler P. Comparison of osteoblast spreading on microstructured dental implant surfaces and cell behaviour in an explant model of osseointegration. A scanning electron microscopic study. // Clinical oral implants research. – 2005. – № 16. – P. 657–666.
5. Svanborg LM, Andersson M, Wennerberg A. Surface characterization of commercial oral implants on the nanometer level. // J Biomed Mater Res B Appl Biomater. – 2010 – № 92 (2). – P. 462–469. doi: 10.1002/jbm.b.31538.

УДК 519.813

**Разработка обучающего приложения–игры по высшей математике
для студентов технических специальностей**

Д.М. Петров

Научный руководитель: д.т.н., Е.О. Филиппова
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: dmp10@tpu.ru

**Development of a educational application-game in higher mathematics
for engineering students**

D.M. Petrov

Scientific Supervisor: Dr., E.O. Filippova
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: dmp10@tpu.ru

***Abstract.** As a result of the work, an educational application-game in higher mathematics was developed for students of technical specialties, which allows them to consolidate and systematize knowledge on the topics “Indefinite and definite integrals.”*

***Key words:** gamification, pygame, game application, maths, integral.*

Введение

Математика – чрезвычайно широкая область науки, где иной раз сложно выразить творческий потенциал в ее изучении через традиционные образовательные методы. Используемые подходы в изучении данной дисциплины считаются скучными, сухими и однообразными, и многие студенты не понимают по-настоящему свободного и исследовательского характера того, что изучает математика. Новый подход с элементами геймификации поможет мотивировано вовлечь студентов высших учебных заведений в процесс обучения, повысит их успеваемость в целом [1-4].

Цель работы – разработка обучающего приложения-игры по высшей математике для студентов технических специальностей.

Материалы и методы исследования

Для создания обучающего приложения-игры по высшей математике была разработана настольная версия по интегрированию, которая была взята за основу. Настольная игра включала в себя игровое поле, кубики и фишки. Цель – повторение пройденного материала, систематизация знаний по темам «Неопределенный и определенный интегралы».

Обучающее приложение-игра по высшей математике для студентов технических специальностей было написано на языке Python по мотивам настольной версии с использованием фреймворка Pygame, а также CustomTkinter [5, 6].

Результаты

Согласно разработанной игре, студент для закрепления знаний по темам «Неопределенный и определенный интегралы» может пройти обучающее приложение «Интегралополия». Участник игры регистрируется и определяет суммарный выигрыш (рис. 1). На старте каждому участнику игры выдается фиксированная сумма: 1500 очков.

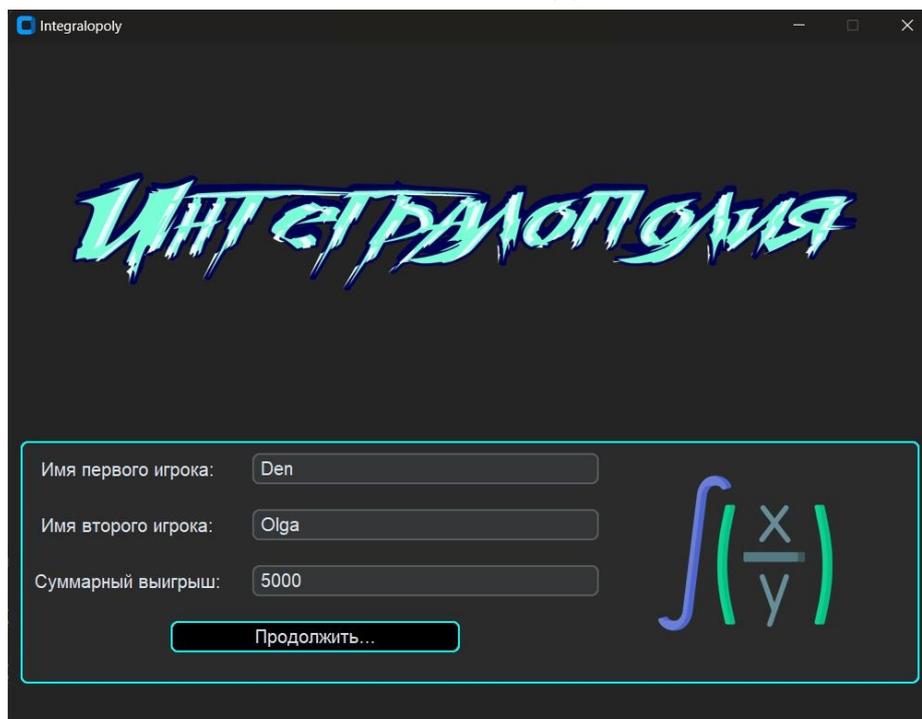


Рис. 1. Входное окно игры для регистрации участников

После регистрации каждый игрок бросает два кубика. Первым ходит тот, кто выбросил наибольшее количество баллов, он же бросает два кубика, после чего фишка передвигается по полю в направлении, указанном стрелкой (рис. 2).

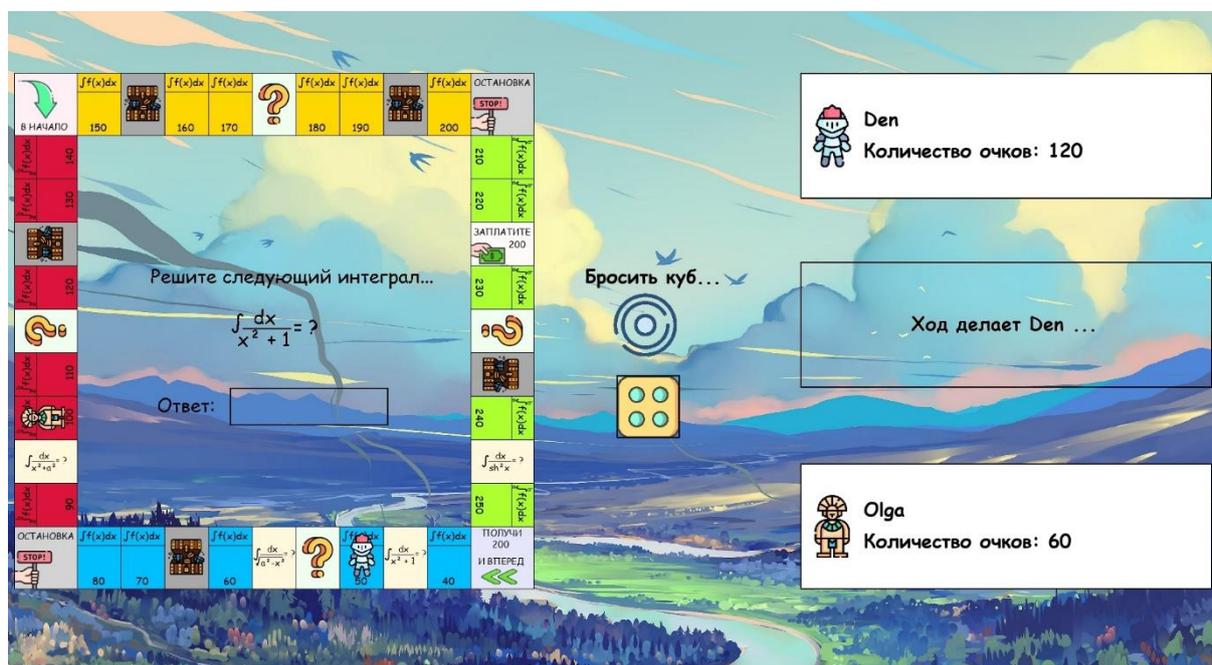


Рис. 2. Игровое поле и ход игры

Ячейка, на котором остановится фишка определяет действия играющего (рис. 2): решить интеграл, оставаться на время данного хода в этой ячейке без задания, возвращаться в начало, выполнять действия на карточке с изображением вопроса или сундука. Игрок, остановившись на «цветном» поле имеет возможность поставить свой дом, выкупив ячейку по указанной стоимости, предварительно правильно решив интеграл. Если участник игры поставил свой

дом, то последующие игроки в случае попадания на данную ячейку обязаны платить аренду собственнику: при правильном решении задания заплатив стоимость, указанной на ячейке, при неправильном решении – цена возрастает в два-три раза. Выигрывает тот, кто остался в игре после того, как все остальные игроки «обанкротились», то есть остались без очков. Чем дальше по полю передвигается фишка игрока, тем сложнее интегралы. Синие и желтые ячейки содержат в себе задания по неопределенному интегралу, красные и зеленые – по определенному.

Обучающее приложение-игра по высшей математике было апробировано на студентах Томского политехнического университета. Общее количество задействованных участников игры – 46 человек. В развитии проекта планируется расширить количество задействованных в игре студентов, провести анализ влияния геймифицированного подхода в обучении высшей математики на успеваемость и мотивацию обучающихся.

Заключение

В результате работы было разработано обучающее приложение-игра по высшей математике для студентов технических специальностей, позволяющая закрепить и систематизировать знания по темам «Неопределенный и определенный интегралы». Обучающее приложение-игра было апробировано на студентах Томского политехнического университета. В развитии проекта планируется расширить количество задействованных в игре студентов, провести анализ влияния геймифицированного подхода в обучении высшей математики на успеваемость и мотивацию обучающихся.

Список литературы

1. Nicholson S. A recipe for meaningful gamification // *Gamification in Education and Business* – New York : Springer, 2015. – P. 1–20. – doi:10.1007/978-3-319-10208-5_1
2. Seaborn K., Fels D.I. Gamification in theory and action: a survey // *Int. J. Hum. Comput. Stud.* – 2015. – Vol. 74. – P. 14–31. – doi: 10.1016/j.ijhcs.2014.09.006.
3. Hamari J., Koivisto J. Why do people use gamification services? // *Int. J. Inf. Manag.* – 2015. – Vol. 35, Iss.4. – P. 419–431. – doi: 10.1016/j.ijinfomgt.2015.04.006
4. Kim S., Song K., Lockee B., Burton J. What is Gamification in Learning and Education? // *Gamification in Learning and Education.* – New York : Springer, 2018. – P. 25–38. doi:10.1007/978-3-319-47283-6_4
5. Pygame documentation // DevDocs: сайт. – 2024. – URL: <https://devdocs.io/pygame/> (дата обращения: 21.09.2023)
6. CustomTkinter документация // Техномастерская: сайт. – 2024. – URL: <https://xn--80aanbzjgivicdg0b3l.xn--p1ai/customtkinter> (дата обращения: 21.09.2023)

**Механизмы обеспечения безопасности цифровых профилей
в системах интернета вещей**

О.В. Пехов, Д.Р. Леконцев

Научный руководитель: доцент, к.т.н. А.А. Конев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: pov@fb.tusur.ru

Mechanisms for ensuring the security of digital profiles in internet of things systems

O.V. Pekhov, D.R. Lekontsev

Scientific Supervisor: Ass., Prof., PhD. A.A. Konev

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk

Lenin str., 40, 634050

Email: pov@fb.tusur.ru

***Abstract.** The concept of a digital device profile is considered. The features of the organization of the data stored in it are determined. A list of security requirements for the digital profile has been formed.*

***Key words:** Internet of things, digital profile, vipnet sies, security.*

Введение

Человек окружён различными цифровыми устройствами, в том числе, хранящими конфиденциальные данные или позволяющими однозначно идентифицировать его через взаимодействие с другими цифровыми устройствами. Безопасность систем интернета вещей слаба, это связано с разнородностью используемых устройств. Поэтому актуальным является рассмотрение понятия цифрового профиля устройства и механизмов обеспечения его безопасности.

Экспериментальная часть

Решено рассматривать цифровой профиль устройства как набор информации и настроек, которые определяют поведение и функциональность устройства [1, 2]. Цифровой профиль позволяет производителям, провайдерам и разработчикам настраивать и управлять устройствами. Это помогает обеспечить совместимость, безопасность и эффективность устройств и их программного обеспечения.

Цифровые профили устройств могут быть основой методики выявления и проверки нестандартного поведения устройств и их изоляции в сети для дальнейшего мониторинга[3].

Возможно использование механизмов автоматического профилирования устройств на основе обнаруженной технической информации для реализации комплексного функционирования систем с возможностью ограничить доступ к чувствительным данным [4]. Цифровые профили устройств могут рассматриваться как инструмент для идентификации пользователей и контроля доступа к определенным ресурсам [5, 6].

На основе анализа сделан вывод, что концепция цифрового профиля устройства применима для широкого спектра задач:

- идентификация устройств и пользователей в сети;
- взаимная аутентификация устройств;
- контроль доступа устройств к ресурсам сети;
- обнаружение киберугроз на основе нестандартного поведения устройств;
- построение более сложных и комплексных услуг, таких как цифровой двойник.

Содержимое цифрового профиля устройства может изменяться в процессе его работы. Параметры профиля можно разделить на не изменяющиеся в процессе функционирования

устройства (статические) и изменяющиеся (динамические) [7]. Среди статических данных профиля можно выделить:

- данные “Hardware”, характеризуют сведения об аппаратном обеспечении устройства, становятся известны на этапе производства (ManufacturID, MACAddress, DeviceModel и т.п.);
- данные “Software”, характеризуют сведения о программном обеспечении, могут быть изменены на этапе эксплуатации устройства, но не в моменты активного функционирования (OS Name, OS Version, Serial Number и т.п.);
- данные “Session”, характеризуют сведения об устройстве в процессе активной рабочей сессии, после завершения и запуска новой сессии могут принимать другие значения (ключи шифрования, AppSKey, Boot ID и т.п.).

Динамические данные только после агрегации и обработки сопоставляются устройству. Это могут быть параметры с датчиков – температура, давление, местоположение и т.д. Сгруппировать динамические параметры, по аналогии со статическими проблематично, так как тип и особенности параметров зависят от компонентов и функционала устройства.

В ходе работы также был определен перечень требований к безопасности цифровых профилей, результат представлен в таблице 1.

Таблица 1

Требования безопасности к цифровому профилю

Уровень	Требования безопасности
Уровень конечных устройств	Шифрование. Алгоритмы шифрования должны быть простыми и легкими в вычислениях
	Взаимная аутентификация устройств.
	Безопасное хранение ключевой информации.
	Техническая защита устройства
Сетевой уровень	Безопасность передачи информации
	Безопасность маршрутизации
	Аутентификация сетевых устройств
	Безопасное хранение и распределение ключей
	Обнаружение вторжений
Прикладной уровень	Аутентификация пользователей в системе
	Шифрование баз данных
	Управление информационной безопасностью системы
	Обучение и квалификация в области информационной безопасности пользователей и персонала
	Реагирование на инциденты безопасности

Устройства интернета вещей представляют собой малоресурсные устройства, и реализация всех перечисленных требований безопасности в них трудно реализуема, особенно в части шифрования. Для решения этой проблемы можно использовать внешние аппаратные криптографические модули. Например, ViPNet SIES от компании «ИнфоТеКС».

Результаты

В ходе работы реализован прототип системы IoT на базе технологии LoRa. Обобщенная схема системы показана на рисунке 1. Сценарий использования ViPNet SIES заключается в следующем: на конечном устройстве данные с датчика шифруются с помощью криптомодуля SIES Core и отправляются по существующей сетевой инфраструктуре, а на рабочей станции данные расшифровываются другим модулем ViPNet SIES Core. Передача данных осуществлялась между конечным устройством и рабочей станцией с использованием базовой станции и сервера приложений.

Интегрировать SIES Core можно на разных уровнях: с базовой станцией, с сервером приложения и с устройством пользователя (рабочая станция) на прикладном уровне. Связь «Возможная связь» как раз предполагает разные вариации подключения SIES Core.

Сервер SIES MC нужен для хранения и распределения ключевой информации SIES Core. Была выбрана локальная конфигурация и распределение ключевой информации через SIES Workstation. Связь «Конфигурирование» предполагает физический доступ к устройству. После интеграции в каждое защищаемое устройство ViPNet SIES Core становятся базовыми элементами системы.

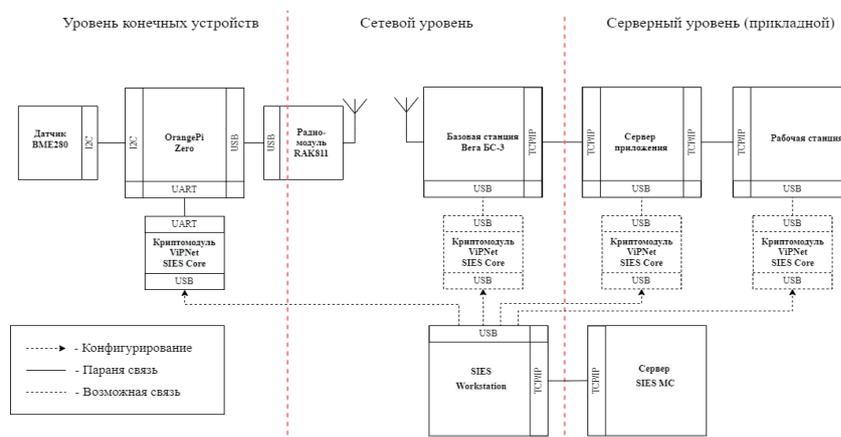


Рис. 1. Обобщенная схема системы IoT

Заключение

В ходе работы достигнуты следующие результаты:

- определен перечень возможных областей применения цифровых профилей;
- определен перечень параметров, размещаемых в цифровом профиле;
- определен перечень требований к обеспечению безопасности цифровых профилей;
- разработан прототип системы IoT, продемонстрирована возможность внешнего аппаратного шифрования для повышения безопасности цифровых профилей устройств.

Список литературы

1. Physical environment profiling through internet of things integration platform. United States Patent Application Publication. Pub. No.: US 2015/0019714 A1 Pub. Date: Jan. 15. 2015.
2. Krzysztof Wójcicki, Marta Biegańska, Beata Paliwoda and Justyna Górna. Internet of Things in Industry: Research Profiling, Application, Challenges and Opportunities—A Review // Journal: Energies. – 2022. – Vol. 15 (5). – P. 1806. <https://doi.org/10.3390/en15051806>
3. Miraqa Safi, Sajjad Dadkhah, Farzaneh Shoeleh, Hassan Mahdikhani, Heather Molyneaux, Ali A. Ghorbani. A Survey on IoT Profiling, Fingerprinting, and Identification // ACM Transactions on Internet of Things – 2022. – Vol. 3, Iss. 4. – P. 1–39. <https://doi.org/10.1145/3539736>
4. Bytes A., Adepu S., Zhou J. Towards Semantic Sensitive Feature Profiling of IoT Devices // IEEE Internet of Things Journal. – 2019. – Vol. 6 (5). – P. 8056–8064.
5. Wachter S. Normative challenges of identification in the Internet of Things: Privacy, profiling, discrimination, and the GDPR // Computer Law & Security Review – 2017. – Vol. 34, Iss. 3. – P. 436–449. <https://doi.org/10.1016/j.clsr.2018.02.002>
6. Dadkhah S., Mahdikhani H., Danso P.K., Zohourian A., Truong K.A., Ghorbani A.A. Towards the Development of a Realistic Multidimensional IoT Profiling Dataset // 2022 19th Annual International Conference on Privacy, Security & Trust (PST). – Fredericton: IEEE, 2022. – P. 1–11.
7. Исаева О.С. Построение цифрового профиля устройств Интернета // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2023. – № 2 (30). – С. 36–44.

УДК 624.131.3

Автоматизация процесса управления ресурсами в рамках инженерных изысканий

Д.К. Пономарева

АО «ТомскНИПИнефть»,

Россия, г. Томск, пр. Мира, 72, 634027

E-mail: PonomarevaDK@tomsknipi.ru

Automation of the resource management process within the framework of engineering surveys

D.K. Ponomareva

JSC "Tomsknipeft", Russia, Tomsk, Mira str., 72, 634027

E-mail: PonomarevaDK@tomsknipi.ru

***Abstract.** The paper raises the problem of automating the process of resource management within the framework of engineering surveys. To solve this problem, it is proposed to use a specialized module for monitoring subcontractors. As the results of the work, examples of solving production problems using the information resource “monitoring of engineering work” are given.*

***Key words:** engineering surveys, geographic information systems, resource management.*

Введение

Инженерные изыскания – это комплекс специализированных мероприятий, которые проводятся до организации и проведения строительных работ с целью получения информации о геодезической, геологической, инженерной, экологической обстановке на местности. Необходимо отметить, что в наши дни к изыскательным мероприятиям со стороны заказчиков предъявляются очень жесткие требования, при этом сами инженерные изыскания для строительства – процесс весьма сложный, требующий высокого уровня профессиональной подготовки и немалого практического опыта.

Материалы и методы исследования

Инженерные изыскания включают основные и специальные виды изысканий. К основным видам инженерных изысканий относятся: инженерно-геодезические, инженерно-геологические, инженерно-гидрометеорологические, инженерно-экологические, инженерно-геотехнические.

К специальным видам инженерных изысканий относятся: геотехнические исследования, обследования состояния грунтов оснований зданий и сооружений, локальный мониторинг компонентов окружающей среды, поиск и разведка подземных вод для целей водоснабжения, разведка грунтовых строительных материалов, локальные обследования загрязнения грунтов и грунтовых вод [1].

Рынок предоставления услуг по инженерным изысканиям весьма насыщен. Однако потенциальные подрядные организации идут на различные ухищрения для того, чтобы именно они выиграли тендер на оказание работ.

Результаты

С целью упрощения процесса управления ресурсами в рамках процесса инженерных изысканий сотрудниками Специализированного института по ГИС автоматизации и обработке пространственных данных был разработан Информационный ресурс «Мониторинг изыскательских работ» ЦГИС (далее – ИР МИР).

ИР МИР – специализированный модуль ИС «ЦГИС», предназначенный для учета, обработки и контроля данных полевых работ, выполняемых при проведении инженерных изысканий.

Основные задачи, которые решает модуль:

- повышение эффективности планирования работ по выполнению инженерных изысканий;
- повышение эффективности контроля за выполнением полевых работ;
- представление подробной информации о работах на проекте.

Для решения задачи по повышению эффективности планирования работ была реализована загрузка Сводки СМГ (сутки-месяц-год) проекта по которой возможно выявлять нарушения, отставания по срокам (отставание факта от плана работ), неэффективное использование ресурсов и др. в процессе выполнения полевых работ, что позволяет своевременно принимать меры по устранению проблем и повысить качество работы (рис. 1).

Вид работ	Ед.изм	Общий объём	Начало	Окончание	План	Факт	%	Отклонение
Вертикальное электрическое зондирование	шт	32.00	17.11.2023	26.12.2023	32.00	14.00	44.00	-18.00
геофизические исследования - БТ	1 точка	36.00	17.11.2023	26.12.2023	36.00	2.00	6.00	-34.00
Измерение удельного сопротивления грунта	шт	180.00	17.11.2023	26.12.2023	0.00	14.00	8.00	14.00
Инженерно-геологические работы (бурение скважин)	п.м	1,662.00	17.11.2023	26.12.2023	686.00	227.00	14.00	-459.00
Инженерно-геологические работы (монолиты)	шт.	190.00	17.11.2023	26.12.2023	92.00	47.00	25.00	-45.00
Инженерно-геологические работы (статика)	шт.	22.00	17.11.2023	26.12.2023	10.00	1.00	5.00	-9.00
ИЗИ маршрута	км	18.80	01.08.2023	25.11.2023	18.80	18.11	96.00	-0.69

Рис. 1. Загрузка СМГ и отображение план/факта по видам работ

Для наглядного представления о текущем состоянии проекта, определения, где требуется корректировка плана без того, чтобы вдаваться в подробности проекта реализована графическая интерпретация СМГ (рис. 2).

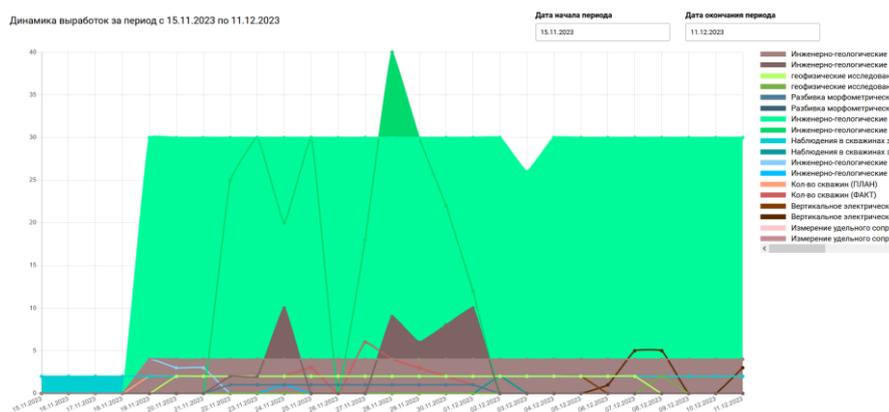


Рис. 2. Графическая интерпретация данных СМГ по видам работ

Решением задачи о представлении подробной информации о работах на проекте послужило создание функционала анализа входа\выхода транспортных средств. Была предусмотрена загрузка выработок и геозон из САД части модуля, так же предусмотрена загрузка Треков транспортных средств из навигационной системы подрядчиков. Для удобства отображения информации был реализован переход в Картографический портал к загруженным объектам по шифру договора, что позволяет визуализировать прогресс выполнения работ (рис. 3).

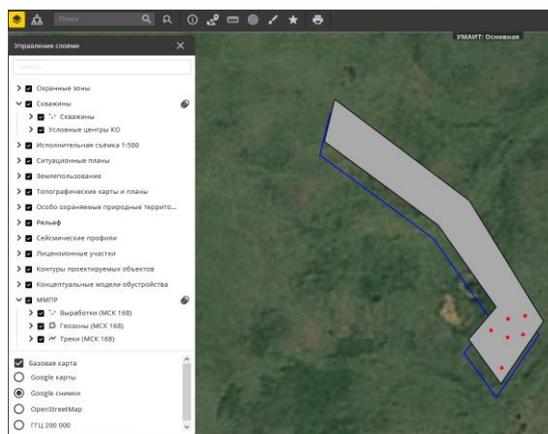


Рис. 3. Переход в Картографический портал к конкретному треку или слою геозон

Визуализация помогает наиболее эффективно управлять планированием, а также оптимизировать использование ресурсов. Отслеживание треков позволяет быстро реагировать на изменения в процессе выполнения работ и своевременно корректировать планы работ. Так же по загруженным трекам производится анализ входов/выходов транспортных средств или полевых бригад в/за границы заданных геозон и фиксация результатов в электронном журнале.

Наиболее частой проблемой при выборе победителя тендера является отслеживание корректности подданной информации о ресурсах потенциального подрядчика. Для решения данной проблемы был создан инструмент «Лоты» (рис. 4).

Участник	График планируемой загрузки	Дата и время загрузки	Пересечения	Превышение численности	Отчет о проверке	Действие
ООО "Теплотранс"	Форма 15. График загрузки по ИИ 2022-2023 г. (ин3).xlsx	30.08.2023 11:00:18	✓	✓		Установлен победителем

Рис. 4. Инструмент для отслеживания информации по тендеру

Инструмент позволяет эффективно организовывать и отслеживать конкурсную ситуацию внутри лота, анализировать информацию по объемам работ исполнителей, в автоматическом режиме выявлять превышение ресурсов исполнителя, а также пересечения ресурсов с другими лотами.

Заключение

Экономический эффект за год для одного сотрудника, курирующего деятельность субподрядных организаций при проведении инженерных изысканий, составляет порядка 50%, что существенно упрощает процесс управления ресурсами в рамках инженерных изысканий, а также подтверждает факт его автоматизации.

Список литературы

1. СП 47.13330.2016 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96 (с Изменением N 1). – Москва: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт), 2016. – 111 с.

Development of a Dynamic User Interface for an Electronic Device Descriptions Interpreter for Intelligent Sensors

R.V. Pushkarskiy^{1,2}, V.A. Belsky^{1,2}

Scientific Supervisor: Prof., Dr., A.G. Goryunov²

¹ASPECT LLC, Russia, Tomsk, 37 Saltykova-Shchedrin str., office 18, 634021

²Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, 30 Lenin str., 634050

E-mail: rvp6@tpu.ru, vab59@tpu.ru

Abstract. To solve the problem of supporting intelligent sensors manufactured in the Russian Federation by foreign software, Aspect LLC has developed a HART-compatible Colibri field bus. Within the framework of the Colibri project, the Colibri software is being developed to work with intelligent sensors and their electronic descriptions.

Key words: HART, EDD, EDDL, Colibri, CDD, Qt Framework.

Introduction

Currently, there is a problem of lack of support for foreign software for intelligent sensors manufactured in Russia. Aspect LLC has developed a Hart compatible field data bus “Colibri”, which provides interaction of automated process control and monitoring systems with intelligent field devices. Aspect has developed prototypes of a system for end-to-end control and diagnostics of field equipment based on the Colibri protocol, as well as a field Hart compatible Colibri communicator [1].

Bench tests are currently being conducted for the compatibility of the Colibri protocol with instrumentation and control equipment using Hart technology. As part of the development of the Colibri software, the task is to create a dynamic user interface for all types and models of intelligent sensors in the industry, which will be described in this report. In addition, it is necessary that the software being developed runs on low-performance devices, such as industrial secure tablets, and for this reason it is important to monitor the use of PC resources [2].

Description of UI Creation in Colibri Software

Qt framework for C++ was chosen to develop the application, since the main goals are good performance, cross-platform compatibility and support for low-performance devices [3]. Target OS: Astra Linux, Astra Linux Mobile and other Linux based systems, as well as Windows. Qt 5.15.2 LTS and its standard libraries are used for development.

To work with intelligent sensor, a special file needs to be loaded in software. This file is called electronic device description (EDD) in HART and Colibri device description (CDD) in Colibri software. EDD or CDD contain different elements such as variables, methods, menus, etc. [4]. These files are used to display menus where different parameters of intelligent sensor could be monitored or changed.

Figure 1 shows a detailed diagram of creating a user interface for intelligent sensor. CDD is processed by a special package named Colibri SDK, which generates a binary file. After that, the binary file is processed by the software to create UI. After processing, this file as an object of the ColibriDD class (C++ class of Colibri project in Qt) is passed to the SetupUI method. This object contains a set of menus that can contain different types of variables, their captions, methods, headers, splitters and menus. For each menu, the DrawMenu method is called, which creates a page for this menu in the UI and a button to select this menu in the menu list. Next, the method goes through all the menu elements and performs certain actions for each type of element: for different types of variables, a corresponding widget is created that displays the value of the variable and allows to change it; a button widget is created for the method, which will call the corresponding method when clicked; for the header and a splitter QLabel with the text and a QFrame styled as a line is created, respectively; finally, if the menu item is also a menu, the DrawMenu method will be recursively

called. After going through all the menus in the electronic description of the devices, all the created elements are placed in the UI and displayed to the user.

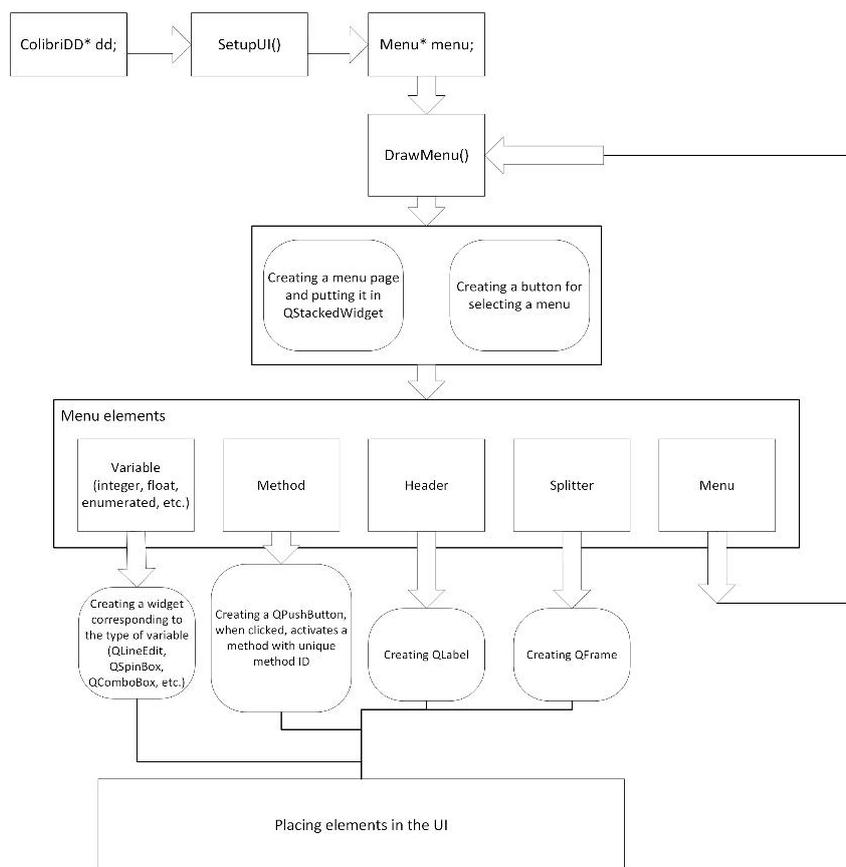


Fig. 1. A detailed scheme for creating a user interface

Experiment

Several CDD variants with different amounts of elements were tested. These CDDs contained same elements but in different amounts (128, 1024, 2048 and 4096). During the test, the use of RAM by the Colibri application was measured when creating UI using CDDs. The measurements were carried out using the Astra Linux system monitor. Memory usage was measured before and after the launch of the SetupUI method. The difference in the amount of memory used is the memory consumption of the created UI. RAM measurement results are presented in the table below.

Table 1

Experiment results

	CDD 1	CDD 2	CDD 3	CDD 4
Number of elements, pcs	128	1024	2048	4096
Experiment number	The amount of RAM used, KiB			
1	216	5732	12580	25012
2	224	5744	12732	26308
3	224	5720	12608	25784
4	220	5980	12568	26044
5	220	5716	12592	26056
6	224	6040	12604	26060
7	220	5788	12584	26040

8	224	6084	12576	25932
9	244	6040	12568	25972
10	220	5988	12572	26024
Average value	224	5883	12598	25923

Using data from the table, a graph that demonstrates the dependence of RAM usage by Colibri application from the number of elements in CDD, was created. The graph shows that there is a linear relationship between the use of RAM and the number of interface elements.

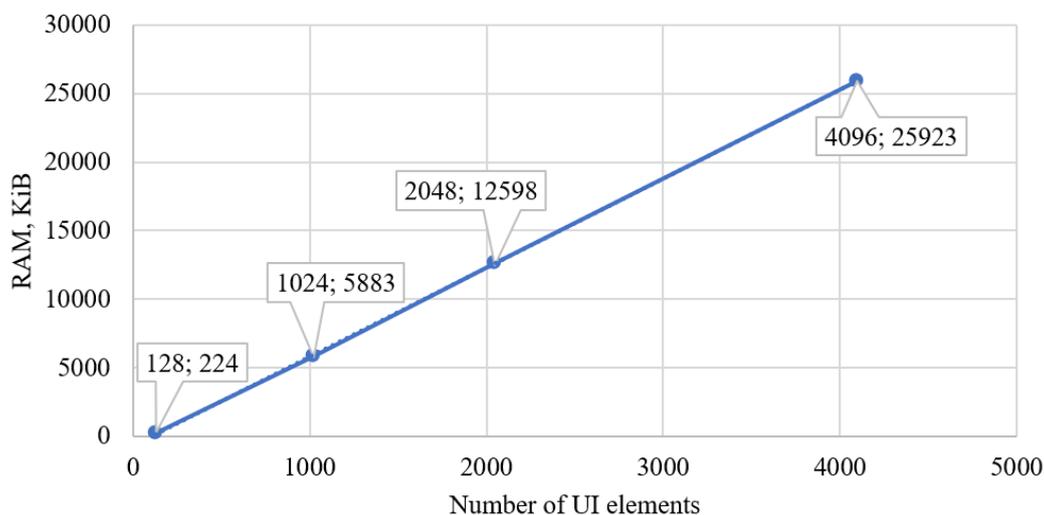


Fig. 2. Colibri RAM usage depending on the number of UI elements

Conclusion

The approach described in the second section allows to dynamically create a UI for any intelligent sensor, if its electronic description is made in accordance with the requirements of Colibri.

Linear relationship can be observed between number of elements in CDD and RAM usage of Colibri software. Using this relationship, it can be estimated how much RAM the Colibri software will use when displaying a menu from CDD with a certain number of elements. This means that it will help determine the recommended system requirements for the hardware on which the Colibri software will be installed.

References

1. Продукты и решения // ООО "Аспект": Разработка цифровых измерительных систем URL: <https://digitalmetrolog.com/ru/products> (accessed: 20.02.2024).
2. Каталог оборудования - Промышленные планшеты // Mobile Inform Group URL: <https://m-infogroup.ru/oborudovanie/planshetnye-kompjutery/> (accessed: 04.03.2024).
3. Будников А.И. Сравнительный анализ производительности реализаций инструментария Qt для языков C++ и Python // Стратегия устойчивого развития регионов России. 2014. №21. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-proizvoditelnosti-realizatsiy-instrumentariya-qt-dlya-yazykov-c-i-python> (accessed: 10.03.2024).
4. FCG_TS61804-4 Edition 2.1 EDD Interpretation // FieldComm Group Library. (n.d.). URL: <https://library.fieldcommgroup.org/61804/TS61804-4/2.1/#page=1> (accessed: 20.02.2024)
5. Qt Documentation | Home // Qt Documentation URL: <https://doc.qt.io/> (accessed: 10.03.2024).

УДК 535.42

Электрически управляемые спектральные фильтры на основе двухслойных чирпированных ФПМ-ЖК дифракционных структур

Д.С. Растрыгин, В.О. Долгирев

Научный руководитель: профессор, к.ф.-м.н., С.Н. Шарангович
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: gg9dragon9gg@gmail.com

Electrically controlled spectral filters based on two-layer chirped PPM-LC diffraction structures

D.S. Rastrygin, V.O. Dolgirev

Scientific Supervisor: Prof., Ph.D, S.N. Sharangovich
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenin str., 40, 634050

E-mail: gg9dragon9gg@gmail.com

***Abstract.** This paper presents the diffraction characteristics of electrically controlled chirped two-layer holographic diffraction structures formed in photopolymer materials with a high proportion of nematic liquid crystals. The results obtained demonstrate the possibility of using multilayer holographic diffraction structures as the main element for electrically controlled optical spectral filters for DWDM communication networks.*

***Key words:** spectral filters, chirp, diffraction, DWDM.*

Введение

В наши дни значимость дифракционной оптики становится все более очевидной в научном и техническом мире. В основе этого явления лежит возможность создания и изучения оптических компонентов, основанных на дифракционных принципах. Это открывает широкие возможности для их использования в различных областях.

Дифракционные компоненты уже нашли свое применение в области оптической коммуникации, при создании 3D-экранов, а также виртуальных, дополненных и смешанных реальностей. Они также используются в робототехнике и медицине. Благодаря развитию дифракционной оптики, возможно улучшить характеристики оптических систем, увеличить скорость передачи данных и внедрять инновации в современные технологии. Все это делает дифракционную оптику особенно актуальной и перспективной для развития науки и техники.

В связи с быстрым развитием оптических коммуникационных систем, ученые сталкиваются с задачей поиска не только новых, но и экономически эффективных компонентов для этих систем. Дифракционная оптика на основе многослойных голографических структур может найти широкое применение в оптических сетевых системах, например, как оптические спектральные фильтры.

Для спектральной фильтрации оптического излучения предлагается использовать систему тонких пленок фотополимерного материала с нематическими жидкими кристаллами (ФПМ-ЖК) [1], разделенных буферными слоями, в которых методом голографического формирования была бы сформирована дифракционная решетка. При считывании таких структур оптическим излучением возникают интерференционные эффекты между дифракционными слоями, что способствует особому виду угловой селективности. Данный вид угловой селективности дифрагировавшего излучения таких структур представляет собой набор локальных максимумов и минимумов, количество и ширина которых зависят от разнообразных параметров, включая количество дифракционных слоев и отношение их толщин [2, 3]. Путем представления локальных максимумов, как полос пропускания для

конкретных длин волн при отклонении от условий дифракции Брэгга, можно использовать такие структуры для спектральной фильтрации оптического излучения.

Вместе с тем, актуальной остается задача поиска способов увеличения пропускной способности МНГДС с целью увеличения числа спектральных каналов. Одним из возможных способов достижения поставленной задачи является запись чирпированных МНГДС, которые имеют уширение угловых и спектральных характеристик за счет записи нескольких дифракционных структур.

Целью данной работы является исследование дифракционных характеристик чирпированных МНГДС, сформированных в фотополимерном материале с нематическими жидкими кристаллами

Материалы и методы исследования

При численном моделировании поляризацию падающего излучения будем считать совпадающей с поляризацией собственных необыкновенных волн для каждого дифракционного слоя. Также, при численном расчете будет использована двухслойная голографическая дифракционная структура (ГДС) с однородными профилями показателя преломления, записанная на длине волны $\lambda_0 = 1550$ нм и углами между пучками $2\theta = 18$ градусов. Параметры для моделирования: $\lambda_{read} = 1550$ нм – длина считывающей волны; $d_n = 20$ мкм; $t_n = 297$ мкм – буферный слой для стандартной ГДС, $t_n = 910$ мкм – буферный слой для чирпированной ГДС, $0,5\sqrt{2}\varphi^{n,n_n} = 2,5 \cdot 10^5$ 1/мм – отклонение модуля вектора К от среднего значения. Вышеприведенные параметры были подобраны таким образом, чтобы локальные максимумы соответствовали сетке DWDM с разносом каналов в 0.8 нм.

Результаты численного моделирования

На рис. 1 приведена угловая селективность стандартной двухслойной ГДС относительно длин волн DWDM диапазона. Зависимость выражена в дБ относительно интенсивности излучения.

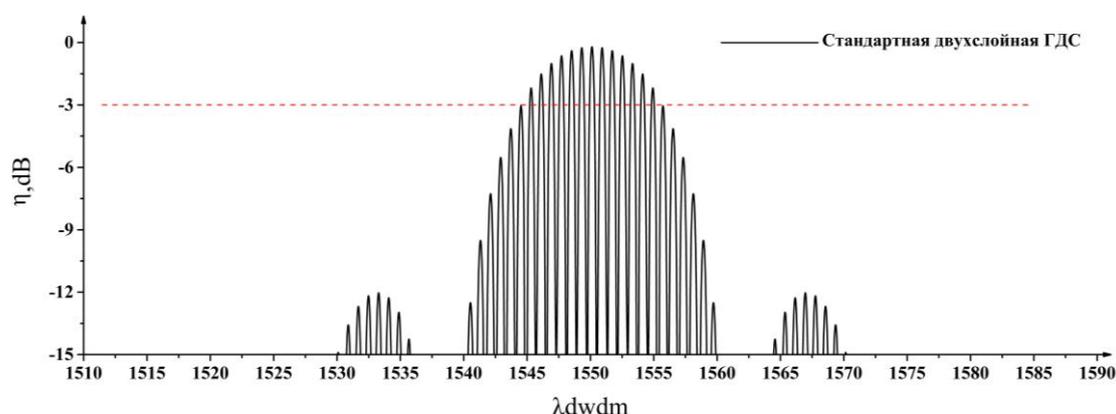


Рис. 1. Угловая селективность стандартной двухслойной ГДС

На рис. 2 приведена угловая селективность чирпированной двухслойной ГДС относительно длин волн DWDM диапазона.

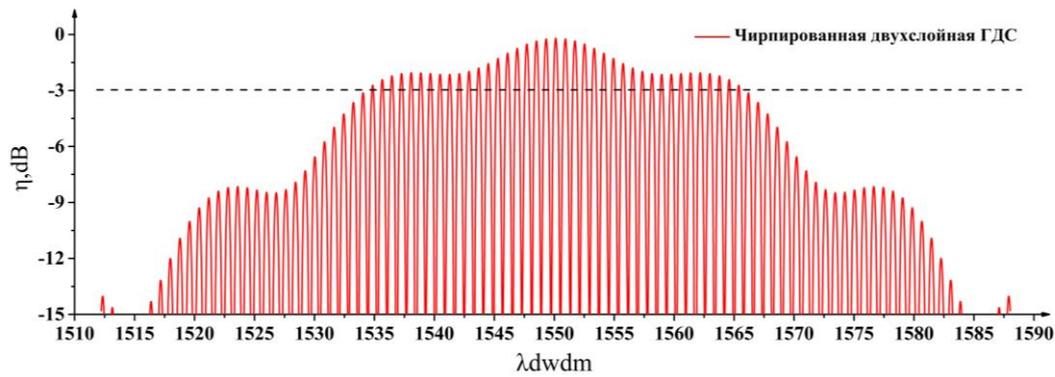


Рис. 2. Угловая селективность чирпированной двухслойной ГДС

Как видно из рисунков 1 и 2 при формировании чирпированной ГДС увеличивается ширина угловой селективности, и, следовательно, получаем увеличения числа спектральных каналов по уровню -3 дБ с 13 для стандартной двухслойной ГДС до 39 для чирпированной двухслойной ГДС. Таким образом получаем увеличение полосы пропускания в 3 раза.

Заключение

В данной работе в результате численного моделирования показано формирование чирпированной двухслойной ГДС в ФПМ-ЖК. Приведенные результаты численного моделирования показывает возможность увеличить число каналов спектрального фильтра DWDM диапазона в 3 раза путем использования дифракционных структур с изменяющимся периодом.

Список литературы

1. Dovolnov E., Sharangovich S., Sheridan J.T. Theoretical and experimental investigation of photopolymer chirped gratings formation // Photorefractive Effects, Materials, and Devices. – 2005. – Vol. 99. – P. 337–342.
2. Долгирев, В.О., Шарангович С.Н., Растрыгин Д.С. Исследование дифракции света на электрически управляемых мультиплексированных многослойных неоднородных голографических ФПМ-ЖК дифракционных структурах // Труды школы-семинара «Волны-2023». Нанопотоника, метаматериалы и фотонные кристаллы. – 2023. – С. 47–50.
3. Pen E.F., Rodionov M.Y. Properties of multilayer nonuniform holographic structures // Quantum Electron. – 2010. – Vol. 40. – P. 919–924. DOI: 10.1070/QE2010v040n10ABEH014360.

**Числовое определение для первой и второй формант
безударных гласных русского языка**

Н.С. Репьюк, В.И. Федосеев

Научный руководитель: доцент, к.т.н. А.А. Конев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: rns@fb.tusur.ru

**Numerical definition for the first and second formants
of unstressed vowels of the Russian language**

N.S. Repyuk, V.I. Fedoseev

Scientific Supervisor: Ass., Prof., PhD. A.A. Konev

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenin str., 40, 634050

E-mail: rns@fb.tusur.ru

***Abstract.** This paper presents a numerical definition of the frequencies of the first and second formants for unstressed vowels of the Russian language.*

***Key words:** formant, frequency, phoneme.*

Введение

Исследование базовых параметров звука позволяет установить определённые закономерности его произношения на физическом уровне. Такой подход позволит совершенствовать системы распознавания речи с точки зрения понимания процессов и параметров, опираясь на которые происходит классификация звуков.

Целью данной работы является численное определение значений формант в двух диапазонах частот для безударных гласных русского языка.

Экспериментальная часть

Акустическую характеристику гласных принято давать в терминах формантной структуры [1]. Гласный звук определяется первыми двумя формантами.

В данной работе использовался программный комплекс sr [2] для построения графиков и нахождения численного значения для первой и второй формант в частотных диапазонах 0-750 и 750-2500 Гц соответственно [3]. Для обработки имеющихся данных было необходимо привести их к унифицированному виду: короткой аудиозаписи в формате WAV 12 кГц, 16 бит, содержащей только рассматриваемый звук. Далее запись обрабатывалась в корпусе sr.

Стоит отметить прежде всего, что в случае с безударными гласными русского языка записей для звука [o] сделано не было, поскольку при отсутствующем ударении его произношение изменяется, превращая его в безударный [a].

Положение гласной в русском языке между определёнными звуками значительно влияет на наблюдаемые параметры. Принципы данного влияния:

- между двумя твёрдыми – понижение значения гармоник в верхнем диапазоне;
- между твёрдым и мягким – восходящий характер значений гармоник в верхнем диапазоне;
- между мягким и твёрдым – нисходящий характер значений гармоник в верхнем диапазоне;
- между двумя мягкими – повышение значения гармоник в верхнем диапазоне.

Таким образом для русских гласных целесообразнее всего будет ввести дополнительный столбец с так называемой «верхней частотой». Это значение показывает максимальную частоту, которую может принять верхняя для данной гласной форманта. При этом нижняя форманта поднимется на то же значение Гц, на которое поднялась верхняя.

Для демонстрации приведен один график для каждой фонемы: звук между двумя твёрдыми. На рис.1 представлены фонемы [a] и [y] между двумя твёрдыми звуками соответственно.

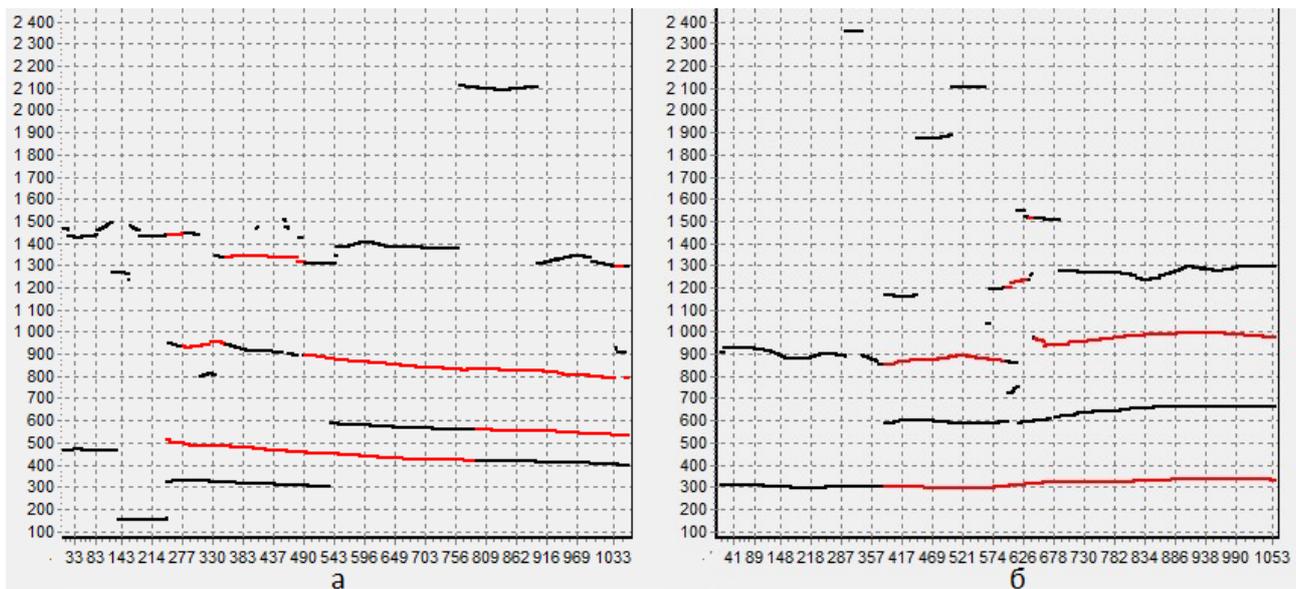


Рис. 1. Фонема [a] между двумя твёрдыми (а) и фонема [y] между двумя твёрдыми (б)

На рис.2 представлены фонемы [э] и [и] между двумя твёрдыми звуками соответственно.

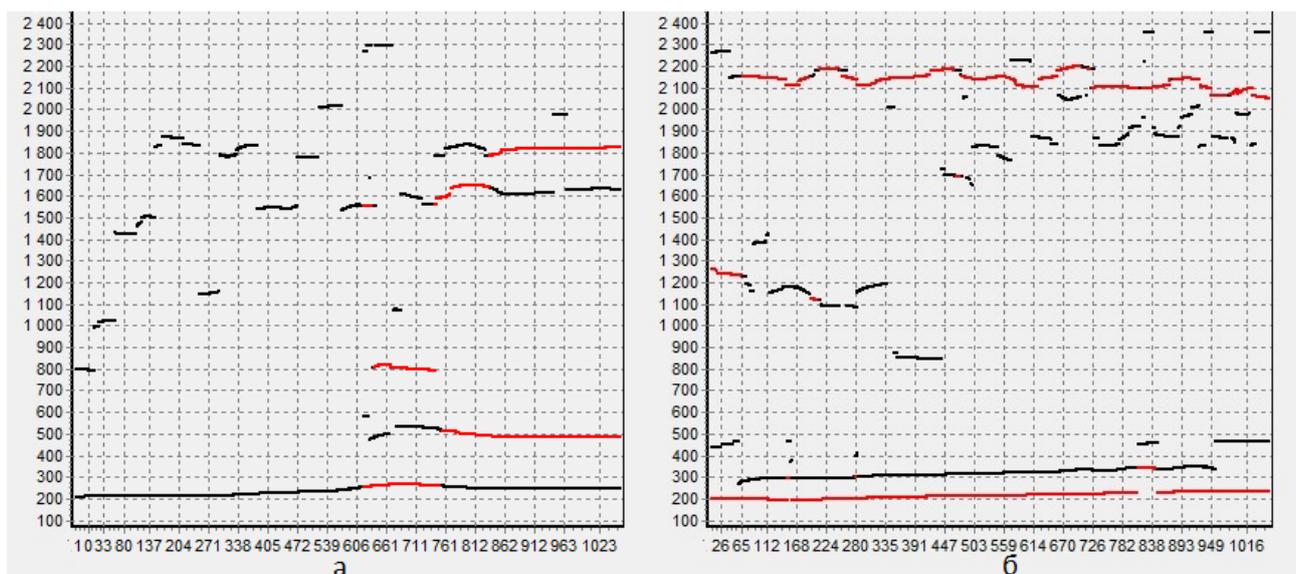


Рис. 2. Фонема [э] между двумя твёрдыми (а) и фонема [и] между двумя твёрдыми (б)

На рис.3 представлена фонема [ы] между двумя твёрдыми звуками.

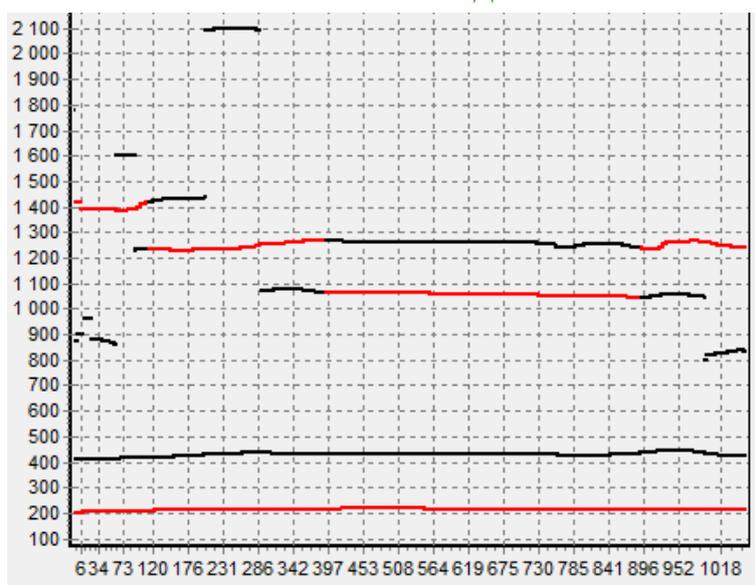


Рис. 3. Фонема [ы] между двумя твёрдыми

Результаты

В табл. 1. представлен обобщённый список результатов для безударных гласных. Обозначения в таблице: «↓» - форманта находится снизу, «↑» - форманта находится сверху, «≡» - форманта имеет сильную раздробленность.

Таблица 1

Параметры всех рассматриваемых русских гласных звуков

	Нижний диапазон		Верхний диапазон		
	Первая	Вторая	Первая	Вторая	«Верхняя» частота
[а]	500-600↑	200-500↓	800-1100↓	800-1400↑≡	~2300
[у]	200-300↓	400-500↑	800-1000↓	1200-1300↑	~2400
[э]	400-600↑	200-400↓	1700-1900↓	1500-1700↑	2200-2300
[и]	~200↓	300-500↑	2100-2200↑	1800-2000↓≡	~2400
[ы]	200-300↓	300-400↑	1000-1100↓	1300-1400↑	~2300

Данные полученные выше по сравнению со средними значениями, указанными в [1], имеют более высокие показатели в верхнем диапазоне, чем значения для ударных гласных звуков.

Заключение

В результате проведенных исследований были выявлены численные показатели частоты первой и второй формант для безударных гласных звуков в верхнем и нижнем диапазонах частот.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках базовой части государственного задания ТУСУРа на 2023–2025 гг. (проект № FEWM-2023-0015).

Список литературы

1. Буланин Л.Л. Фонетика современного русского языка: учебное пособие. – Москва : Высшая школа, 1970. – 207 с.
2. Конев А.А. Модель и алгоритмы анализа и сегментации речевого сигнала: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2007. – 20 с.
3. Конев А.А., Онищенко А.А., Костюченко Е.Ю., Якимук А.Ю. Автоматическое распознавание музыкальных нот // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. – 2015. – № 3 (60). – С. 32–47.

Разработка и апробация десктопного приложения офтальмологического профиля

Т.И. Романов, А.О. Аспомбитова

Научный руководитель: д.т.н. Е.О. Филиппова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: tir1@tpu.ru

Development and testing of an ophthalmology profile desktop application

T.I. Romanov, A.O. Aspombitova

Scientific Supervisor: Dr. E.O. Filippova

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: tir1@tpu.ru

***Abstract.** As a result of the work, a desktop application for an ophthalmological profile was developed and tested, including the following elements: an authorization window; the main work area with the creation of a schedule for an authorized doctor and functions for working with patients; window for working with patients, administrator window.*

***Key words:** development, ophthalmology, application*

Введение

В современном мире, где технологии стремительно развиваются, остро стоит вопрос об интеграции передовых решений в медицинскую практику. Офтальмология, как одна из наиболее важных областей медицины, требует особого внимания в свете увеличения числа заболеваний глаз, обусловленных как возрастными изменениями, так и современным образом жизни, включая длительную работу за компьютером и воздействие экранов. В этом контексте проект по созданию десктопного приложения – медицинской информационной системы офтальмологического профиля приобретает особую актуальность и значимость.

Инновационное приложение, включающее предиктивные алгоритмы, способно значительно улучшить качество и доступность офтальмологической помощи. Кроме того, офтальмология – это специальность, требующая интенсивного визуального восприятия, которая часто включает в себя эскизы или формальные визуализирующие исследования для оценки состояния структур глазного яблока пациента. В результате врачи-офтальмологи документируют клинические результаты, используют нарисованные от руки эскизы (например, глазного дна или полей зрения) ^[1-3]. По этой причине сложно использовать в офтальмологической практике существующие медицинские системы, которые в основном полагаются на ввод данных с помощью клавиатуры или мыши без полезного механизма рисования.

Стоит отметить, что использование алгоритмов анализа изображений глазного дна и сравнительный анализ параметров глаз позволяют выявлять потенциальные патологии на ранних стадиях, что критически важно для успешного лечения многих заболеваний.

Цель исследования – разработка и апробация десктопного приложения офтальмологического профиля.

Материалы и методы исследования

Разработка десктопного приложения офтальмологического профиля осуществлялась на языке C# и в среде Visual Studio. Для проектирования всего пользовательского интерфейса был выбран встроенный фреймворк WPF (Windows Presentation Foundation). В качестве базы данных выбрана SQLite – локальная база данных, хранящаяся на компьютерах, где разрабатывается программа.

Результаты

Для разрабатываемой медицинской информационной системы были определены следующие необходимые элементы:

- Окно авторизации;
- Основная рабочая область, в которой представлено расписание авторизованного врача и функции для работы с пациентами;
- Окно работы с пациентами (добавление пациента в базу данных, создание больничного листа, осмотр пациента и т.д.);
- Окно администратора.

Для каждого созданного в программе окна выделено три файла, полностью описывающих его работу: файл модели (Model) окна, в котором хранится логика работы с базой данных и вызываемые в окне методы, файл отображения (View), реализующий методы вывода окна и его элементов на экран и файл, связывающий внутреннюю логику и логику отображения (ViewModel). Подобная разбивка упрощает разработку приложения с большим количеством вызываемых окон.

На рисунке 1 представлено окно работы с пациентами.

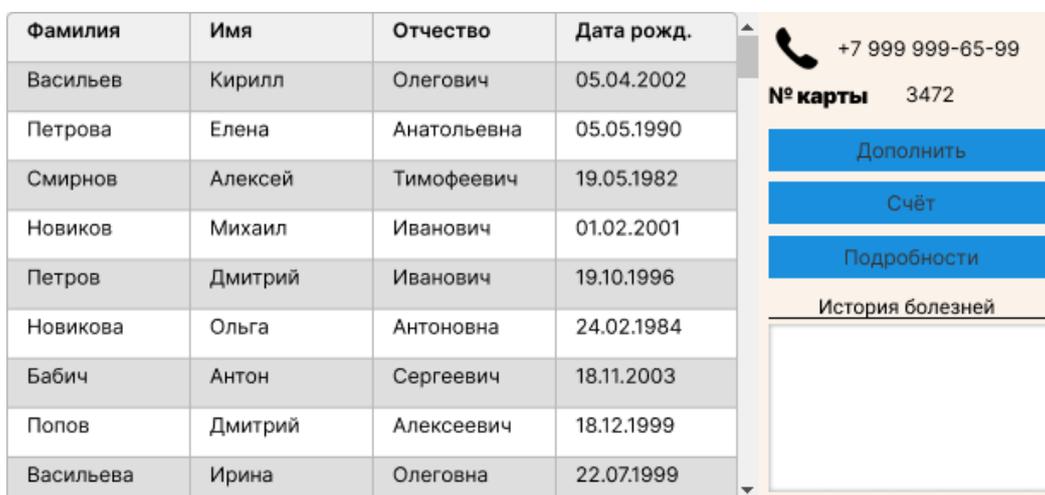


Рис. 1. Окно работы с пациентами

На рисунке 2 представлено рабочая область врача-офтальмолога с формированием расписания приемов пациентов.

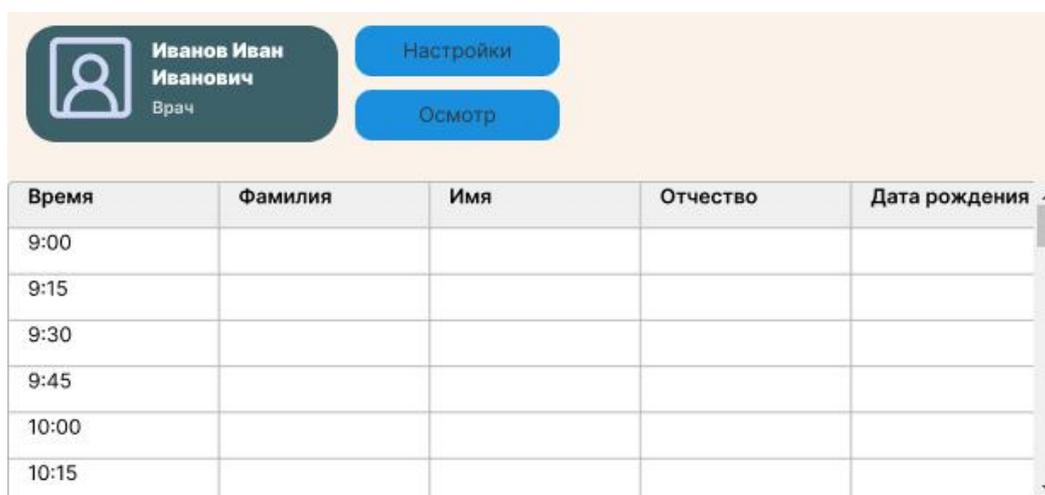


Рис. 2. Рабочая область врача-офтальмолога с формированием расписания приемов пациентов

Основная рабочая область врача-офтальмолога включает в себя не только учет пациентов поликлинического звена и работу с ними, но и стационарный уровень оказания медицинской помощи. Стоит отметить отдельно разработанный функциональный блок «Обследование пациента» (после формирования истории болезни), который позволяет вносить данные по каждому методу исследования офтальмологического больного отдельно с прорисовкой полей зрения и указанием градусов в разделе «Периметрия».

Заключение

В результате работы было разработано и апробировано десктопное приложение офтальмологического профиля, включающая следующие элементы: окно авторизации; основная рабочая область с формированием расписания авторизованного врача и функциями для работы с пациентами; окно работы с пациентами, окно администратора.

Список литературы

1. Murphy E.C., Ferris F.L., O'Donnell W.R. An electronic medical records system for clinical research and the EMR-EDC interface // Investigative ophthalmology & visual science. – 2007. – Vol. 48, № 10. – P. 4383–4389.
2. Meinert D.B. Resistance to Electronic Medical Records (EMRs): A Barrier to Improved Quality of Care // Informing Science: International Journal of an Emerging Transdiscipline. – 2005. – Vol. 2. – P. 493–504.
3. Miller R.H., Ida S., Physicians' use of electronic medical records: barriers and solutions // Health affairs. – 2004. – Vol. 23, № 2. – P. 116–126.

**Модификация свойств поверхностей керамических покрытий,
синтезированных электронно-лучевым способом,
при воздействии на них потоками ускоренных ионов металлов**

С.А. Сальников, Т.О. Клишкин, А.К. Нестеренко

Научный руководитель: с.н.с., к.т.н., А.В. Тюнков

Томский государственный университет систем электроники и радиотехники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: salnikovs802@gmail.com

**Modification of properties of surfaces of ceramic coatings
synthesized by electron-beam method when exposed to streams of accelerated metal ions**

S.A. Salnikov, T.O. Klimkin, A.K. Nesterenko

Scientific Supervisor: Senior researcher, Ph.D. A.V. Tyunkov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: salnikovs802@gmail.com

Abstract. *The aim of the work was to study the processes of modification of surface properties of ceramic coatings based on zirconium oxide, synthesized by electron-beam method, when exposed to streams of accelerated yttrium and magnesium ions. The implantation of metal ions on the surface of coatings based on zirconium ceramics stabilized by yttrium, yttrium ions and magnesium ions were carried out, morphology and tribological characteristics of the modified coatings were investigated*
Key words: *Vacuum arc discharge, ion implantation, magnesium ions, yttrium ions.*

Введение

В настоящее время активно ведется разработка и постоянное совершенствование технологии по нанесению теплозащитных покрытий (ТЗП) с высокой температурной и механической стойкостью. Одним из зарекомендовавших себя материалов в качестве ТЗП является циркониевая керамика, стабилизированная оксидом иттрия. В силу своих уникальных свойств: высокая прочность, огнеупорность, твердость, а также устойчивость к высоким температурам, позволяет обеспечить данному материалу весьма обширный список различных отраслей применения. Электронно-лучевое испарение керамики в форвакуумной области давлений (1–100 Па), реализуемое с использованием форвакуумных плазменных источников электронов, представляет собой один из перспективных методов создания керамических покрытий на поверхности деталей и устройств. Однако, при термическом воздействии на керамическую мишень с последующим осаждением продуктов ее диссоциации происходит изменение ее стехиометрического состава, а именно уменьшение доли примеси оксида иттрия, что приводит к дестабилизации оксида циркония. Чтобы нивелировать данный процесс, возможно, применение последующей имплантации ионов редкоземельных элементов (Mg, Ca, Y) в поверхность керамических материалов, способствующих стабилизации диоксида циркония [1].

Экспериментальная часть

Осаждение покрытий осуществлялось с использованием форвакуумного источника электронов с плазменным катодом, методика эксперимента и описание конструкции электронного источника подробно изложена в [2]. Ионная обработка синтезированных покрытий ионами иттрия и магния проводилась с использованием ионного источника Mevva 5 Ru [3] на основе вакуумного дугового разряда. Длительность импульсов вакуумной дуги составляла 250 мкс, амплитуда 150 А и частота следования 10 с^{-1} . Для извлечения ионов применялось постоянное напряжение 30 кВ, которое подавалось между анодом дуги и

заземленным извлекающим электродом. Ускоренный ионный пучок перемещался в эквипотенциальном пространстве заземленной вакуумной камеры. Скорость набора дозы составляет приблизительно $1,5 \cdot 10^{13}$ и $5 \cdot 10^{13}$ ион/(см²·с) для иттрия и магния, соответственно. Предварительно производилась «ионная очистка» поверхности образцов в течении 20 минут при давлении в вакуумной камере $2,7 \cdot 10^{-4}$ Па (величина ускоряющего напряжения 6 кВ).

Результаты

Экспериментальные образцы были исследованы методом растровой электронной микроскопии, результаты которой приведены на рис. 1.

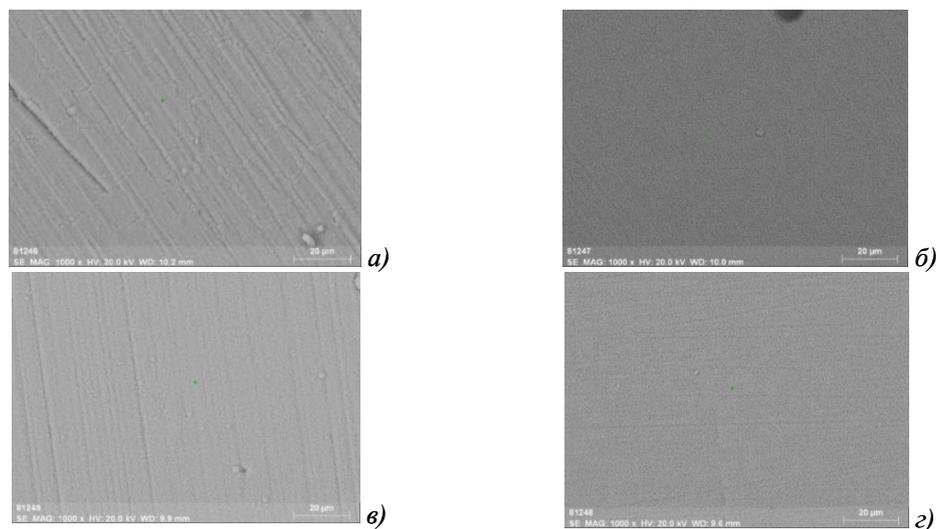


Рис. 1. Поверхность покрытия из керамики ZrO_2 , стабилизированной Y_2O_3 (а) синтезированной электронно-лучевым способом (б) после имплантации ионов магния Mg с экспозиционной дозой $1 \cdot 10^{17}$ см⁻² (в) после имплантации ионов иттрия Y с экспозиционной дозой $1 \cdot 10^{17}$ см⁻² и (г) после имплантации сначала ионов иттрия Y с экспозиционной дозой $1 \cdot 10^{17}$ см⁻², затем ионов магния Mg с экспозиционной дозой $1 \cdot 10^{17}$ см⁻²

Как видно из представленных изображений, для каждого характерно наличие параллельных полос, однако, на рис. 1 б, г упомянутые полосы выражены менее явно. Наличие данных полос может указывать на присутствие в поверхности полученных покрытий чередующихся выступов и впадин.

Применение иттрия в процессе имплантации было призвано целью повысить его концентрацию в приповерхностном слое в силу того, что при электронно-лучевом испарении в процессе нанесения паров материалов мишени на подложку происходит обеднение керамического состава, в частности, процентного соотношения оксида иттрия. Изначальный состав включал в себя порядка 5–8 мол.% оксида иттрия Y_2O_3 . Несложно оценить, что при минимальном содержании это соответствует не менее 2,5 ат.% иттрия. Однако, исследования элементного состава показали содержание доли иттрия в исходном покрытии порядка $\approx 2,3$ ат.%. После ионной имплантации его содержание в приповерхностном слое удалось повысить в среднем до $3,3 \pm 0,2$ ат.%. Несомненно, чтобы контролировать содержание оксида иттрия на уровне 5–8 мол.% требуется увеличение имплантируемой дозы самого оксида в приповерхностный слой, однако, в рамках данного исследования данной задачи не ставилось. Полученная модификация поверхностей позволила снизить коэффициент трения по сравнению с исходным покрытием почти в 4 раза, а также привела к уменьшению параметра износа (рис. 2.). Однако в последствии, по мере истирания наблюдалась тенденция к увеличению коэффициента трения до значений 0,5 и более. Имплантация ионов иттрия также привела к незначительному уменьшению параметра износа – $5,5 \cdot 10^{-3}$ мм³/(Н·м) по сравнению со значением, характерного для поверхности исходного покрытия – $7,1 \cdot 10^{-3}$ мм³/(Н·м).

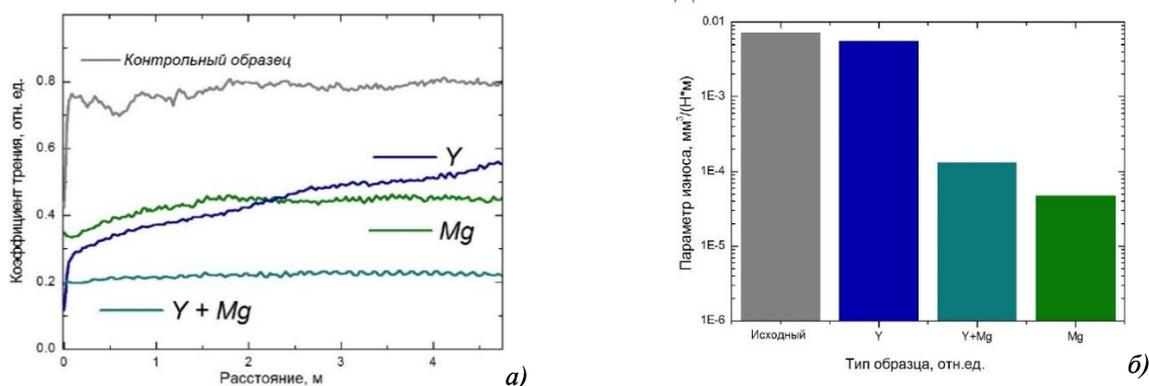


Рис. 2. Динамика (а) коэффициентов трения (б) параметра износа покрытий из керамики ZrO_2 , стабилизированной Y_2O_3 , до и после ионной имплантации для различных материалов имплантированных ионов

Целью имплантации ионов магния являлось создание в приповерхностном слое структуры подобной ZrO_2 - Y_2O_3 - MgO , поскольку оксид магния способствует также стабилизации керамики на основе оксида циркония, как и оксид иттрия. В результате внедрения ионов магния, как при одиночной (Mg), так и комбинированной имплантации с ионами иттрия ($Y+Mg$), наблюдалось уменьшение коэффициентов трения до уровней $\approx 0,2$ и $\approx 0,4$ (рис. 2). Также происходило уменьшение параметров износа, при комбинированной имплантации ($Y+Mg$) до $1,3 \cdot 10^{-4} \text{ мм}^3/(\text{Н} \cdot \text{м})$, а в случае имплантации только ионов магния – до $5 \cdot 10^{-5} \text{ мм}^3/(\text{Н} \cdot \text{м})$. Таким образом, выявлено непосредственное влияние внедрения магния в приповерхностные слои покрытий на основе циркониевой керамики, стабилизированной оксидом иттрия, на антифрикционные и износостойкие характеристики её поверхности.

Заключение

Исследование трибологических характеристик керамических покрытий показало, что ионная имплантация приводит к их модификации, а именно, снижению коэффициента трения и параметра износа поверхности. В результате комбинированного внедрения иттрия и магния достигнуто, в рамках настоящей работы, наименьшего значения коэффициента трения – 0,2, что практически в 4 раза меньше коэффициента трения для исходного покрытия. Также имплантация ионов магния оказалась наиболее эффективна, применительно к достижению наименьшего параметра износа, который составил $\approx 5 \cdot 10^{-5} \text{ мм}^3/(\text{Н} \cdot \text{м})$, что в 140 раз меньше параметра износа необработанного керамического покрытия. Полученные результаты имеют значение для решения задач повышения износостойкости керамических покрытий, синтезированных электронно-лучевым способом, путём создания ионно-модифицированных приповерхностных слоёв, при сохранении исходных свойств в объеме покрытий.

Работа поддержана грантом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках конкурса FEWM-2024-0006.

Список литературы

1. Федоров П.П., Яроцкая Е.Г. Диоксид циркония. Обзор // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2021. – Т. 23, № 2. – С. 169–187.
2. Андронов А.А., Золотухин Д.Б., Назаров А.Ю., Окс Е.М., Рамазанов К.Н., Тюньков А.В., Юшков Ю.Г. Электронно-лучевое осаждение покрытий из циркониевой керамики форвакуумным плазменным источником электронов // Прикладная физика. – 2023. – № 2. – С. 91–96.
3. Gushenets V.I., Nikolaev A.G., Oks E.M., Vintizenko L.G., Yushkov G.Y., Oztarhan A., Brown I.G. Simple and inexpensive time-of-flight charge-to-mass analyzer for ion beam source characterization // Rev. Sci. Instrum. – 2006. – V. 77. – P. 063301.

УДК 004.42

**Разработка мобильного приложения для сопровождения психотерапии
и самостоятельной психологической проработки**

Т.С. Симонов, П.А. Пупенко, А.Ю. Пак

Научный руководитель: М.В. Владимиров

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр-т Ленина, 40, 634050

E-mail: tim.sim4@yandex.ru

**Development of a mobile application to accompany psychotherapy
and self-study mental problems**

T.S. Simonov, P.A. Pupenko, A.Y. Pak

Scientific Supervisor: M.V. Vladimirov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenin str., 40, 634050

E-mail: tim.sim4@yandex.ru

***Abstract.** The study considers the task of developing software products to support the process of psychotherapy. Our review of modern approaches and existing solutions to this problem has shown that they contain some problems and limitations. The authors propose an original mobile application "Obsydim?", designed for independent comprehensive resolve of the user`s psychological problems and support of psychotherapy with a specialist. The application currently includes sections of psychoeducation, psychodiagnostics; exercises based on the methods of cognitive behavioral therapy, and functionality for interaction with a psychologist - the ability to view client`s test results and completed exercises, assign tasks. It is assumed that at the current stage of development, it will increase user awareness and educating in psychology.*

***Key words:** cognitive behavioral therapy, Android app, mobile mental health*

Введение

В современном мире растет популярность информационных технологий в медицине и психологии. Обзор существующих решений показал, что на сегодняшний день большим спросом пользуются приложения, которые базируются на методике когнитивно-поведенческой терапии (КПТ), некоторые из них прошли успешное тестирование за рубежом [1, 2]. Такая популярность обусловлена высокой эффективностью КПТ при лечении ряда психических расстройств и возможностью интеграции данного подхода в программные средства благодаря четкой структуре упражнений. Обзор подтверждает успешность самостоятельной работы пользователей с депрессивными состояниями. Цель данной работы - разработка приложения для повышения эффективности психотерапии и самостоятельной проработки психологических проблем пользователя.

Материалы и методы

На первом шаге [3] были определены требования к мобильному приложению для совместной работы клиента и психолога. Требования включают в себя возможность подбора психолога, психообразование, диагностику, выполнение упражнений и отправку их психологу, напоминания о заданиях для самостоятельной практики, просмотр психологом заявок на терапию от клиентов и ответа на них, проверка выполненных клиентами заданий и получение результатов тестов, пройденных клиентами. К распространенным упражнениям из КПТ относятся дневник мыслей, дневник эмоций, дневник фундаментальных убеждений, лестницы страха, поведенческие эксперименты. Данная функциональность может применяться пользователем и самостоятельно. Предполагается, что пользователь будет

работать обобщенно по следующему алгоритму: (1) освоит основы КПТ, необходимые для работы, при помощи психообразовательного контента; (2) пройдет диагностику для определения доминирующих проблем; (3) построит план работы с помощью планировщика; (4) займется проработкой, выполняя упражнения; (5) будет контролировать состояние, отмечать прогресс при помощи диагностики; (6) при необходимости будет корректировать план или переходить к работе над новыми запросами. Поскольку эффективность психотерапии во многом зависит от вовлеченности клиента [4], необходимо предоставить пользователю регулярный доступ к приложению. Поэтому целесообразно разработать клиентскую часть системы в форме мобильного приложения. Так как на конец октября 2023 более 80% смартфонов в России используют операционную систему Android [5], первым делом решено разработать Android-приложение. При проектировании клиентского приложения использован подход чистой архитектуры [6], суть которого заключается в разделении кода на слои интерфейса (ui), представления (presentation), бизнес-логики (domain) и данных (data). Слой данных содержит репозитории, которые обеспечивают получение данных с сервера, domain-слой включает в себя логику, не зависящую от платформы и хранилища данны, в качестве паттерна презентационного слоя выбран Model-View-ViewModel (MVVM), где ViewModel является абстракцией представления интерфейса [7]. В качестве серверной части для функционирования прототипа была выбрана платформа Google Firebase. Клиентское приложение для Android реализовано на языке программирования Kotlin. Используется библиотека Flow для организации взаимодействия с интерфейсом в реактивном стиле. Для работы с элементами интерфейса применяется инструмент ViewBinding. Отображение списков реализовано с использованием библиотеки RecyclerView, которая применяет паттерн ViewHolder. Для соблюдения принципа инверсии зависимостей применяется библиотека Dagger 2.

Результаты

Предлагаемая структура приложения представлена на рисунке 1. К текущему моменту разработан прототип Android-приложения, включающий в себя (1) образовательные блоки про основы самопомощи и КПТ; (2) упражнения: Дневник мыслей, Анализ проблемы, Проверка убеждений, Анализ убеждений, Рационально-иррациональный диалог; (3) четыре психологических теста и просмотр истории пройденных тестов; (4) личный кабинет пользователя с возможностью заполнить анкету психолога; (5) функциональность для взаимодействия клиента и психолога: подбор, заявка на терапию, назначение заданий.

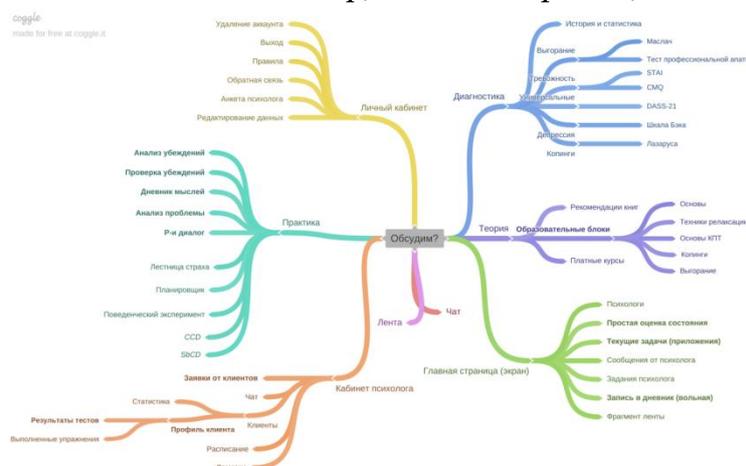


Рис. 1. Ментальная карта приложения

Была проведена оценка приложения с использованием Опросника для оценки качества мобильных приложений MARS [8], вовлекая двух экспертов - магистра когнитивной

психологии и студента клинической психологии. Из анкеты исключен раздел D с неприменимыми для прототипа показателями, такими как точность описания в магазине приложений и апробированность. В результате приложение получило следующие оценки: средняя оценка качества – 3,4 из 5; средняя субъективная оценка – 3,1 из 5; средняя оценка предполагаемого влияния на пользователя – 3,85 из 5. Такие оценки могут быть обусловлены неокончательной версией приложения. В дальнейшей разработке рекомендуется уделить особое внимание функциям вовлечения пользователя (средняя оценка 3,3 из 5) и внешней привлекательности (средняя оценка 3,2 из 5). В настоящее время дизайн приложения соответствует рекомендованному корпорацией Google стандарту Material Design 3, но слишком лаконичный для вовлечения пользователей в работу. Эксперты отметили потенциал приложения в повышении информированности о важности решения ментальных проблем и увеличении осознанности пользователей (средние оценки 4,5 из 5).

Заключение

В ходе работы был разработан прототип мобильного приложения "Обсудим?" на языке программирования котлин Kotlin, использующего "Чистую архитектуру" и архитектурный паттерн MVVM. Серверная часть базируется на Google Firebase. На текущем уровне готовности приложение направлено на увеличение осознанности и осведомленности пользователей касательно решения ментальных проблем. В дальнейшем планируется реализация развитие Android-приложения, разработка web-версии и собственной серверной части.

Список литературы

1. Jonassaint C.R., Kang C., Prussien K.V., et al. Feasibility of implementing mobile technology-delivered mental health treatment in routine adult sickle cell disease care // *Transl. Behav. Med.* – 2020. – Vol. 10. – P. 58–67.
2. Wright J.H., Mishkind M., Eells T.D., et al. Computer-Assisted Cognitive-Behavior Therapy and Mobile Apps for Depression and Anxiety // *Curr. Psychiatry Rep.* – 2019. – Vol. 21. – P. 62.
3. Симонов Т.С. Анализ процесса когнитивно-поведенческой терапии для разработки функциональных требований к программному средству // *Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XX Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2023. – С. 136–138.*
4. Tang W, Kreindler D. Supporting Homework Compliance in Cognitive Behavioural Therapy: Essential Features of Mobile Apps – Текст: электронный // *JMIR Ment Health.* – 2017. – Vol. 4 (2) – URL: <https://mental.jmir.org/2017/2/e20> (дата обращения: 27.02.2024).
5. Мобильные ОС в России // Яндекс.Радар: сайт. – 2024. – URL: <https://radar.yandex.ru/mobile> (дата обращения: 27.02.2024)
6. Мартин Р. Чистая архитектура. Искусство разработки программного обеспечения. – СПб.: Питер, 2021. – 352 с.
7. Богданова, В.С. Паттерны построения Android-приложений // *Инновационные научные исследования: теория, методология, тенденции развития: Сборник научных статей по материалам X Международной научно-практической конференции – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью Научно-издательский центр "Вестник науки", 2023. – С. 205–208.*
8. Terhorst Y., Philippi P., Sander L.B., et al. Validation of the Mobile Application Rating Scale (MARS) // *PLoS One.* – 2020. – Vol. 15 (11). – P. e0241480.

**Доказательство зависимости успеваемости ученика от его поведения
в ходе моделирования автоматизированной системы управления обучением**
А.С. Стецко

Научный руководитель: профессор, д.т.н. М.Ю. Катаев
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, ул. Вершинина, 74, 634045
E-mail: stetsko-alexeist2015@ya.ru

**Proof of the dependence of a student's academic performance on his behavior
during the simulation of an automated learning management system**
A.S. Stetsko

Scientific Supervisor: Prof., Dr. M.Yu. Kataev
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Vershinin str., 74, 634045
E-mail: stetsko-alexeist2015@ya.ru

Abstract. In this study, the problem of modeling the educational process was considered. The question arose whether it is necessary to take into account the components of the process that are the result of decomposition. To answer this question, it was necessary to prove the connection of a questionable object (student's behavior) with an object of high importance (student's academic performance). The proof of the connection was the logical assumption about the correlation of these indicators, presented in an objective form.

Key words: Student behavior, student performance, computer vision.

Введение

Моделирование процесса обучения является неизбежным этапом в создании автоматизированных систем (АС) управления обучением. В государственном стандарте эта стадия имеет название «Разработка концепции АС» [1]. Модель должна не только содержать в себе необходимые для системы объекты, но и описывать связи между ними: характер и степень взаимодействия. На рисунке 1 представлен результат декомпозиции образовательного процесса в школе или высшем учебном заведении.

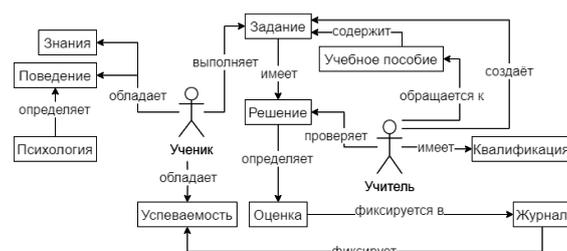


Рис. 1. Результат декомпозиции образовательного процесса

Согласно схеме, квалифицированный педагог формирует базу заданий, руководствуясь в том числе и учебными пособиями. Ученик, обладая какими-либо знаниями и особенностями поведения, выполняет задания. Решение задачи учеником оценивается преподавателем, оценка фиксируется в журнал. Совокупность оценок в журнале учебной группы устанавливает успеваемость того или иного ученика. Безусловно, степень правильности рассуждений ученика, отражённых в решении задачи, влияют на его успеваемость. Однако влияние поведения и знаний ученика на его успеваемость не так очевидно, поэтому их включение в модель процесса обучения затруднительно. Стоит отметить, что знание в образовании характеризуется наличием или отсутствием понимания изучаемого предмета, которое объективно и всеобъемлюще невозможно измерить. Следовательно, установить степень

влияния знаний ученика на его успеваемость не представляется возможным. Вопрос зависимости успеваемости ученика от его поведения остаётся неразрешённым.

Задача исследования – доказать влияние поведения ученика на его успеваемость.

Экспериментальная часть

Для доказательства влияния поведения ученика на его успеваемость необходимы исходные данные. Успеваемость характеризуется набором (массивом) оценок, выставляющихся с использованием порядковой шкалы. Единица оценки поведения не установлена на законодательном уровне [2]. На сегодняшний день оценка субъективна со стороны учителя и представляет собой комментарий о поведении ученика в устном или письменном виде [3]. Таким образом, перед создателями автоматизированной системы управления обучением возникает подзадача: объективизировать оценку поведения ученика.

Наиболее достоверную оценку поведения можно получить при помощи компьютеризированных методов. Например, оценку поведения можно отождествить с оценкой положения головы ученика во время выполнения задания. С помощью методов компьютерного зрения и анализа изображений цифровой камеры [4, 5] появляется возможность зафиксировать угол поворота головы. Результаты анализа изображений, представленные в виде графика, дают представление о периодичности поворота и наклона головы (рисунки 2, 3). Это может быть полезно в случаях фиксирования списывания задания или смены фокуса внимания. Если угол поворота головы неизменен или несущественно меняется, значит ученик был сконцентрирован на задании. Сконцентрированность на задании означает заинтересованность в оценке и предмете. Это отражается на успеваемости ученика. Объективно оценить корреляцию успеваемости и поведения можно с помощью сравнения оценки и интеграла функции изменения угла наклона головы с течением времени. Зависимость предполагает быть обратной – чем больше значение интеграла, тем ниже оценка.

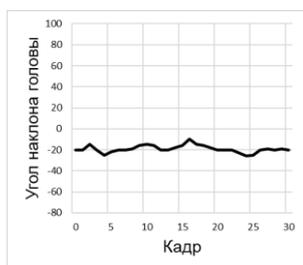


Рис. 2. Изменение угла наклона головы ученика, сконцентрированного на задании

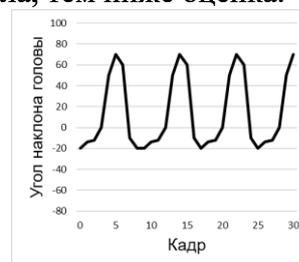


Рис. 3. Изменение угла наклона головы ученика, не сконцентрированного на задании

Аналогичное исследование проводилось когнитивным психологом Китом Рейнером [6]. Вместо отслеживания наклона головы он обратил внимание на движение глаз. Исследуемыми процессами стали движения глаз во время чтения, печати и рассматривания изображения. Стоит отметить, что эти процессы неизбежны при выполнении учебных заданий с помощью компьютера. Движения глаз в труде Кита Рейнера фиксировались с помощью специальной технологии – айтрекера. Если голова ученика остаётся малоподвижной, то для списывания и иного переключения внимания ему необходимо резко перевести взгляд. Резкое движение глазами – саккада – создаёт пик, аналогичный пику на рисунке 3. Следовательно, фиксируя движение глаз ученика, так же появляется возможность объективно оценить его поведение. Применив описанную технологию в процессе решения математических задач 58 учениками томских школ, можно построить график зависимости оценки ученика от его поведения.

Результаты

Полученный в ходе анализа результатов график соответствует ожиданиям: чем больше длина кривой изменения наклона головы в ходе решения задач, тем ниже оценка, полученная учеником (рисунок 4). Корреляция оценки и поведения получилась равной $-0,906$.

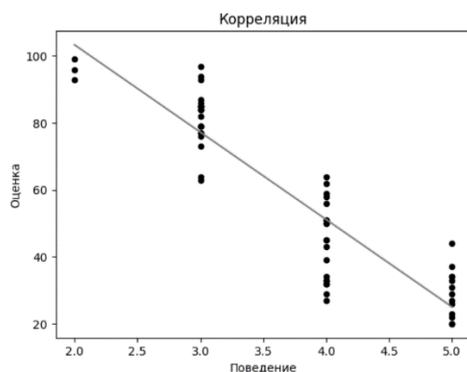


Рис. 4. Результат эксперимента

Зависимость успеваемости ученика от его поведения можно считать доказанной. Таким образом, модель образовательного процесса содержит все объекты из рисунка 1 кроме объекта «знания». Полученную связь поведения и успеваемости необходимо отразить в функциональных возможностях автоматизированной системы управления обучением. Это значит, что система должна учитывать некоторые психологические особенности ученика, причём это рационально не только на этапе оценки решения, но и на этапе выбора задания. Психологи предлагают разные классификации стилей обучения [7], и использование одной из них позволит системе обучения предлагать ученику задания, наиболее подходящие его стилю.

Заключение

В результате проведенных исследований была доказана связь поведения ученика с его успеваемостью. Это позволило окончательно смоделировать процесс обучения и охарактеризовать систему, разрабатываемую по этой модели. Установленная и доказанная связь поведения и успеваемости позволяет наделить автоматизированную систему управления обучением адаптивностью, то есть индивидуальным подходом к каждому ученику.

Список литературы

1. ГОСТ 34.601-90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания [Текст]. Введ. 1992-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1991. – 6 с.
2. Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ (ред. от 04.06.2014, с изм. от 06.2014) «Об образовании в Российской Федерации».
3. 15 замечаний учителей в дневниках, от которых сегодня хочется плакать, да только от смеха // ADME: сайт. – 2023. – URL: <https://adme.media/svoboda-narodnoe-tvorchestvo/15-za-mechanij-uchitelej-v-dnevnikah-ot-kotoryh-segodnya-hochetsya-plakat-da-tolko-ot-smeha-2520935>
4. Катаев М.Ю., Ковалев Н.В. Оценка положения головы человека по анализу изображений // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2010. – № 1-2(21). – С. 183-187.
5. Катаев М.Ю., Мосяев А.Е. Определение положения головы относительно цифровой видеокамеры, установленной на компьютер // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2020. – Т. 23, № 2. – С. 89-94.
6. Rayner K. Eye Movements in Reading and Information Processing: 20 Years of Research // Psychological Bulletin. – 1998. – Vol. 124, No. 3. – P. 372-422.
7. Karagiannidis C., Sampson D. Adaptation Rules Relating Learning Styles Research and Learning Objects Meta-data // Workshop on Individual Differences in Adaptive Hypermedia, 3rd International Conference on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-based Systems. – Eindhoven: Springer, 2004. – P. 34-42.

Применение разряда с полым катодом для стимулирования реакции окисления при электронно-лучевом испарении алюминия

Ф.А. Суховольский, А.С. Попова, Л.Ж. Нгон А Кики

Научный руководитель: профессор, д.т.н. В.А. Бурдовицин

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина 40, 634050.

E-mail: drddrdr@yandex.ru

Application of a hollow cathode discharge to stimulate the oxidation reaction during electron beam evaporation of aluminum

F.A. Sukhovolskiy, A.S. Popova, L.J., Ngon A Kiki

Scientific Supervisor: Prof., Dr. V.A. Burdovitsin

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenin str., 4, 634050

E-mail: drddrdr@yandex.ru

***Abstract.** The characteristics of a discharge with a hollow cathode in oxygen in the presence of a plasma created by an electron beam near the entrance to the cavity are presented. A method for deposition of aluminum oxide coatings by electron beam evaporation of aluminum in oxygen onto a substrate placed in a hollow cathode is described. It has been shown that a discharge in a cavity stimulates the oxidation reaction of aluminum evaporated by an electron beam.*

***Key words:** hollow cathode, oxygen discharge, electron beam, aluminum evaporation, aluminum oxide deposition.*

Введение

Неослабевающий интерес к разряду с полым катодом [1] связан с рядом его особенностей, одна из которых заключается в возможности получения плотной плазмы при сравнительно невысоких значениях тока и напряжения [2]. Этот факт позволяет ожидать положительного эффекта от использования разряда с полым катодом для стимулирования окислительной реакции при осаждении алюмооксидных пленок электронно-лучевым испарением алюминия в кислороде [3]. Характеристики разряда с полым катодом изучались во множестве работ. Вместе с тем, при наличии вблизи входной апертуры внешнего ионизатора, в роли которого выступает электронный пучок, разряд приобретает особенности, на исследования которых нацелена настоящая работа.

Экспериментальная часть

Для проведения эксперимента использовалась установка, изображенная схематически на рис. 1. Создание электронного пучка осуществлялось форвакуумным электронным источником 1, размещенным на верхнем фланце вакуумной камеры 2, изготовленной из немагнитной нержавеющей стали. Электрическое питание разрядного и ускоряющего промежутков источника производилось выпрямителями U_d и U_a соответственно. Ток I_e электронного пучка регистрировался в цепи питания ускоряющего промежутка. В качестве рабочего газа использовался кислород, напускаемый в камеру. Сфокусированный магнитной линзой 3 электронный пучок 4 направлялся на алюминиевую навеску 5, размещенную в графитовом тигле 6. Распространяющийся в газе электронный пучок производил ионизацию газа и создавал плазму, ионы которой могли попадать в полость 7, находящуюся под отрицательным потенциалом по отношению к заземленной камере. Полость 7 представляла собой отрезок трубы из нержавеющей стали. Внутренний диаметр полости 45 мм, длина 75 мм. Наличие отрицательного потенциала U_h на полости 7 вызывало зажигание разряда и

появление плазмы 8. Ток I_h разряда регистрировался соответствующим прибором. Испаряющийся из навески 5 алюминий попадал на подложку 9, расположенную на дне полости и подвергающуюся воздействию кислородной плазмы 8.

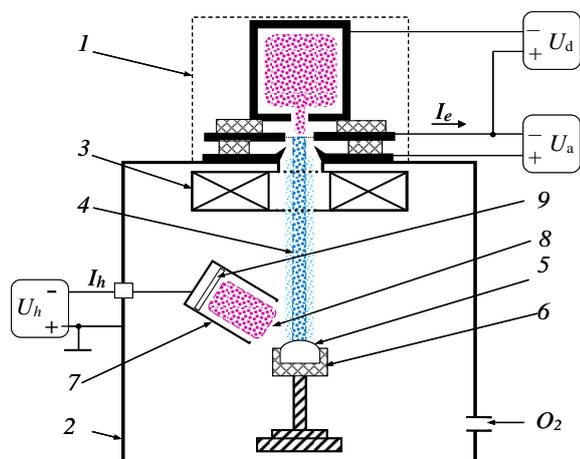


Рис. 1. Схема установки

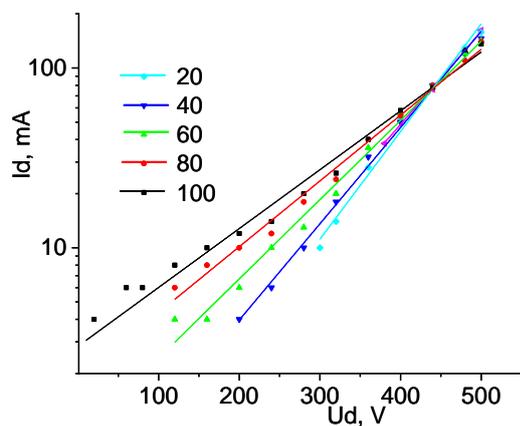


Рис. 2. Вольтамперные характеристики разряда в полости для давления $P=4,3$ Па для разных токов I_e эмиссии. Ускоряющее напряжение $U_a = 4$ кВ

Результаты

Представление вольтамперных характеристик разряда в полости в полулогарифмических координатах (рис. 2) привело к обнаружению экспоненциальной зависимости тока от напряжения

$$I_h = I_0 \cdot \exp(\eta U_h), \quad (1)$$

где η – коэффициент, имеющий смысл величины, обратной изменению напряжения, при котором ток возрастает в e раз.

Определенный по наклону прямых (рис. 2) коэффициент η снижается по мере повышения тока пучка и возрастает с повышением давления газа (рис. 3).

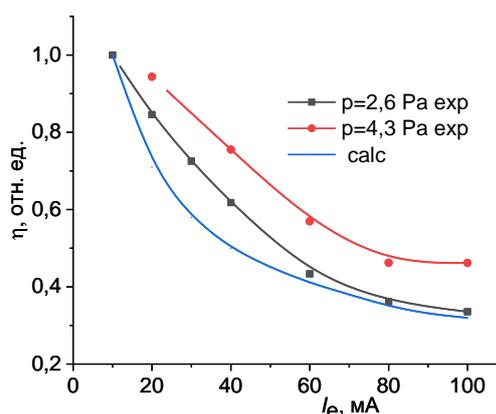


Рис. 3. Коэффициент η как функция тока I_e пучка для разных давлений кислорода. Эксперимент и расчет

Несмотря на отсутствие условий для существования таунсендовского разряда, для которого характерна зависимость (1), следует признать, что в условиях эксперимента реализуется лавинообразное размножение электронов. Объяснение данному факту может быть дано в рамках модели, исходные положения которой сводятся к следующему. Электронный пучок производит ионизацию газа вблизи входной апертуры полости с интенсивностью z ионов в единицу времени в единице объема. Под действием электрического поля, созданного отрицательным потенциалом полости, ионы втягиваются в полость и попадают на стенки, выбивая электроны (рис. 4). Эти электроны ускоряются электрическим полем, производят ионизацию газа, порождая вторичные электроны, которые формируют лавину. Поток ионов из пучковой плазмы в полость может быть найден из условия баланса ионов в столбе пучковой плазмы радиусом r и высотой d :

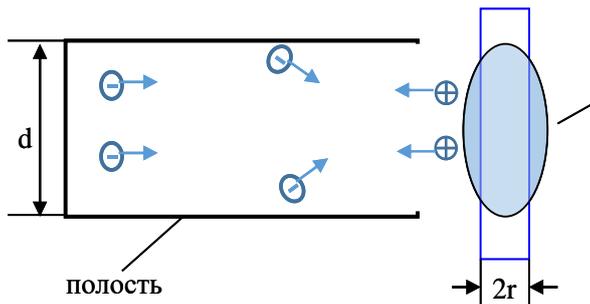


Рис. 4. Модельные представления процессов в полости

$$nv_i 2\pi r d = z\pi r^2 d, \quad (2)$$

где n – концентрация пучковой плазмы, v_i – боровская скорость ионов. Отсюда $nv_i = zr/2$, и поток ионов в полость равен $zr^2 d$.

Ионы выбивают из стенок полости $\gamma zr^2 d$ электронов, где γ – коэффициент ионно-электронной эмиссии. Эти электроны производят лавину, обеспечивающую на выходе из полости ток, равный:

$$I_h = q\gamma zr^2 d \cdot \exp(\alpha l), \quad (3)$$

где l – путь, проходимый электроном в области падения потенциала, α – величина, обратная пути, на котором ток возрастает в e раз.

Возможная причина зависимости, представленной на рис. 3, состоит в том, что по мере повышения тока электронного пучка возрастает концентрация плазмы, которая, втягиваясь в полость, сокращает область падения потенциала, а следовательно, вызывает возрастание напряженности E электрического поля. Представляя $l = U/E$ и подставляя в (3), получаем из сопоставления с (1) $\eta = \alpha/E$. Поскольку α определяется давлением газа, то возрастание напряженности означает снижение коэффициента η . Повышение η с ростом давления газа связано с возрастанием $\alpha = 1/\lambda$, где λ – длина свободного пробега электрона, уменьшающаяся с увеличением давления. Необходимое условие состоит в наборе электроном на длине свободного пробега энергии, достаточной для ионизации газовой молекулы. Оцененный по току I_h поток ионов на стенку полости оказывается в интервале $10^{19} - 10^{20} \text{ м}^{-2}\text{с}^{-1}$. Этот поток сопоставим с потоком атомов алюминия на подложку при скорости роста 0,05-0,1 мкм/мин, что объясняет положительный эффект от расположения подложки в полости.

Заключение

Электронный пучок, распространяющийся вблизи апертуры полости, обеспечивает поддержание разряда и оказывает влияние на его вольтамперную характеристику. Поток ионов кислорода на стенку полости сопоставим с потоком частиц алюминиевого пара, что объясняет ускорение реакции окисления.

Работа поддержана в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FEWM-2023-0012.

Список литературы

1. Москалев Б.И. Разряд с полым катодом. – М : Энергия, 1969. – 184 с.
2. Goebel D.M., Jameson K.K., Watkins R.M., Katz I. and Mikellides I.G. Hollow cathode theory and experiment. I. Plasma characterization using fast miniature scanning probes // J. Appl. Phys. – 2005. – Vol. 98. – P. 113302.
3. Zywitzki O., Goedicke K., Morgner H. Structure and properties of AlO layers deposited by plasma activated electron beam evaporation // Surface and Coatings Technology. – 2002. – Vol. 151. – P. 14–20.

Анализ качества устной речи с помощью метода LPC

С.Д. Томилина, Г.Р. Егле, А.А. Чурилов

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Д.И. Новохрестова

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634034

E-mail: tomilina@yandex.ru

Analysis of the quality of oral speech using the LPC method

S.D. Tomilina, G.R. Egle, A.A. Churilov

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Ph.D. D.I. Novokhrestova

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,

Lenin str., 40, 634034

E-mail: tomilina@yandex.ru

Abstract. *In this article, the research is aimed at improving the effectiveness of speech quality assessment using the WEVOSYS LingWAVES 3 system. The linear predictive coding (LPC) method for analyzing voice data of healthy and patients with diseases of the oropharyngeal region is presented. The results show statistically significant differences in the frequency of the F2 formant and the change in the frequencies of the F1 and F2 formants between healthy and patients. These parameters are considered key for effective assessment of speech quality.*

Key words: WEVOSYS LingWAVES, LPC, formant, frequency, amplitude.

Введение

В современном обществе успешность в различных сферах определяется качеством общения, где ясное и точное выражение мыслей играет ключевую роль. Появление инновационной системы WEVOSYS LingWAVES 3 стало ответом на вызовы недостатков в общении, предоставляя эффективные инструменты, особенно в акустическом анализе речи. Эта компьютерная система, сосредоточенная на диагностике голосовых и речевых нарушений, предоставлении биологической обратной связи и поддержке исследований, становится мощным средством для точного анализа и понимания процессов формирования речи.

Реальные исследования, такие как [1], подчеркивают важность анализа акустических параметров в реабилитации пациентов после лечения рака головы и шеи. Статья [2] представляет программную модель для анализа интонации человеческих эмоций, основываясь на акустических корреляциях. В [3] выявляются акустические характеристики успешной ораторской речи, подчеркивая мастерство использования средств, таких как четкая дикция, изменение темпа и логическое ударение, способствующее положительной реакции аудитории.

Целью данного исследования стало повышение эффективности процесса оценки качества речи за счет применения метода линейного предиктивного кодирования (LPC) в компьютерной системе WEVOSYS LingWAVES 3.

Экспериментальная часть

Для достижения поставленной цели в работе представлен анализ статистических данных голоса здорового диктора и голоса человека с заболеваниями орофарингеальной области.

Линейное предиктивное кодирование (LPC) – алгоритм, использующий коэффициенты фильтрации для вычисления логарифмического спектра мощности речевого сигнала (рис. 1). Этот метод включает в себя линейное прогнозирование фильтра голосового тракта по кривой речевого сигнала. Резонансные пики, формирующие профиль формант речевой волны, выделяются при использовании упомянутого фильтра, который подавляет определенные частоты белого шума. При правильном порядке прогнозирования результат совпадает с

исходной волной, и чем больше рассчитано коэффициентов фильтрации, тем точнее это совпадение [4].

Форманты представляют собой скопление энергии в определенной частотной зоне, описываемое частотой (в Гц) и амплитудой (в Дб). Частоту форманты определяют, как частоту максимальной амплитуды в пределах этой форманты. Другими словами, форманта представляет собой выраженный амплитудный пик на графике спектра, а ее частота – это частота пика этого всплеска.

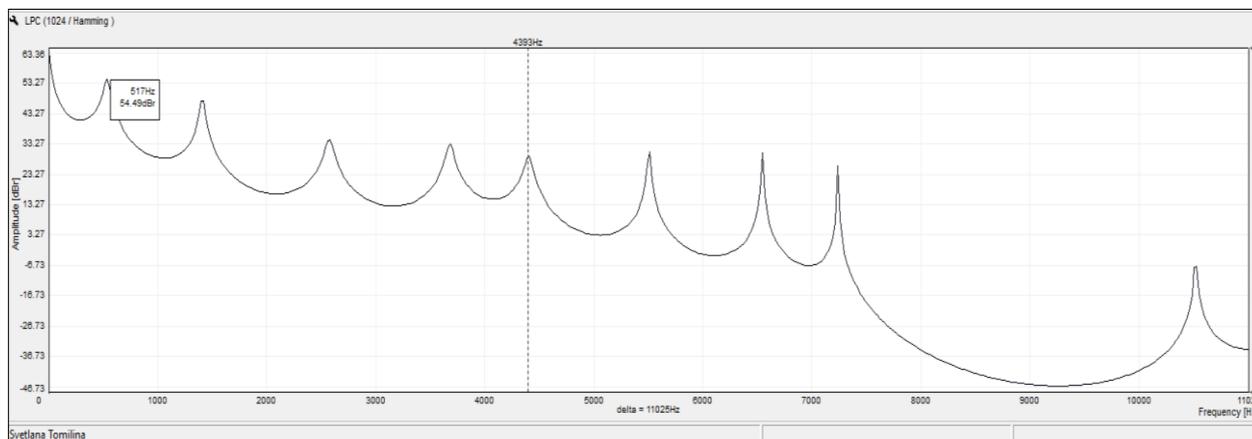


Рис. 1. Линейное предиктивное кодирование

Набор данных для сравнения включает 96 фрагментов голоса здорового диктора и 96 фрагментов голоса человека с заболеваниями орофарингеальной области. Для определения статистических различий проведено сравнение первых двух формант по двум характеристикам: частота и амплитуда.

Результаты

При анализе первых двух формант (F1 и F2) выявлено, что частота форманты F1 статистически не различается (т.к. асимптотическая значимость больше 0,05), в то время как частота форманты F2 статистически различается. Изменение частоты формант F1 и F2 присутствует (статистически различается) как у здоровых людей, так и у людей с заболеваниями, в то время как амплитуда формант F1, F2 и их изменение статистически не различаются. Показатели формант первых 10 записей голоса приведены в таблице 1.

Гипотеза о равенстве (нулевая гипотеза) или различиях (альтернативная гипотеза) двух выборок проверялась с помощью критерия Манна-Уитни для независимых выборок [5]. Результаты по проверке гипотезы с помощью данного критерия приведены в таблице 2.

Заключение

В результате данного исследования был рассмотрен такой параметр, как форманта, характеризующийся частотой и амплитудой, с целью оптимизации процесса оценки качества речи при использовании компьютерной системы WEVOSYS LingWAVES 3. На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- Частота форманты F1, амплитуда формант F1 и F2 (и изменение амплитуды) не демонстрируют статистически значимых различий между здоровыми людьми и людьми с заболеваниями.
- Частота форманты F2, а также изменение частот формант F1 и F2 демонстрируют статистически значимые различия между указанными группами людей.

Следовательно, параметры, обнаружившие статистически значимые различия между здоровыми людьми и пациентами с заболеваниями орофарингеальной области, считаются

ключевыми для эффективной оценки качества речи. Параметры без статистически значимых различий не могут значительно улучшить процесс оценки качества устной речи, поскольку они не отражают заметных изменений в восстановлении речи. Это акцентирует внимание на ключевых аспектах, сокращая время исследования нарушений в речи и повышая точность процесса оценки качества речи при использовании системы WEVOSYS LingWAVES 3.

Таблица 1

Значения выборок

Голос здорового диктора				Голос здорового диктора				Заболевания орофарингеальной области				Заболевания орофарингеальной области			
F1	F2	Частота	F1-F2	F1	F2	Амплитуда	F1-F2	F1	F2	Частота	F1-F2	F1	F2	Амплитуда	F1-F2
1357	3079	Гц	1722	21,24	10,73	Дб	10,51	1227	2649	Гц	1422	27,9	22,78	Дб	5,12
194	1895		1701	44,53	20,78		23,75	1163	3036		1873	29,6	25,26		4,34
452	1787		1335	36,24	16,19		20,05	172	1572		1400	44,58	29,99		14,59
2778	6094		3316	18,94	13,79		5,15	646	2412		1766	35,63	11,48		24,15
409	2153		1744	40,7	17,44		23,26	172	1766		1594	32,02	2,82		29,2
583	2885		2302	39,36	14,22		25,14	215	1830		1615	10,45	-1,05		11,5
388	2864		2476	41,48	11		30,48	926	2369		1443	35,34	9,35		25,99
495	2842		2347	41,21	19,64		21,57	172	1680		1508	49,67	10,78		38,89
2584	3165		581	17,61	17,04		0,57	2261	3747		1486	5,57	14,95		9,38

Таблица 2

Проверка гипотезы с помощью критерия Манна-Уитни

Параметр	Асимптотическая значимость	Решение
Частота форманты F1	0,079	Нулевая гипотеза принимается
Частота форманты F2	0,001	Нулевая гипотеза отклоняется
Изменение частоты формант F1 и F2	0,001	Нулевая гипотеза отклоняется
Амплитуда форманты F1	0,553	Нулевая гипотеза принимается
Амплитуда форманты F2	0,689	Нулевая гипотеза принимается
Изменение амплитуды формант F1 и F2	0,723	Нулевая гипотеза принимается

Список литературы

1. Bruijn M.J., Bosch L.T., Kuik D.J., Witte B.I., Langendijk J.A., Leemans C.R., Leeuw I.V. Acoustic-phonetic and artificial neural network feature analysis to assess speech quality of stop consonants produced by patients treated for oral or oropharyngeal cancer // *Speech Communication*. 2012. – № 54 (5). – P. 632–640.
2. Lobanov B., Zhitko V. Software Model of Analysis and Visualization of Emotional Intonation of the Spoken Phrases // *Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем*. – 2019. – № 3. – С. 297–300.
3. Дзахова, В.Т., Тедеева Д.О. Акустические характеристики успешной ораторской речи (на материале анализа речи Й.Фишера) // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. – 2023. – № 2 (77). – С. 68–71.
4. *Общее руководство для SPL и Voice Clinic Suites*, руководство. – Bamberg: WEVOSYS, 2020. – 208 с.
5. Холлендер М., Вулф Д. *Непараметрические методы статистики*. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 85 с.

Анализ качества устной речи с помощью метода VOS

С.Д. Томилина

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Д.И. Новохрестова
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634034
E-mail: tomiлина@yandex.ru

Analysis of the quality of oral speech using the VOS method

S.D. Tomilina

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Ph.D. D.I. Novokhrestova
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenin str., 40, 634034
E-mail: tomiлина@yandex.ru

Abstract. *This article examines the impact of modern technologies, in particular WEVOSYS LingWAVES 3, on the diagnosis and improvement of speech quality. The study includes a comparative analysis of voice parameters, confirming statistically significant differences in such parameters of voice and speech as: unevenness/coarsening of the vocal folds, hoarseness/severity of dysphonia, voice tremor and voice flicker.*

Key words: WEVOSYS LingWAVES 3, VOS, voice inspector, parameters.

Введение

В современном обществе качество коммуникации играет ключевую роль, в чем отражаются последние технологические достижения. WEVOSYS LingWAVES 3, стандартизированная компьютерная система, предназначена для диагностики и улучшения качества речи. Исследования устной речи, основанные на психофизиологическом подходе, выделяют четыре уровня анализа, из которых в данной работе рассмотрен акустический анализ речи, эффективный в выявлении лжи и эмоциональных состояний.

Акустический анализ речи играет важную роль в изучении эмоциональных и когнитивных аспектов коммуникации. WEVOSYS LingWAVES 3 предоставляет специализированные технические средства для этого метода, нацеленного на выявление изменений в речи, связанных с психологическими состояниями.

Примеры актуальных исследований демонстрируют разнообразные подходы к анализу речевых данных. Исследование [1] обсуждает оценку качества речи в онлайн-конференциях, выделяя оптимальные области признаков. Статья [2] представляет трансформаторный модуль для улучшения аудиозаписей, а [3] рассматривает применение анализа речевых сигналов для диагностики болезни Паркинсона с использованием методов машинного обучения.

Целью данного исследования стало повышение эффективности процесса оценки качества речи за счет применения метода VOS (инспектор голоса) в компьютерной системе WEVOSYS LingWAVES 3.

Экспериментальная часть

Для достижения поставленной цели в работе представлен анализ статистических данных голоса здорового диктора и голоса человека с заболеваниями орофарингеальной области.

Vospector, или «Инспектор голоса» (рисунок 1), является эффективным инструментом для клинического анализа голоса, дополняя фонетографию и анализ голосового профиля. Отличаясь от фонетографии, Vospector проводит дополнительные расчеты с использованием долгих гласных, включая основные частоты, гортанно-шумовой коэффициент (GNE), дрожание и мерцание голоса. Эти измерения приводят к появлению дополнительных

акустических характеристик голоса, таких как неравномерность, шум и общая тяжесть дисфонии. Анализ в методе Vospector проводится мгновенно, записывая гласную [а] и вычисляя результаты автоматически в едином окне [4].

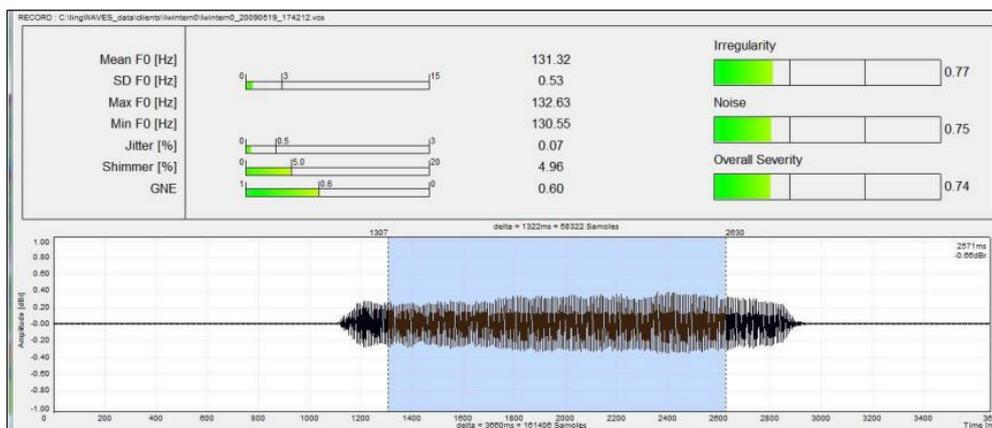


Рис. 1. Vospector (инспектор голоса)

Набор данных для сравнения включает 28 фрагментов голоса здорового диктора и 28 фрагментов голоса человека с заболеваниями орофарингеальной области. Для определения статистических различий проведено сравнение 6 параметров голоса и речи: неравномерность/огрубление голосовых складок (в %) – оценка огрубления различных голосовых модальностей; уровень шума/дыхания (в %); охриплость/тяжесть дисфонии (в %) – нарушение голосовой функции, проявляющееся хрипотой, гнусавостью, осиплостью и др.; дрожание голоса (в %) – межпериодное колебание основной частоты; мерцание голоса (в %) – межпериодное колебание амплитуды; GNE – гортанно-шумовой коэффициент.

Результаты

В результате сравнения 6 параметров голоса и речи, были сделаны следующие выводы: уровень шума/дыхания и GNE статистически не различаются (т.к. асимптотическая значимость больше 0,05). А вот такие параметры, как: неравномерность/огрубление, охриплость/тяжесть дисфонии, дрожание и мерцание голоса показали, что они статистически различимы у здорового человека и пациента с нарушением речи. Это означает, что в методе VOS по данным четырем параметрам можно проследить и измерить как будет изменяться голос в процессе восстановления и реабилитации пациента. Показатели для всех параметров по первым 10 записям голоса (у пациентов с заболеванием орофарингеальной области) приведены в таблице 1.

Гипотеза о равенстве (нулевая гипотеза) или различиях (альтернативная гипотеза) двух выборок проверялась с помощью критерия Манна-Уитни для независимых выборок [5]. Результаты по проверке гипотезы с помощью данного критерия приведены в таблице 2.

Заключение

В результате данного исследования были рассмотрены 6 параметров с целью оптимизации процесса оценки качества речи при использовании компьютерной системы WEVOSYS LingWAVES 3. На основе полученных результатов можно сделать следующие заключения:

- Неравномерность/огрубление голосовых складок, охриплость/тяжесть дисфонии, дрожание голоса и мерцание голоса статистически различаются между здоровыми людьми и пациентами с заболеванием орофарингеальной области.
- Уровень шума/дыхания и GNE (гортанно-шумовой коэффициент) не показывают статистически значимых различий.

Следовательно, отмеченные параметры, выявившие статистически значимые различия

между здоровыми людьми и теми, кто страдает от заболеваний орофарингеальной области, приобретают значимость в эффективной оценке качества речи. Параметры, которые не показали статистически значимых отличий, не оказывают влияние на улучшение процесса оценки устной речи, так как они не предоставляют явных индикаторов изменений в восстановлении речи. Это подчеркивает важность уделения внимания существенным аспектам, что позволяет сократить время исследования речевых нарушений и повысить точность оценки качества речи при использовании системы WEVOSYS LingWAVES 3.

Таблица 1

Значения параметров у пациентов с заболеванием орофарингеальной области

Пациенты с заболеванием						
Параметр	Неравномерность / огрубление (в %)	Уровень шума / дыхания (в %)	Охриплость / тяжесть дисфонии	Дрожание голоса (в %)	Мерцание голоса (в %)	GNE
Название параметра в программе	Irregularity	Noise	Overall Severity	Jitter	Shimmer	GNE
1	1,07	0,83	1,36	0,39	6,67	0,55
2	0,67	0,74	1	0,07	4,26	0,6
3	1,95	0,68	2,07	2,17	25,54	0,65
4	1,17	0,63	1,32	0,42	5,55	0,68
5	0,94	1,85	2,07	1,01	6,21	0,3
6	2,23	1,12	2,49	5,03	24,13	0,43
7	2,52	0,75	2,63	12,15	44,13	0,6
8	2,69	0,51	2,74	17,11	62,61	0,74
9	2,23	1,12	2,49	5,03	24,13	0,43
10	2,55	0,7	2,65	14,45	38,83	0,63

Таблица 2

Проверка гипотезы с помощью критерия Манна-Уитни

Параметр	Асимптотическая значимость	Решение
Неравномерность / огрубление	0,001	Нулевая гипотеза отклоняется
Уровень шума / дыхания	0,550	Нулевая гипотеза принимается
Охриплость / тяжесть дисфонии	0,001	Нулевая гипотеза отклоняется
Дрожание голоса	0,001	Нулевая гипотеза отклоняется
Мерцание голоса	0,001	Нулевая гипотеза отклоняется
GNE (горланный-шумовой коэффициент)	0,561	Нулевая гипотеза принимается

Список литературы

1. Tamm B., Vandenberghe R., Van hamme H. Analysis of XLS-R for Speech Quality Assessment. // 2023 IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics. – New Paltz: IEEE, 2023. – P. 1–5.
2. Tan K., Mao W., Guo X., Lu H., Zhang Chi, Cao Z., Wang X. CST: Complex Sparse Transformer for Low-SNR Speech Enhancement // Sensors. – 2023. – № 23 (5). – P. 2376.
3. Khaskhoussy R., Benayed Y. Speech processing for early Parkinson’s disease diagnosis: machine learning and deep learning-based approach // Social Network Analysis and Mining. – 2022. – № 12. – P. 73.
4. Общее руководство для SPL и Voice Clinic Suites, руководство. – Bamberg: WEVOSYS, 2020. – 208 с.
5. Холлендер М., Вулф Д. Непараметрические методы статистики. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 85 с.

Анализ диссипативных потерь в зеркально-симметричном модальном фильтре с электромагнитным поглотителем

В.А. Трубченинов, С.В. Власов

Научный руководитель: к.т.н, Е.С. Жечев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: slava.trubcheninov@mail.ru

Analysis of dissipative losses in a reflection-symmetric modal filter with electromagnetic absorber

V.A. Trubcheninov, S.V. Vlasov

Scientific Supervisor: PhD, Y.S. Zhechev

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenin str., 40, 634050

E-mail: slava.trubcheninov@mail.ru

Abstract. The paper presents the results of analysis of dissipative losses in a reflection-symmetric modal filter with an electromagnetic absorber. Several types of simulation was performed: without losses, with losses in conductors, with dielectric losses, with losses in the electromagnetic absorber and taking into account all losses. The simulation was performed in the time domain using broadband pulses. After that N -norms were calculated. The results show that when losses are taken into account, the attenuation of the input signal amplitude reaches 30 times with respect to half of the e.m.f.

Key words: Electromagnetic compatibility, modal filter, N -norms, dissipative losses.

Введение

Подавление электромагнитных помех (ЭМП), в особенности сверхширокополосных (СШП), является важной задачей в области электромагнитной совместимости [1]. За счет широкого спектра, большой амплитуды и малого времени нарастания такие ЭМП могут приводить к функциональным сбоям и поражениям радиоэлектронных систем (РЭС) и их элементов. Перспективными устройствами защиты являются модальные фильтры (МФ), способные раскладывать импульсы малой длительности на последовательность из импульсов меньшей амплитуды [2]. Ранее предложено применять электромагнитный поглотитель (ЭП) на основе магнитодиэлектриков совместно с МФ [3]. За счет параметров магнитодиэлектрика удалось увеличить разность погонных задержек мод и коэффициент ослабления СШП ЭМП. Между тем, анализ диссипативных потерь не был проведен. Целью данной работы является проведение анализа диссипативных потерь в 3-С МФ с ЭП.

Исследуемая структура

Для анализа выбрана структура 3-С МФ с ЭП в корпусе. Поперечное сечение представлено на рис. 1.

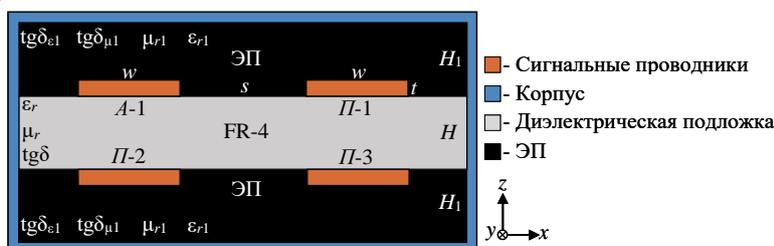


Рис. 1. Поперечное сечение 3-С МФ с ЭП в корпусе

Геометрические параметры поперечного сечения: ширина проводников $w = 400$ мкм, толщина проводников $t = 35$ мкм, расстояние от проводников до экранов $s = 300$ мкм. В качестве диэлектрической подложки выбран стеклотекстолит FR-4 с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r = 4,3$, относительной магнитной проницаемостью $\mu_r = 1$, тангенсом угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta_\epsilon = 0,025$ и толщиной $H = 800$ мкм. В качестве ЭП выбран магнитодиэлектрический материал ЗИПСИЛ 601-РПМ-01 с $\epsilon_{r1} = 20$, $\mu_{r1} = 4$, $\text{tg}\delta_{\epsilon1} = 0,1$ и толщиной $H_1 = 3000$ мкм.

В данной работе для получения откликов во временной области использован квазистатический подход, основанный на алгоритмической модели Накхлы и реализованный в системе TALGAT [4]. Моделирование проводилось в 5 случаях: без учета потерь (1); с учетом потерь только в проводниках (2); с учетом потерь только в диэлектрике (3); с учетом потерь только в ЭП (4); с учетом всех перечисленных видов потерь (5). На активный проводник подавалось воздействие в виде трапецеидального помехового импульса с э.д.с. 100 В и длительностями фронтов и плоской вершины по 100 пс. Моделирование проводилось с длиной проводников $l = 0,1$ и 1 м для сравнения влияния диссипативных потерь на амплитуду СШП импульса.

Результаты моделирования

На рис. 2 представлены результаты моделирования структуры во временной области при $l = 0,1$ (а) и 1 (б) м. Значения амплитуды импульсов на выходе структуры с $l = 0,1$ и 1 м представлены в таблице 1.

Из результатов моделирования видно, что с учетом всех потерь при $l = 0,1$ м наибольшее ослабление амплитуды достигает 5,4 раза относительно половины воздействующей э.д.с, а без учета потерь – 4 раза. С учетом всех потерь при $l = 1$ м наибольшее ослабление амплитуды достигает 30 раз относительно половины воздействующей э.д.с, а без учета потерь – 4 раза.

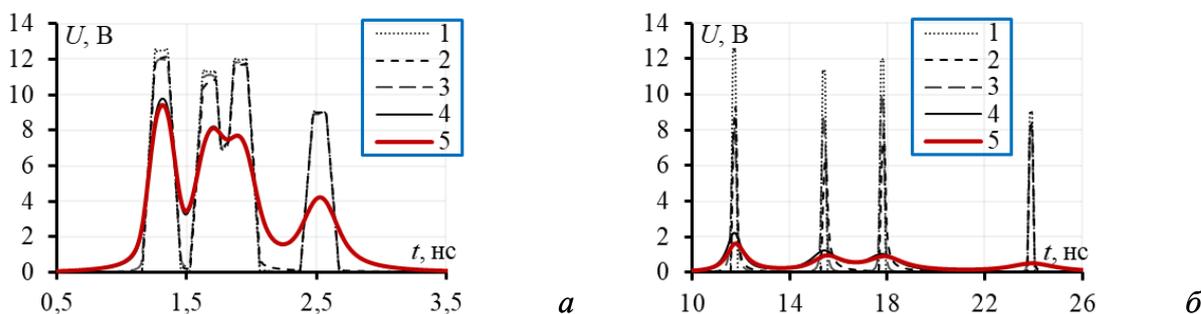


Рис. 2. Результаты моделирования структуры во временной области при $l = 0,1$ (а) и $l = 1$ (б) м

Таблица 1

Значения амплитуды импульсов (U_1-U_4) на выходе структуры с длиной проводников $l = 0,1$ и 1 м

Длина проводников $l = 0,1$ м				
Моделирование	U_1 , В	U_2 , В	U_3 , В	U_4 , В
1	12,45	11,27	11,94	8,97
2	11,95	10,61	11,68	9,0
3	11,9	10,9	11,74	8,92
4	9,73	7,96	7,54	4,04
5	9,23	7,98	7,47	4,02
Длина проводников $l = 1$ м				
1	12,5	11,3	11,98	9,07
2	9,3	6,42	7,6	8,35
3	8,11	8,66	9,98	8,2
4	2,2	1,2	1,03	0,5
5	1,63	0,93	0,91	0,5

Для оценки эффективности подавления СШП помех анализировались N -нормы [5], которые позволяют оценить характер воздействия СШП помех на компоненты и определить возможные виды отказов. Значения N -норм в конце активной линии для структуры с длинами проводников $l = 0,1$ и 1 м представлены в таблице 2.

Таблица 2

Значения N -норм в конце активной линии для структуры с длиной проводников $l = 0,1$ и 1 м

Длина проводников $l = 0,1$ м					
Моделирование	N_1	$N_2 \cdot 10^{11}$	$N_3 \cdot 10^{-9}$	$N_4 \cdot 10^{-8}$	$N_5 \cdot 10^{-4}$
1	12,59	1,44	1	1	2,95
2	12,20	1,32	9,99	0,99	2,87
3	12,02	1,194	9,9	1,06	2,89
4	9,78	0,705	9,04	1,84	2,24
5	9,42	0,65	8,99	1,9	2,22
Длина проводников $l = 1$ м					
1	12,59	1,5	10	1	2,9
2	9,27	0,9	9,89	0,989	2,1
3	10	0,83	9,9	0,998	2,3
4	2,23	0,039	8,88	0,93	0,821
5	1,63	0,024	8,74	0,914	0,728

Видно, что при $l=0,1$ м с учетом всех потерь значение N_1 уменьшилось в 1,3 раза, N_2 – в 2,2 раза, N_3 – в 0,1 раза, N_5 – в 1,3 раза по сравнению с результатами без потерь, значение N_4 не уменьшилось, а при $l=1$ м с учетом всех потерь значение N_1 уменьшилось в 7 раз, N_2 – в 60 раз, N_3 – в 1,1 раза, N_4 – в 1,1 раза, N_5 – в 4 раза по сравнению с результатами без потерь. Наиболее значительное ослабление наблюдается для N_2 . Учет потерь в структуре значительно влияет на ослабление амплитуды сигнала, но не влияет на время прихода импульсов на выходе.

Заключение

В данной работе проведен анализ диссипативных потерь в 3-С МФ с ЭП. Выполнено моделирование структуры в каждом случае во временной области. Получены временные отклики и N -нормы. Так, входной импульс при моделировании с учетом потерь в структуре с $l = 0,1$ м ослабился в 5,4 раза, в структуре с $l = 1$ м – в 30 раз. Анализ N -норм показал, что при моделировании с потерями значение N_1 удалось уменьшить в 7 раз, N_2 – в 60 раз, N_3 – в 1,1 раза, N_4 – в 1,1 раза, N_5 – в 4 раза.

Исследование выполнено за счет проекта РНФ-37 №23-29-00486 от 13.01.2023.

Список литературы

1. Газизов Т.Р. Электромагнитная совместимость и безопасность радиоэлектронной аппаратуры: учебное пособие – Томск: ТМЛ-Пресс, 2007. – 256 с.
2. Самойличенко М.А., Жечев Е.С., Газизов Т.Р. Экспериментальное исследование электрических характеристик модального фильтра на двухсторонней печатной плате // Radiotekhnika i elektronika. – 2023. – Т. 68, № 11. – С. 1131–1139.
3. Zhechev Y.S., Adnan A.H., Malygin K.P. New technique for improving modal filter performance by using an electromagnetic absorber // IEEE Access. – 2022. – V. 10. – P.86663–86670.
4. Мелкозеров А.О. Программное обеспечение TALGAT 2016. – 2017. – 79 с.
5. Baum C.E. Norms and eigenvector norms // Mathematics Notes. – 1979. – V. 63. – P.1–42.

Статистический анализ проводимых тестов для программного обеспечения

Е.В. Тулинова

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н., М.Л. Шинкеев
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: evg40@tpu.ru

Statistical analysis of conducted software tests

E.V. Tulinova

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Ph.D., M.L. Shinkeev
National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia, Lenin str., 30, 634050
E-mail: evg40@tpu.ru

***Abstract.** The paper analyzes the data obtained from the results of automatic test runs. The factors influencing the effectiveness of the test run are considered. The influence of changes in the software on the appearance of possible errors is being investigated.*

***Key words:** testing, system analysis, release, automated testing*

Введение

Основной интерес к тестированию программного обеспечения пришелся на девяностые года в США. Быстрое развитие автоматизированной разработки программного обеспечения и сетевых технологий привело к увеличению производства программного обеспечения. Усиление конкуренции между производителями программного обеспечения требовало повышенного внимания к качеству продукции. Тестирование программного обеспечения не стоит на месте и активно развивается. Существуют разные методы тестирования.

В настоящий момент тестирование программного обеспечения стало неотъемлемой частью производства программного обеспечения. Тестирование требуется для того, чтобы понять, работает ли программа и соответствует ли она предъявляемым к ней требованиям. Вовремя выявленные и исправленные ошибки и недоработки имеет огромное значение в процессе разработки программного продукта, поскольку это уменьшает риски и происходит снижение затрат на разработку программного обеспечения. С помощью тестирования, компании способны поддерживать качество своих продуктов на очень высоком уровне. Все чаще, процесс тестирования программного обеспечения может быть автоматизирован, что положительно отражается на скорости и качестве тестирования.

Все больше пристального внимания уделяется методам тестирования, способам минимизировать издержки и автоматизировать процесс тестирования. Существует достаточное количество книг и статей на различные темы, от общих понятий в сфере тестирования, и заканчивая исследованиями узкой направленности.

Целью данной работы является анализ факторов, влияющих на эффективность тестирования программного обеспечения, а также сравнительный статистический анализ эффективности автоматизированного и ручного тестирования.

Экспериментальная часть

Для проведения анализа данных была выбран программный продукт компании Atomiq Soft, который отслеживает получения сообщений на производстве-Alpha.NMI.Alarms [1, 2].

Alpha.NMI.Alarms - программный продукт, который отображает сообщения и тревоги. Программа представляет собой таблицу данных.

Для тестирования Alpha.NMI.Alarms применяется ручное и автоматизированное тестирование. Ручное тестирование программного продукта Alpha.NMI.Alarms выполняется

в среде TestLink [3]. Для того, чтобы запустить ручное тестирование нужно создать тест – план и добавить тесты, которые должны войти в данную релизную проверку.

Рассмотрим на примере нескольких тестов на сколько эффективно применение автоматизированного тестирования. Алгоритмы тестов можно увидеть на рисунке 1 и 2.

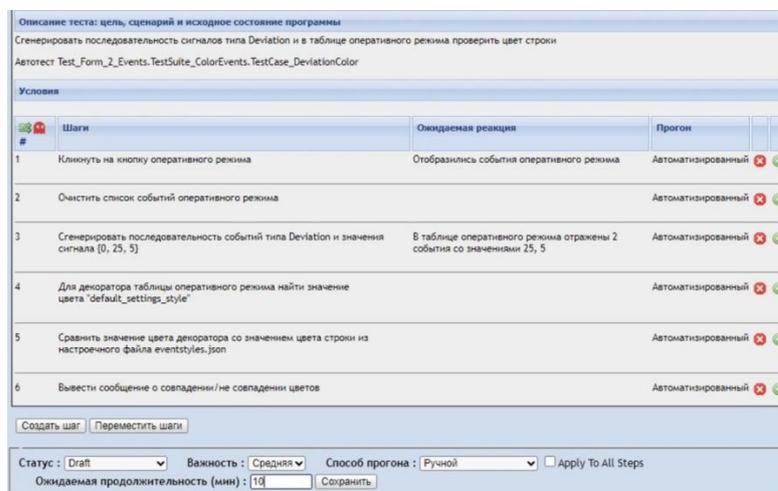


Рис. 1. Пример тест кейса для Alpha.HMI.Alarms

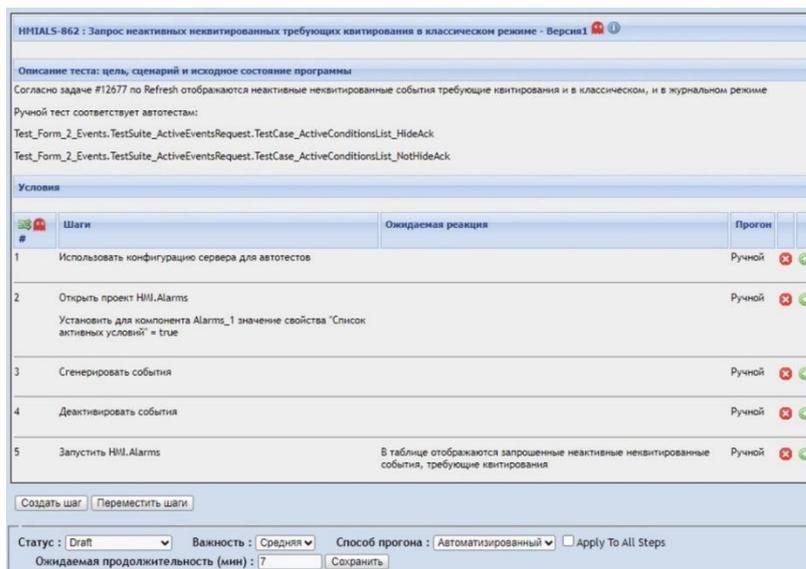


Рис. 2. Пример тест кейса для Alpha.HMI.Alarms

Автоматизированные проверки встроены в среду разработки Alpha.HMI.Alarms и их использование запрещено компанией. Автоматизированное тестирование полностью повторяет ручное.

В среднем при ручной проверке на данные тест кейсы затрачивается порядка 7–10 минут. Каждый тест прогоняется 4 раза для разных видов программы – это Web версия для Windows и Linux, и также десктопная версия для Windows и Linux. Можно сделать вывод, что на один тест кейс затрачивается 28–30 минут. Для прохождения многих тестов нужно изменять конфигурационные файлы или функции, что приводит к большим временным затратам. Автоматизированные тест кейсы выполняются примерно за 1–2 секунды, то есть на прогон одного тест кейса затрачивается всего 4–8 секунд. Это в разы сокращает время проверки. Для полной релизной проверки для автоматизированного тестирования потребуется несколько часов, а для выполнения ручного тестирования несколько дней. Также при автоматизированной проверке исключается человеческий фактор.

Но при этом разработка автоматизированных тестов требует отладки и актуализации. Также требуются дополнительные знания для разработки и написания автоматизированных тестов.

Есть два варианта проверок – Smoke и полное тестирование [4].

Smoke тестирование – это более укороченное тестирование. В среднем оно составляет 140–150 тестов. В данном тестировании всегда прогоняются автоматизированные тесты, так как они требуют меньших временных затрат, что в данном тестировании является очень важным фактором. Проверка проводится для двух операционных систем Windows и Linux, и двух вариациях Web и десктоп.

Полное тестирование подразумевает собой большое количество тестов. Это полное автоматизированное тестирование и ручное тестирование 300–400 тестов. Происходит более тщательная проверка каждого модуля программы. Проверки также проводятся в четырех вариациях программы.

Если сравнивать два вида тестирований, то при больших временных затратах полное тестирование является эффективнее, чем Smoke тестирование. Что приводит к большим денежным затратам. Также полное тестирование может привести к человеческому фактору, так как выполняется рутинная работа, которая требует внимательности от тестировщика.

Результаты

Анализ эффективности выявления ошибок с помощью автоматизированного тестирования и ручного тестирования не показал различия в качестве выполнения. Но при этом выявлена большая разница во времени и финансовых затратах.

Заключение

На сегодняшний день тестирование является важной частью разработки программных продуктов. Качественное тестирование помогает вовремя находить и исправлять ошибки, что уменьшает риски и затраты на разработку программного обеспечения. Автоматизация тестирования в свою очередь повышает скорость и качество тестирования, что приведет к еще большему снижению издержек и повышению качества программного продукта.

Автоматизированное тестирование – это один из самых эффективных способов уменьшить время релизных проверок. При анализе всего двух тест кейсов мы видим большую разницу во времени. Для автоматизированного тестирования это всего 4–8 секунд, а для ручного тестирования это около 30 минут.

Для правильного построения и автоматизации процесса тестирования необходимо обладать теоретическими знаниями в данной области, различать виды тестирования, понимать, как именно должен быть написан правильный тест-кейс, для повышения качества тестирования программного обеспечения.

Список литературы

1. Автоматизация с Атомик Софт // АО «Атомик Софт»: сайт. – 2024. – URL: <https://www.automiq.ru/> (дата обращения: 24.02.2024).
2. Альфа платформа // АО «Атомик Софт»: сайт. – 2024. – URL: <https://www.automiq.ru/alphaplatform/> (дата обращения: 24.02.2024).
3. TestLink – Краткое руководство // Coderlessons.com: сайт. – 2018. – URL: <https://coderlessons.com/tutorials/kachestvo-programmnogo-obespechenia/izuchite-testlink/testlink-kratkoe-rukovodstvo> (дата обращения: 23.02.2024).
4. Фолк Д., Канер С., Енг Кек Нгуен. Тестирование программного обеспечения. Фундаментальные концепции менеджмента бизнес-приложений: Пер. с англ. – К. : Издательство «ДиаСофт», 2001. – 544 с.

Моделирование рассеяния электромагнитных волн на объектах на основе параллельных вычислений

А.О. Хацкелева, А.В. Валиев

Научный руководитель: профессор, д.т.н. А.П. Преображенский
Воронежский институт высоких технологий,
Россия, г. Воронеж, ул. Ленина, 73а, 394043
E-mail: asadv64@gmail.com

Simulation of electromagnetic wave scattering on objects based on parallel calculations

A.O. Khatskeleva, A.V. Valiev

Scientific Supervisor: Prof., Dr. A.P. Preobrazhenskiy
Voronezh institute of high technologies, Russia, Voronezh, Lenin str., 73a, 394043
E-mail: asadv64@gmail.com

***Abstract.** The purpose of the research is the application of parallel computations when solving the problems of estimating the characteristics on the subject is complex within the framework of the method of edge waves. The mathematical model of calculation we considered in detail. With using the developed application, the effectiveness of parallel computing was assessed for some objects.*

***Key words:** scattering of electromagnetic waves, parallel computing, model.*

Введение

В ряде случаев для антенных и дифракционных структур существует необходимость в определении их электрических характеристик. Это может быть сделано на основе данных о параметрах их компонентов, они содержат в себе проводники и диэлектрики. Помимо этого, требуется иметь информацию о геометрических особенностях антенн. Вокруг антенн и дифракционных структур в различных пространственных точках необходимо определить электромагнитные поля. Тогда, как следствие этого, можно осуществить оценки по соответствующим базовым характеристикам антенн. Например, можно провести расчеты диаграмм направленности, входного сопротивления и т.д. В ходе рассмотрения задач необходимо для границ разделов компонентов обеспечивать выполнение соответствующих условий [1]. Также важно корректным образом решать уравнения Максвелла.

Целью работы связана с созданием алгоритма, на основе которого можно вести расчеты характеристик рассеяния антенн и дифракционных структур с учетом использования параллельных вычислений.

Материалы и методы исследования

При описании процессов рассеяния электромагнитных волн рассматриваемые электродинамические объекты могут быть представлены в виде множества N полосок, то есть, применяется фасетный подход. Также требуется указать отрезок, на котором ведется наблюдение. Необходимо ввести источник распространения электромагнитных волн. Описание проводится в рамках декартовой двумерной системы координат. Таким образом будет сформирована математическая модель. Чтобы задать отрезок наблюдения, то необходимо указать координаты его начала и конца. между любой точкой распространения и наблюдения электромагнитных волн требуется обеспечить соблюдение условия видимости. Тогда для электродинамических объектов корректным образом будет рассчитана эффективная площадь рассеяния (ЭПР). Фасетная система будет разбиваться на k частей, тогда можно реализовать возможности параллельных вычислений на основе k потоков. Лишь в отрезках наблюдения будет наблюдаться отличие частей в системе. Соответствующее среднее значение ЭПР по отрезку будет рассчитываться на основе выбираемого потока. Чтобы найти среднюю

ЭПР [2], которая относится ко всей электродинамической системе проводится расчет среднего арифметического с учетом вклада от всех потоков. Задается малая величина Δp на которую происходит перемещение вдоль отрезка точки наблюдения при расчете средней ЭПР при каждой из итераций алгоритма. Если точка S_p будет перемещаться к точке E_p , которая будет размещаться на расстоянии Δp , то по координатам точки наблюдения мы можем представить такие выражения:

$$x_{np} = x_{sp} + \frac{\Delta p (x_{ep} - x_{sp})}{\sqrt{|x_{ep} - x_{sp}|^2 + |y_{ep} - y_{sp}|^2}}; \quad y_{np} = y_{sp} + \frac{\Delta p (y_{ep} - y_{sp})}{\sqrt{|x_{ep} - x_{sp}|^2 + |y_{ep} - y_{sp}|^2}}.$$

Будем считать, что ρ – является длиной, соответствующей отрезку наблюдения, при разбиении отрезка применяется шаг Δp , при вычислениях применяется k потоков, система разбивается на n частей, при рассмотрении подсистемы I, соответствующей i -му потоку будет разбиений n_i , по последнему потоку будет разбиений n_k . Для ρ, n, n_i, n_k используются формулы.

$$\begin{aligned} \rho &= \sqrt{|x_{ep} - x_{sp}|^2 + |y_{ep} - y_{sp}|^2}; \\ n &= \text{Round}(\rho / \Delta p) + 1; \\ n_i &= \text{Round}(n / k), i = \overline{1, k-1}; \\ n_k &= n - (k-1)n_1, \end{aligned}$$

учитывается, что функцией разбиения является $\text{Round}()$.

Можно отметить, что необходимо использовать такой алгоритм, чтобы при k потоках осуществлять расчет средней ЭПР для отрезка:

1. Реализация разбиения на k частей электродинамического объекта.
2. По каждому из потоков проведение вычислений по средней ЭПР.
3. С учетом результатов для каждого из потоков проводится определение среднего арифметического σ_{cp} .

Результаты

Если необходимо при заданной точности провести вычисление ЭПР, то геометрическая форма электродинамического объекта меняется. Это происходит последовательным, итеративным образом. Изменение для последующей реализации ЭПР будет происходить непропорционально тому, как изменяется геометрическая форма электродинамического объекта. В этой связи есть возможность для того, чтобы случайным способом осуществлять процесс изменений в системе по узлам. Важно осуществить тестирование по таким реализациям электродинамических объектов, которые будут давать стабильные результаты. С точки зрения практики в электродинамической САПР может быть использован такой алгоритм [3]. В алгоритме при синтезе запуск рассматривается в виде удачного тогда, когда будет получаться реализация системы, в которой будет стремление средней ЭПР к эталонной при определенной точности. Неудачным будем считать алгоритм, для которого не получится требуемая система при достижении 10000 итераций. Предлагаются такие обозначения в ходе рассмотрения: δ – показывает, насколько меняются координаты узлов в электродинамическом объекте, ε – в ходе оптимальной реализации показывает значение точности в поиске, σ_0 – то значение средней ЭПР которое требуется, σ – то значение средней ЭПР которое найдено на базе алгоритма оптимизации, k – число итераций в ходе расчетов. Можно в ходе реализации тестирования алгоритма анализировать разные пары «величина изменения – точность»:

$$\{(0.01;1), (0.01;0.1), (0.01;0.01), (0.1;1), (0.1;0.1), (0.1;0.01), (1;1), (1;0.1), (1;0.01)\}.$$

Запуск алгоритма проводится пять раз при фиксированных значениях величин. При этом данные $(\delta, \varepsilon, \sigma_0, \sigma, k)$ размещаются в таблице. Проводится варьирование значений ЭПР, пока не придем к неудаче при синтезе. При этом для величин ЭПР объекта получим верхние и нижние границы. Дадим анализ результатов тестирования. Число успешных запусков – N_s , общее число N запусков по любой паре значений из тестового множества, а также вычислим значение коэффициента $\Omega = \frac{N_s}{\max\{N\}}$, отражающего «индекс успешности» алгоритма синтеза для каждого набора данных. Результаты тестирования показаны в табл. 1.

Таблица 1

Иллюстрация результатов, связанных с тестированием алгоритма синтеза объектов со сложной формой

δ	ε	N_s	N	Ω
0.02	0.02	19	28	0.225
0.02	0.2	20	31	0.227
0.02	1	21	31	0.241
0.09	0.02	26	34	0.298
0.09	0.2	28	37	0.333
0.09	1	33	46	0.395
1	0.02	53	67	0.623
1	0.09	64	76	0.749
1	1	68	85	0.798

Анализ показал, что успешность алгоритма синтеза увеличивается в ходе роста размера изменения координат узлов объекта и уменьшении точности поиска оптимальной реализации. Это заметно для значений δ , которые равны единице. В этой связи оптимальное сочетание величин δ и ε для реализации считается соответствующем паре $(1;0.1)$.

Заключение

В работе осуществлены исследования по возможностям применения параллельных вычислений в ходе оценок характеристик рассеяния сложных электродинамических объектов. Дана иллюстрация результатов тестирования.

Список литературы

1. Аветисян Т.В., Львович Я.Е., Преображенский А.П., Преображенский Ю.П. Исследование математических моделей для оценок характеристик рассеяния полых структур // Прикладная физика. – 2023. – № 2. – С. 10-14.
2. Аветисян Т.В., Львович Я.Е., Преображенский А.П. Особенности оценки средних характеристик рассеяния объектов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2023. – Т. 11, № 2 (41). – С. 24-25.
3. Львович И.Я., Львович Я.Е., Преображенский А.П., Преображенский Ю.П., Чопоров О.Н. Исследование характеристик сложных дифракционных структур на основе комбинированного подхода // Ural Radio Engineering Journal. – 2021. – Т. 5, № 1. – С. 49-62.

Влияние режимов электронно-лучевого спекания на морфологию поверхности циркониевой керамики

А.С. Цымбалов, П.А. Самойлов, А.А. Зенин

Научный руководитель: профессор, д.т.н. А.С. Климов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: rocksashatomsk@mail.ru

The effect of electron beam sintering modes on the surface morphology of zirconium ceramics

A.S. Tsybalov, P.A. Samoilov, A.A. Zenin

Scientific Supervisor: Prof., Dr. A.S. Klimov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenin str., 40, 634050

E-mail: rocksashatomsk@mail.ru

***Abstract.** The work assessed the influence of electron beam sintering modes on the morphology, structure and composition of ceramics. Review of temperature dependence of power supplied to the sample and temperature versus time. The structure of the samples before and after sintering was assessed.*

***Key words:** electron beam sintering, ceramics, forevacuum, zirconium ceramics.*

Введение

Циркониевая керамика благодаря своей высокой твердости и химической стойкости применяется во многих отраслях науки и техники, например, в качестве конструкционных материалов для изготовления волоочильных фильер в кабельной промышленности [1]. Также, благодаря химической и биологической нейтральности циркониевая керамика применяется в медицине как материал для протезирования, а присущая ей ионная проводимость при температурах свыше 600°C позволяет применять этот материал в водородной энергетике в качестве электролита. Свойства керамики на основе диоксида циркония во многом определяются качеством исходных порошков и режимами тепловой обработки [2]. Классическое спекание в печах является основным методом спекания для керамики, однако этот метод имеет недостатки. Одним из недостатков является то, что с ростом температуры увеличивается диффузионная подвижность компонентов вещества, что приводит к рекристаллизационному росту зерен, и ухудшению качества изделия [3]. Стремление снизить температуру и время процесса спекания диктует развитие альтернативных способов и технологий спекания. Одним из таких способов является электронно-лучевое спекание [4]. Целью настоящей работы является оценка влияния температуры выдержки при электронно-лучевом спекании форвакуумным плазменным источником электронов на свойства предварительно подпеченной циркониевой керамики, стабилизированной оксидом иттрия.

Описание экспериментальной установки и методики эксперимента

Эксперименты по электронно-лучевому спеканию циркониевой керамики, стабилизированной оксидом иттрия ЗУСВ-Е (TOSOH, Япония) проводились на предварительно спеченной керамике, с температурой выдержки 500 °С. Образцы для электронно-лучевого спекания были выполнены в виде дисков, диаметром d порядка $13,5 \pm 0,2$ мм и толщиной h от 2 до 3 мм. Непосредственно электронно-лучевое спекание проводилось на экспериментальной установке ЭЛУ-1А, схема которой приведена на рисунке 1.

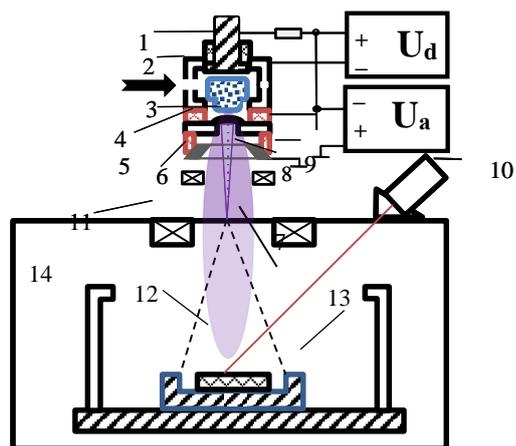


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:
 1-поджигающий электрод; 2- полый катод;
 3-перфорированный электрод; 4-анод;
 5- высоковольтные изоляторы; 6-ускоряющий электрод; 7-пучковая плазма; 8-пучок электронов;
 9-фокусирующая система; 10-пирометр; 11-система отклонения; 12-образец; 13-графитовый тигель;
 14-защитный термоскрэн

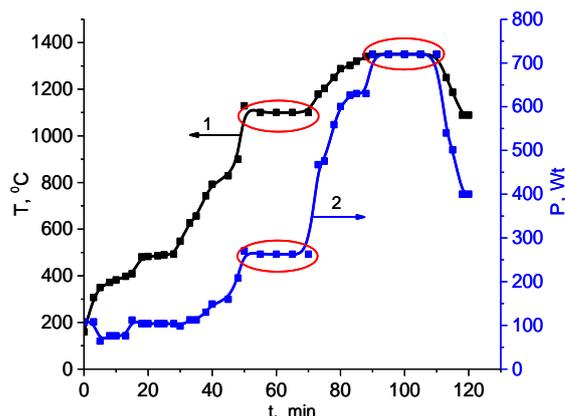


Рис. 2. Зависимость температуры (кр. 1) и мощности (кр.2) от времени в процессе электронно-лучевого спекания

Методика эксперимента заключается в следующем: подготовленный образец предварительно подпеченной при 500°C циркониевой керамики помещался в графитовый тигель, устанавливался в вакуумную камеру, откачиваемую до предельного давления 3 Па. Для поддержания рабочего давления и обеспечения стабильной работы плазменного источника электронов, в полый катод напускался рабочий газ – гелий, до достижения в вакуумной камере давления 8 Па. Нагрев спекаемого образца осуществлялся путем плавного увеличения мощности пучка электронов (рис. 2, кр.2). Для обеспечения равномерного нагрева спекаемого образца была выбрана круговая траектория движения пучка (круг диаметром порядка 25 мм), что исключало прямое попадание электронов пучка на образец. Контроль температуры образца осуществлялся инфракрасным пирометром Marathon MM (Raytec, США).

Результаты

На рисунке 2 приведены типичные зависимости подводимой к образцу мощности (кр.2) и температуры поверхности образца (кр. 1) от времени для образца с изотермической выдержкой 20 минут при температуре 1350 °C (для наглядности на рис. 2 интервалы изотермической выдержки выделены овалами). В таблице 1 приведены параметры образцов до и после электронно-лучевого спекания. Отмечено, что с ростом температуры плотность возрастает и достигает 66% от теоретически возможной, что является хорошим результатом.

Таблица 1

Параметры образцов до и после электронно-лучевого спекания

T _{выд.} °C	d, мм		h, мм		m, г		ρ, г/см ³	
	До спекания	После спекания	До спекания	После спекания	До спекания	После спекания	До спекания	После спекания
1300	13,35	10,53	3,2	2,48	0,76	0,76	1,72	3,55
1350	13,39	10,66	3,28	2,37	0,79	0,78	1,72	3,71
1400	13,67	10,65	3,12	2,46	0,85	0,85	1,86	3,89
1450	13,5	10,33	3,15	2,54	0,84	0,83	1,86	3,90

Ниже, на рисунке 3 приведены фотографии поверхности образцов для разной температуры выдержки.

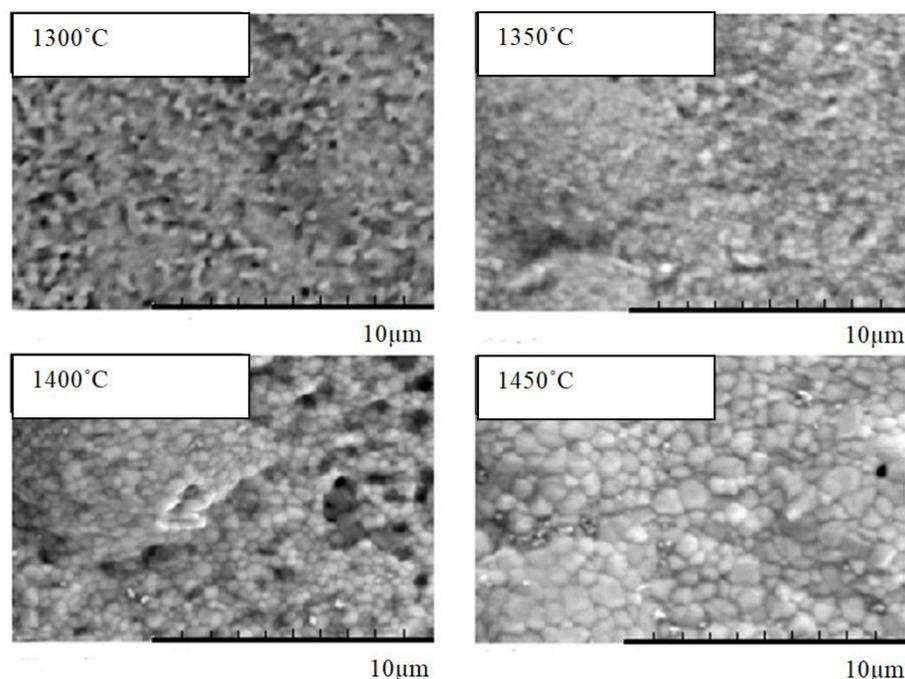


Рис. 3. Поверхность образцов при разной температуре выдержки

Анализ полученных микрофотографий показал, что с увеличением температуры выдержки более 1400 °С наблюдается укрупнение зерен, что является свидетельством перегрева и аморфизации. Таким образом, наиболее оптимальная температура электронно-лучевого спекания циркониевой керамики находится в диапазоне 1350–1400 °С.

Заключение

В результате проведенных исследований было выяснено, что при увеличении температуры выдержки наблюдается укрупнение зерен. Отмечено, что оптимальная температура изостатической выдержки при электронно-лучевом спекании находится в интервале 1350 °С и 1400 °С.

Работа выполнена при поддержке гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках конкурса FEWM-2024-0006.

Список литературы

1. Кульметьева В.Б., Порозова С.Е. Керамические материалы: получение, свойства, применение: Учебное пособие. – Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2009. – 237 с.
2. Жигачев А.О., Головин Ю.И., Умрихин А.В., Коренков В.В., Тюрин А.И., Родаев В.В., Дьячек Т.А. Под общей редакцией Ю.И. Головина. Керамические материалы на основе диоксида циркония. – Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2018. – 358 с.
3. Калинина М.В., Федоренко Н.Ю., Симоненко Т. Л., Шилова О. А. Современные методы получения оксидных нанопорошков и наноструктурированной керамики: Учебное пособие для вузов. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 72 с.
4. Салахов А.М., Современные керамические материалы: Учебное пособие. Казанский федеральный университет. – Казань: КФУ, 2016. – 407 с.

Ослабление электромагнитной помехи в структуре с двухкратным модальным резервированием до и после отказов

А.В. Чуб, К.Н. Абрамова

Научный руководитель: к.т.н. Е.С. Жечев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: andrey.chub.99@mail.ru

Electromagnetic interference attenuation in a structure with double modal redundancy before and after failures

A.V. Chub, K.N. Abramova

Scientific Supervisor: Ph.D, Y.S. Zhechev

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenina str., 40, 634050

E-mail: andrey.chub.99@mail.ru

Abstract. *The paper discusses a method for improving the reliability of radioelectronic equipment, which combines cold redundancy and modal filtering. This method is named modal redundancy. It's a technique where we assume there are two or more conductors. They create a strong electromagnetic connection between them. This connection helps shield radioelectronic equipment from electromagnetic interference. The research occurred before the failure, after the first failure, and after the second failure. The results show that after failures, the input signal is weakened by 5.5 times.*
Key words: *Electromagnetic compatibility, electromagnetic interference, modal redundancy, N-norms.*

Введение

В процессе разработки радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), при эксплуатации которого регулярное обслуживание не представляется возможным, необходимо уделять большое внимание надежности и электромагнитной совместимости [1]. Особое внимание необходимо уделять защите РЭА от мощных преднамеренных электромагнитных помех (ЭМП). Благодаря широкому спектру и малой длительности поскольку они способны проникать в РЭА и выводить ее из строя.

Для защиты от ЭМП может быть применена технология модальной фильтрации (МФ). Она основана на разделении помехи во времени за счёт разности задержек мод его квазипоперечных волн в многопроводной линии передачи. Для обеспечения надежности РЭА применяется холодное резервирование, которое позволяет переключиться на резервную часть аппаратуры в случае отказа основной. Применение МФ и холодного резервирования позволяет реализовать модальное резервирование (МР), под которым подразумевается применение резервируемых цепей вместе с резервными цепями с целью реализации МФ [2]. Целью данной работы является исследование ослабления ЭМП в структуре с двухкратным МР до и после отказов.

Экспериментальная часть

Двукратное МР представляет собой структуру, содержащую три проводника, один из которых является основным, а два других резервными. В случае выхода из строя основного проводника питание переключается на резервный, что обеспечивает бесперебойную работу устройства. Поперечное сечение исследуемой структуры (рис. 1) представляет собой двухслойную печатную плату, на каждой стороне которой расположено по два проводника (основной, два резервных и опорный).

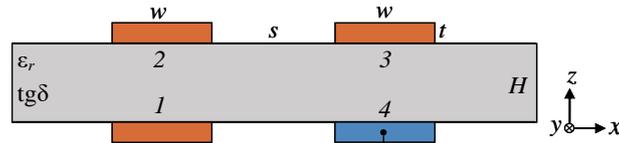


Рис. 1 Поперечное сечение структуры с двухкратным МР

Параметры поперечного сечения исследуемой структуры: толщина диэлектрической подложки $H = 1,5$ мм, толщина проводников $t = 35$ мкм, ширина проводников $w = 1,8$ мм и расстояние между ними $s = 1$ мм. Длина исследуемой структуры равна 0,5 м. В качестве материала подложки выбран диэлектрик с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r = 4,51$ и тангенсом угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta = 0,02$. Сопротивление резисторов составило 50 Ом.

Эквивалентная схема включения, имитирующая отказы представлена на рис. 2. После выхода из строя основной цепи выполняется последовательное переключение питания на свободную резервную цепь с помощью устройства переключения. Отказ на одном из концов основного проводника может являться коротким замыканием (КЗ) или обрывом / холостым ходом (ХХ).

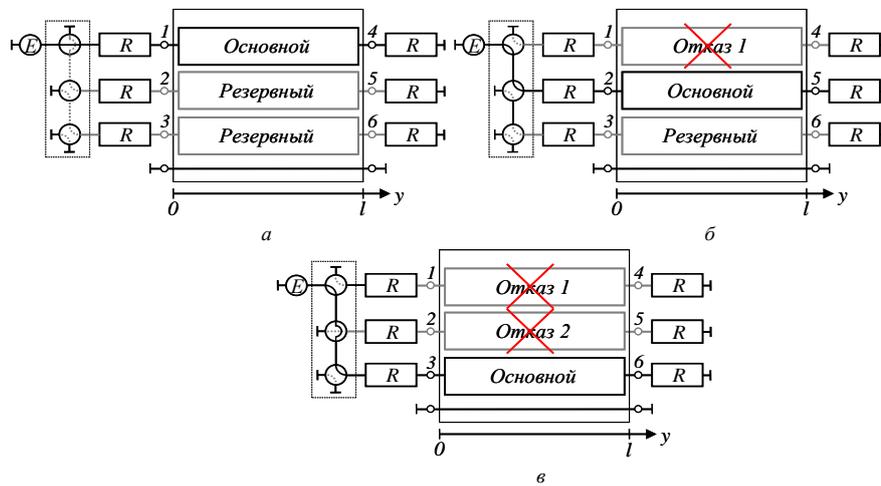


Рис. 2. Эквивалентные схемы включения структуры двукратным МР до (а), после первого отказа (б) и после второго отказа (в)

Для моделирования временного отклика использована система квазистатического анализа TALGAT [3]. Рассмотрены три случая: до отказа, после первого отказа, после второго отказа.

Результаты

Результаты моделирования временных откликов представлены на рис. 3. Для моделирования была выбрана ЭМП в виде трапециевидного импульса с э.д.с амплитудой 100 В и общей длительностью 300 пс.

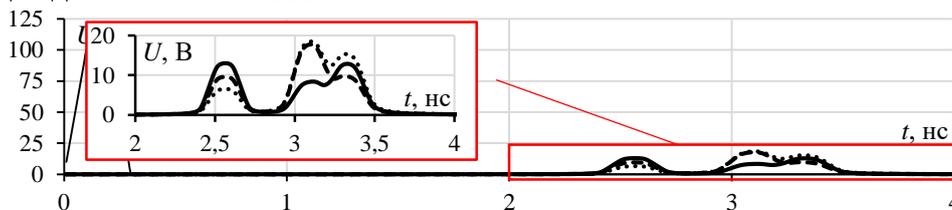


Рис. 3. Результаты моделирования структуры с двукратным МР во временной области до отказа (—), после первого отказа (••••) и после второго отказа (---)

Максимальная амплитуда ЭМП на конце основного проводника до отказа составило 12,9 В, после первого отказа -- 18,5 В, после второго отказа -- 17,7 В. Из полученных результатов видно, что максимальная амплитуда ЭМП до отказа уменьшилась в 7,7 раза, после первого отказа в 5,4 раза, а после второго отказа в 5,6 раза. Это говорит о том, что даже после переключения питания на резервную цепь происходит ослабление ЭМП.

Для исследования сигналов во временной области использованы N -нормы [4]. Значения N -норм в начале и на конце основного проводника для структуры с двухкратным МР представлены в таблице 1.

Таблица 1

Значение N -норм в начале и на конце основного проводника

N -нормы	В начале основного проводника	На конце основного проводника		
		До отказа	После первого отказа	После второго отказа
N_1	100	12,98	18,45	17,71
$N_2, 10^{12}$	1	0,114	0,145	0,141
$N_3, 10^{-9}$	20	9,72	9,71	9,69
$N_4, 10^{-8}$	2,02	1,07	1,32	1,24
$N_5, 10^{-4}$	12,9	2,68	3,37	3,01

Видно, что исследуемая структура приводит к уменьшению значений N -норм. Это говорит о том, что применение структуры с двухкратным МР позволяет снизить восприимчивость устройств к различного рода факторам, таким как пробой диэлектрика, повреждение аппаратуры, выгорание компонентов, приводящим к выводу из строя этих устройств.

Заключение

Таким образом, выполнено исследование ослабления ЭМП до и после отказов в структуре с двухкратным МР. В результате моделирования получены временные отклики и N -нормы на конце структуры. ЭМП ослабилась в 7,7 раза, после первого отказа в 5,4 раза, после второго отказа 5,6 раза.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №20-19-00446) в ТУСУРе.

Список литературы

1. Газизов Т.Р. Электромагнитная совместимость и безопасность радиоэлектронной аппаратуры: Учебное пособие. – Томск: «ТМЛ-Пресс», 2007. – 256 с.
2. Шарафутдинов, В. Р. Новый способ трёхкратного резервирования межсоединений // Доклады ТУСУР. – 2019. – Т. 22, № 2. – С. 26-30.
3. Куксенко С.П., Заболоцкий А.М., Мелкозеров А.О., Газизов Т.Р. Новые возможности системы моделирования электромагнитной совместимости TALGAT // Доклады ТУСУР. – 2015. – № 2 (36). – С. 45-50.
4. Baum С E. Norms and eigenvector norms // Mathematics Notes. – 1979. – Vol. 63. – P. 2-42.

Анализ качества устной речи с использованием LingWAVES 3

А.А. Чурилов, С.Д. Томилина, Г.Р. Егле

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Д.И. Новохрестова

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634034

E-mail: alex.reeeel@gmail.com

Analyzing the quality of oral speech using LingWAVES 3

A. A. Churilov, S.D. Tomilina, G.R. Egle

Scientific supervisor: Ass. Prof., Ph.D. D.I. Novokhrestova

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,

Lenin str., 40, 634034

E-mail: alex.reeeel@gmail.com

Abstract. *In this study, 17 parameters were selected based on voice and speech recordings made to evaluate their applicability in speech quality analysis. From 50 recordings of normal and modified speech were realized for the parameters. For the voice parameters, from 28 recordings of normal and altered voice were realized. The applicability of the voice parameters, requires further research.*

Key words: *applicability assessment; voice quality; speech quality; lingWAVES 3; Mann-Whitney; GHD; MSDA*

Введение

Устная речь - это один из наиболее естественных и важных способов общения между людьми. Она служит ключевым инструментом для передачи информации, для множества межличностных и профессиональных взаимодействий. Качество устной речи играет решающую роль в успешной коммуникации и влияет на восприятие и понимание сказанного. Анализ качества устной речи актуален в разных сферах, например, в языковых науках [1], в области информационной безопасности [2] и крайне важна в сфере медицины, например, в направлениях логопедии или реабилитации, после хирургических вмешательств [3, 4], в диагностики речевых расстройств [5] и даже в обнаружения патологических заболеваний по голосу [6]. Исследование качества речи и голоса при использовании LingWAVES 3 представляет собой важную и перспективную работу с широким спектром возможных применений как в практических, так и в научных областях.

Экспериментальная часть

Программно-аппаратный комплекс «LingWAVES 3» имеет множество модулей для расчёта множества параметров голоса и речи [7]. В Данной работе были рассмотрены следующие параметры: DDK; DDK stddev.; DDK Jitter; Energy Stope (ES); Front; FMSL; FSLD; Middle; MMSL; MSLD; Back; BMSL; BSLD, Irregularity component; Noise component, AMDF; CEP; AUC. Для оценки применимости выбранных параметров в анализе качества речи были сделаны два вида записи. Первый вид обычной речью/голоса. Второй вид с имитацией нарушений речи и голоса. Поэтому важно подметить, что проведение оценки на имитации дефектов голоса и речи недостаточно и требуются дополнительные исследования на реальных пациентах с проблемами голоса и речи. Для получения необходимых данных была написана инструкция по записи речи пациентов.

После анализа записей в системе были получены следующие наборы данных: для параметров речи выборки по 50 значений, для параметров голоса по 28 значений. Для расчёта Irregularity component и Noise_component было сделано две версии записей, с мужским и

женским голосом. Пример данных параметров речи представлен на таблице 1, пример параметров голоса представлен на таблице 2.

Таблица 1

Пример полученных данных параметров речи

DDK		DDK stddev		DDK Jitter	
Обычная	Имитация	Обычная	Имитация	Обычная	Имитация
4,62	2,17	3,88	4,27	4,46	5,41

Таблица 2

Пример полученных данных параметров мужского голоса

Irregularity component		Noise component	
Обычная	Имитация	Обычная	Имитация
4,90	4,00	2,90	3,00

Для оценки различий между двумя независимыми выборками по какому-либо параметру, измеренного количественно, будем использовать U-критерий Манна-Уитни [8].

Уровень значимости был выбран 0,01 и 0,05. Если значение критерия указывает на то, что связь между значениями параметров обычной речи/голоса и изменённого речи/голоса ниже установленного порога, делается вывод о различии этих параметров в выборках. И как следствие параметр можно использовать для оценки качества голоса/речи [9].

Результаты

Была составлена сводная таблица 3, в которой отражены результаты оценки применимости параметров речи. Аналогичная была сделана сводная таблица 4 для результатов оценки применимости параметров голоса.

Таблица 3

Применимость параметров для оценки качества речи

параметр\Уровень значимости	Можно ли использовать для оценки качества речи	
	0,01	0,05
DDK	да	да
DDK stddev. (FL)	да	да
DDK Jitter	да	да
Energy Stope (ES)	да	да
Front	нет	нет
FMSL	да	да
FSLD	да	да
Middle	да	да
MMSL	да	да
MSLD	да	да
Back	да	да
BMSL	да	да
BSLD	да	да

Таблица 4

Применимость параметров для оценки качества голоса

Название параметра\Уровень значимости	Можно ли использовать параметр для оценки качества голоса	
	0,01	0,05
Irregularity_component	да	да
Noise_component	да	да

Заключение

В результате проведенного исследования были получены числовые значения исследуемых параметров, а также набор данных в виде графиков. На основе полученных данных были выявлены параметры голоса и речи, которые можно использовать для оценки качества голоса или речи. Параметры, исследуемые на имитации больной речи/голоса для подтверждения полученных результатов, требуют дополнительного исследования на реальных пациентах с дефектами голоса или речи. Для сбора данных на реальных пациентах с проблемами речи или голоса была написана инструкция. Параметры голоса и речи, которые были получены в виде графиков были собраны в набор данных и будут использованы в дальнейшем для их изучения о различности полученных результатов.

Список литературы

1. Nagoev Z. et al. Phonetic-acoustic database of highly accented Russian speech // *Procedia Computer Science*. – 2022. – Vol. 213. – P.518-522. – doi: 10.1016/j.procs.2022.11.099.
2. Dawood H. et al. A robust voice spoofing detection system using novel CLS-LBP features and LSTM // *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences* – 2022. – Vol. 34, Issue 9. – doi: 10.1016/j.jksuci.2022.02.024.
3. Longo L. et al. New Insights into Voice Analysis, a Retrospective Study // *Journal of Voice*. – 2023. – doi: 10.1016/j.jvoice.2023.08.008.
4. Wlodarczyk M. et al. Classification of voice quality using neck-surface acceleration: Comparison with glottal flow and radiated sound // *Journal of Voice*. – 2022. – doi: 10.1016/j.jvoice.2022.06.034.
5. Huckvale M., Liu Z., Buciuileac C. Automated voice pathology discrimination from audio recordings benefits from phonetic analysis of continuous speech // *Biomedical Signal Processing and Control*. – 2023. – Vol. 86, Part B. – P. 105201 – doi: 10.1016/j.bspc.2023.105201.
6. Integrated swarm intelligence and IoT for early and accurate remote voice-based pathology detection and water sound quality estimation / B. Brahma, et al. // *Healthcare Analytics* – 2023. – Vol. 3 – P. 100200 – doi: 10.1016/j.health.2023.100200.
7. LingWAVES 3 общее руководство для SPL и Voice Clinic Suites: руководство по эксплуатации. – Bamberg: WEVOSYS, 2020. – 208 с.
8. Пучинский Г.В. Особенности применения параметрического и непараметрического критерия в статистической обработке данных газоанализа при тестировании группы пловцов. – Текст: электронный // *Интеллектуальный потенциал XXI века: ступени познания*. – 2016. – № 32. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-primeneniya-parametricheskogo-i-neparametricheskogo-kriteriya-v-statisticheskoy-obrabotke-dannyh-gazoanaliza-pri> (дата обращения: 15.06.2023).
9. Косенков И.В., Тимофенко И.П., Юдин Р.С. Оценка акустико-эмиссионных процессов при помощи непараметрического U-критерия Манна-Уитни. – Текст: электронный // *Известия ЮФУ. Технические науки*. – 2007. – № 3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-akustiko-emissionnyh-protseessov-pri-pomoschi-neparametricheskogo-u-kriteriya-manna-uitni> (дата обращения: 17.06.2023).

Исследование влияния толщины канального слоя на статические характеристики СВЧ транзистора на основе технологии 0,15 мкм pHEMT

А.Е. Шестериков, Д.А. Шестерикова

Научный руководитель: профессор, д.т.н. П.Е. Троян

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: shesterikov.a.e@mail.ru

Investigation of the influence of channel layer thickness on static characteristics of microwave transistor based on 0.15 μm pHEMT technology

A.E. Shesterikov, D.A. Shesterikova

Scientific Supervisor: Prof., Dr. P.E. Troyan

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk,
Lenin str., 40, 634050

E-mail: shesterikov.a.e@mail.ru

***Abstract.** The paper presents a research of the influence of the InGaAs microwave transistor channel layer thickness on its static characteristics by methods of device-technological modeling in the Synopsys TCAD software package. It was found that with the growth of the thickness of the channel layer linearly increases the cutoff voltage of the transistor with insignificant changes in other static characteristics.*

***Key words:** pHEMT, channel layer thickness, static characteristic, cutoff voltage.*

Введение

В настоящее время совершенствование технологических процессов для повышения степени интеграции, рабочих частот и эффективности работы микросхем является ключевой задачей современной микроэлектроники. Одной из главных проблем реализации данных тенденций является высокая сложность современных технологических процессов, а также увеличенные финансовые и временные затраты на проведение экспериментов при внесении изменений в технологию производства микросхем [1, 2]. Любое изменение в технологию может привести к непредсказуемым результатам, которые можно проанализировать только в конце технологического маршрута. Особенно это касается СВЧ монолитных интегральных схем (МИС), характеристики которых сильно зависят от паразитных параметров конструкции прибора, которые проявляются при работе на высоких частотах [3].

Время на реализацию современных технологических процессов производства СВЧ МИС составляет от нескольких месяцев до полугода в зависимости от загруженности оборудования конкретного предприятия. Таким образом, внедрение новых решений затягивается на годы, что снижает конкурентоспособность предприятия на растущем рынке СВЧ полупроводникового производства. Ключевым инструментом для сокращения времени и финансовых расходов при внедрении новых технологий является использование сред приборно-технологического моделирования. Одной из таких систем является Synopsys TCAD. В данной статье методами моделирования исследуется влияние параметров гетероструктуры НЕМТ (high electron mobility transistor) на статические характеристики СВЧ транзистора с использованием технологии 0,15 мкм pHEMT.

Экспериментальная часть

В данной работе при моделировании используется гетероструктура на основе подложки GaAs толщиной 100 мкм. На ней методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) выращен слой $\text{In}_{0,22}\text{Ga}_{0,78}\text{As}$ с мольной долей In в канале $x = 0,22$ толщиной h_{InGaAs} . Над канальным слоем

располагается барьерный слой AlGaAs с δ -легированием атомами кремния. Поверхностная концентрация δ -легирования составляет $N_{\delta} = 2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$. Над барьерным слоем располагается слой для формирования омического контакта из GaAs (Cap Layer) толщиной 30 нм. Поверх всей структуры сформирован слой пассивации из Si3N4 толщиной 50 нм. Затвор сформирован по центру между истоком и стоком. Длина затвора составляет 150 нм. Контакт затвора утоплен в барьерный слой AlGaAs, при этом глубина рецесса была принята равной 5 нм [4].

В данном исследовании была использована Гидродинамическая модель переноса электронов (Hydrodynamic transport) [5]. Выбрана модель подвижности на основе сильного поля (High field mobility saturation) [6]. Также ко всем материалам структуры применена модель Шокли-Рида-Холла (SRH), Оже и радиационной рекомбинации [7].

В рамках моделирования исследовалось влияние толщины канального слоя InGaAs (h_{InGaAs}) на статические характеристики СВЧ транзистора. Основные статические характеристики НЕМТ могут быть рассчитаны из зависимости тока стока от напряжения на затворе (передаточная характеристика).

Результаты

На рис. 1 представлена зависимость тока стока на единицу ширины затвора от напряжения на затворе при напряжении сток-исток $V_{ds} = 1,5 \text{ В}$.

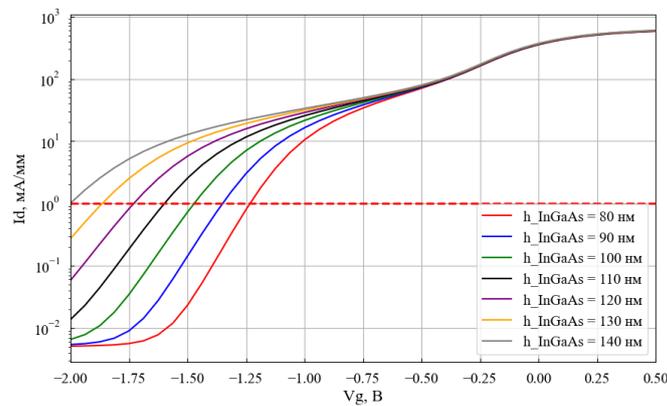


Рис. 1. Зависимость тока стока на единицу ширины затвора от напряжения на затворе

Из зависимости на рис. 1 можно определить следующие характеристики транзистора: ток стока на единицу ширины затвора при напряжении на затворе равном 0 В (I_{dso}); максимальный ток стока на единицу ширины затвора (I_{max}); напряжение отсечки транзистора ($V_{cut-off}$), которое определяется при токе стока равном $I_d = 1 \text{ мА/мм}$. На рис. 2 представлена зависимость крутизны транзистора на единицу ширины затвора от напряжения на затворе НЕМТ.

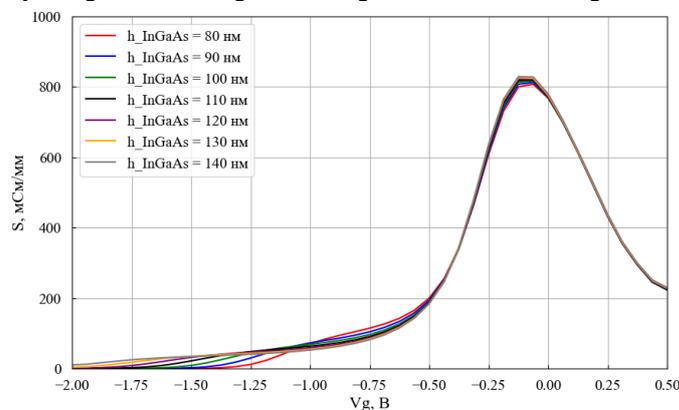


Рис. 2. Зависимость крутизны транзистора на единицу ширины затвора от напряжения на затворе

Из рис. 2 видно, что с увеличением толщины канала InGaAs транзистора его крутизна изменяется незначительно. Из данной зависимости можно определить следующие характеристики: максимальная крутизна транзистора на единицу ширины затвора S_{max} ; положение максимума крутизны транзистора $V_{gS_{max}}$.

Заключение

В таблице 1 представлены основные характеристики транзистора, рассчитанные из передаточных характеристик на рис. 1 и рис.2, в зависимости от толщины канального слоя InGaAs.

Таблица 1
Статические характеристики НЕМТ в зависимости от толщины канального слоя InGaAs

h_{InGaAs} , нм	I_{ds0} , мА/мм	I_{max} , мА/мм	$V_{cut-off}$, В	S_{max} , мСм/мм	$V_{gS_{max}}$
80	353	581	-1,23	804	-0,10
90	357	584	-1,35	810	-0,10
100	360	587	-1,47	815	-0,10
110	362	590	-1,59	819	-0,10
120	365	594	-1,73	822	-0,10
130	367	597	-1,85	825	-0,10
140	370	600	-2,00	829	-0,10

Из полученных данных в таблице 1 видно, что с ростом толщины канального слоя линейно увеличивается напряжение отсечки транзистора при незначительном изменении остальных параметров. Таким образом, за счет вариации толщины канального слоя InGaAs можно регулировать напряжение отсечки НЕМТ.

Список литературы

1. Wild A. Microelectronics in the 21st Century: Technology, Economics, Policies // International Semiconductor Conference (CAS). – 2022. – P. 3–12. doi: 10.1109/CAS56377.2022.9933993.
2. Solomennikova E.A., Lugacheva L.I., Musatova M.M. The strengthening of economic position of russian electronics: mechanisms and capabilities // Journal of Siberian Federal University. Humanities & Social Sciences. – 2020. – № 13 (11). – P.1840–1852.
3. Zhang W. et al., Space Mapping Approach to Electromagnetic Centric Multiphysics Parametric Modeling of Microwave Components // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. –2018. – Vol. 66, № 7. – P. 3169–3185. doi: 10.1109/TMTT.2018.2832120.
4. Shesterikov A. E., Shesterikova D. A. and Erofeev E. V. Investigation of the Influence of Heterostructure on the Parameters of Microwave Transistors // IEEE XVI International Scientific and Technical Conference Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE) – Novosibirsk: IEEE Xplore, 2023. – P. 80–83. doi: 10.1109/APEIE59731.2023.10347827.
5. Grasser T., Ting-Wei Tang, Kosina H. and Selberherr S. A review of hydrodynamic and energy-transport models for semiconductor device simulation // Proceedings of the IEEE. – 2003. – Vol. 91, № 2. – P. 251–274. doi: 10.1109/JPROC.2002.808150.
6. Reggiani L., et al. Modelling of small-signal response and electronic noise in semiconductor high-field transport // Semiconductor science and technology. – 1997. – Vol. 12, Iss. 2. – P. 141–156.
7. Khanna V. K. Physical understanding and technological control of carrier lifetimes in semiconductor materials and devices: A critique of conceptual development, state of the art and applications // Progress in quantum electronics. – 2005. – Vol. 29, Iss.2. – P. 59–163.

Подсистема управления образовательным процессом на основе когнитивного подхода

Е.С. Штали́на, Ф.Д. Пираков, Е.О. Ельцова

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н. А.П. Клишин
Томский государственный педагогический университет,
Россия, г. Томск, ул. Киевская, 60, 634061

E-mail: shtalina@tspu.edu.ru

Educational process management subsystem based on the cognitive approach

E.S. Shtalina, F.D. Pirakov, E.O. Eltsova

Scientific Supervisor: Ass. Prof., Ph.D. A.P. Klishin
Tomsk State Pedagogical University, Russia, Tomsk, Kyivskaya str., 60, 634061

E-mail: shtalina@tspu.edu.ru

***Abstract.** This article is devoted to the development of student software tools based on the electronic portfolio system and the cognitive model of student learning at the university. The development of a cognitive learning model for electronic educational systems was stimulated by the emerging opportunities in solving a wide range of problems related to the analytical justification of management decisions made at a university. A software solution has been developed to analyze student achievements using an electronic portfolio and data on the states of students' cognitive parameters.*

***Key words:** cognitive approach, management decisions, digital profile, educational process.*

Введение

Процесс цифровизации в сфере высшего образования приводит к широким изменениям всей системы подготовки, способствуя ускоренному развитию цифровой грамотности и позволяет формировать индивидуальные подходы к обучению [1–3].

Ввиду высокой изменчивости множества факторов цифрового окружения с течением времени, появляется потребность в формировании быстрой реакции на различные новые ситуации, что ведет к выработке эффективных управленческих решений на основе существующих данных [2, 3]. Поэтому внедрение новых методов поддержки принятия управленческих решений играет важную роль, позволяя адаптивно управлять обучением за счет использования различных комплексных программных систем. В связи с этим, одним из способов организации эффективной подсистемы управления образовательным процессом в вузе является когнитивный подход. Для таких случаев в процессах управления возникает необходимость принятия решений в слабоструктурированных динамических ситуациях, в случае если закономерности развития ситуации частично описывается качественными значениями.

Используя возможности когнитивного подхода, можно сформировать и отладить адаптивное управление образовательными процессами в условиях быстро меняющейся цифровой среды в дополнении к основной системе управления, которая используется в настоящее время. В представленной работе была поставлена цель поиска эффективных механизмов совершенствования системы управления учебным процессом с использованием когнитивного подхода на основе данных системы электронного портфолио.

Экспериментальная часть

Методологической основой при структурном анализе ситуации связанной с принятием решения служит системный подход, в основе которого лежит рассмотрение объекта или ситуации как системы. Специфика системного подхода определяется тем, что он ориентирует исследование на раскрытие целостности объекта и обеспечивающих ее механизмов, на выявление многообразных типов связей сложного объекта и сведение их в единую

теоретическую картину. Для структурного анализа ситуации применялся SWOT анализ, а для анализа внешнего окружения использовался PEST-анализ. Проектирование основных модулей подсистем управления осуществлялось с использованием методов объектно-ориентированного анализа (OOA) и методологии SADT.

Для эффективной работы подсистемы управления была создана схема управления (рис. 1). Управляющая подсистема представляет собой комплекс инструментов и технологий, направленных на эффективное управление учебным процессом в вузе. Компоненты подсистемы обеспечивают автоматизацию административных процедур, сбор и анализ данных о студентах, учебном процессе, с использованием индивидуального подхода к обучению.

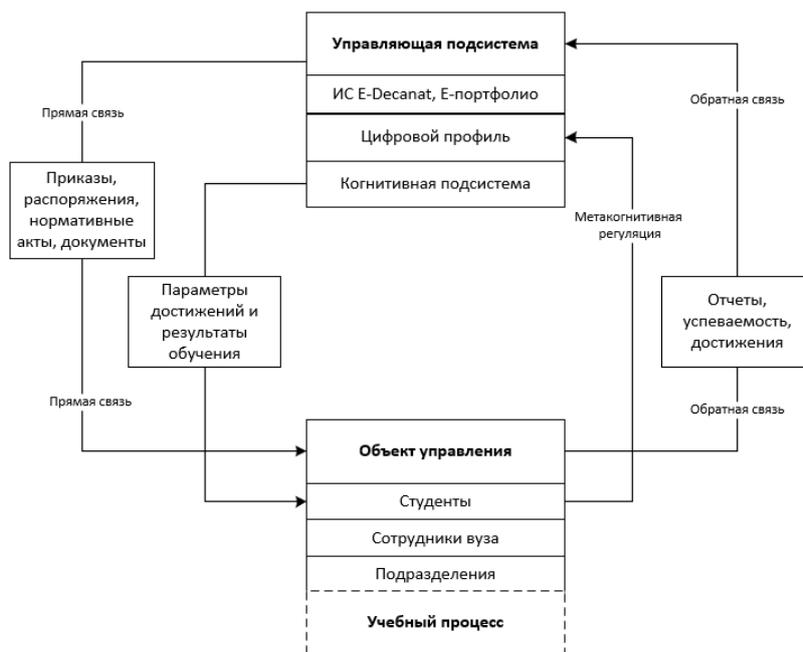


Рис. 1. Схема управления учебным процессом на основе когнитивного подхода

Управляющая подсистема эффективно взаимодействует с объектами управления, например, при помощи программы E-Decanat руководство вуза управляет административными процессами, а E-портфолио позволяет студентам отслеживать свои достижения. Немаловажную роль играют цифровой профиль и когнитивная подсистема: с их помощью происходит сбор и анализ о когнитивных параметрах и процессах обучающихся (табл.1). Таким образом, управляющая подсистема, включающая указанные компоненты, способствует созданию более гибкой, эффективной и персонализированной образовательной среды, обеспечивая улучшение управления вузом и качества обучения.

Таблица 1

Когнитивная модель

№	Параметры модели	V	IQ	A	B	T
1.	Название	Объем внимания	Уровень интеллекта	Слуховое восприятие	Визуальная информация	Визуальное пространство
2.	Ед. измерения	1–43 балл.	1–60 балл	1–9 балл	1–9 балл	1–9 балл
3.	Время тест., мин	2,5	25	2	2	2

Результаты и обсуждение

Система поддержки принятия управленческих решений с использованием когнитивной модели обучения, объединяет несколько различных программных инструментов, методик и

Автоматизированное дешифрирование данных дистанционного зондирования Земли с применением нейросетевых моделей

А.Д. Элешкевич, М.С. Еременко

АО «ТомскНИПИнефть»,

Россия, г. Томск, пр. Мира, 72, 634027

E-mail: EleshkevichAD@tomsknipi.ru

Automated decryption of remote sensing data using neural network models

A.D. Eleshkevich, M.S. Eremenko

JSC "Tomsknipeft", Russia, Tomsk, Mira str, 72, 634027

E-mail: EleshkevichAD@tomsknipi.ru

Abstract. *The paper raises the problem of automating the decryption of Earth remote sensing data. An approach based on neural network training is proposed to solve this problem. As the results of the work, an example is given for solving the problem of recognizing the contours of water bodies. To solve production problems, it is proposed to consider the possibility of integrating the developed algorithm with the desktop geographic information system QGIS by creating a module.*

Key words: *Neural network, Earth remote sensing data, geographic information systems.*

Введение

В последнее десятилетие в России активно проводятся исследования и разрабатываются проекты в области геоинформатики. Геоинформационные системы (ГИС) являются главным инструментом для выполнения задач, стоящих перед данной наукой. ГИС используются для обработки значительных объемов пространственных данных, выполняя задачи по сбору, хранению, представлению и анализу таких данных. На сегодняшний день ГИС нашли широкое применение в различных сферах человеческой деятельности, одной из которых являются предприятия нефтегазовой отрасли [1].

В процессе разработки и эксплуатации месторождений нефтяной и газовой индустрии возникает потребность в обработке данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для различных задач экологического мониторинга, строительного контроля, геодезических и картографических работ, а также многих других. Классический способ обработки данных ДЗЗ представляет собой ручную обработку, недостатком такого способа является низкая скорость обработки данных, а также влияние человеческого фактора, при обработке большого объема данных. Основным способом увеличения скорости обработки большого массива данных ДЗЗ при ручном распознавании является привлечение большего числа сотрудников к этому процессу, что негативно сказывается на целесообразности самого процесса обработки данных. Не исключена также возможность отказа от обработки актуальных данных ДЗЗ в пользу более старых, возможно уже не актуальных данных ДЗЗ, но при этом ранее обработанных.

Альтернативными способами по обработке данных были алгоритмы, построенные на «классическом» математическом аппарате, использующие вероятностные распределения, матрицы и вектора Фишера, различные спектральные плотности и уравнения [2–4]. Однако, результаты обработки данных ДЗЗ такими способами не давали высокой точности. В связи с появлением и развитием в начале 2010-х годов сверточных нейросетевых алгоритмов, которые из года в год превосходили модели на основе «классического» математического аппарата [5], вопрос автоматизации процесса дешифрирование данных ДЗЗ приобрел большую актуальность.

Экспериментальная часть

В качестве опытного эксперимента по применению нейросетевых моделей на практике для обработки данных ДЗЗ нами была рассмотрена задача по распознаванию и созданию

вектор-слоя водных объектов по данным съемки с БПЛА. На рис. 1 представлена иллюстрация того, какое изображения получала нейросеть для обработки (слева), и желаемый результат распознавания нейросетью (справа).

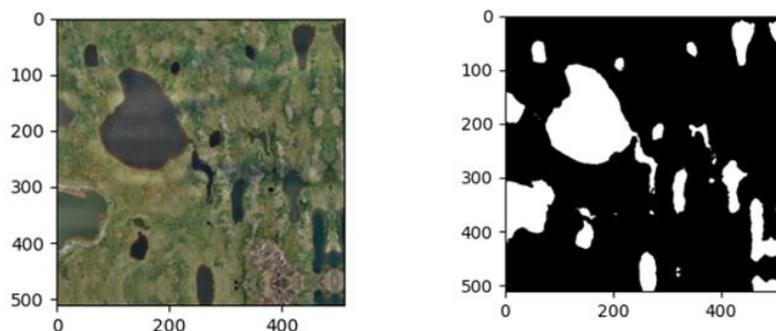


Рис. 1. Пример исходного изображения и желаемого результата распознавания

В качестве нейросети для эксперимента была выбрана модель Unet [6], с функцией активации сигмоид [7], число эпох обучения было равно 15-ти, соотношение обучающей и тестовой выборки было 80 % и 20 % соответственно, в качестве метрики ошибки была ошибка Дайса. Общая площадь данных для исследования составила 300 км².

Результаты

В результате обучения нейросети была достигнута ошибка по вышеуказанной метрике в 5 %, на рис. 2 представлены наглядные результаты работы нейросети (справа), а также сравнения с желаемым результатом (по центру) и исходное изображение (слева).

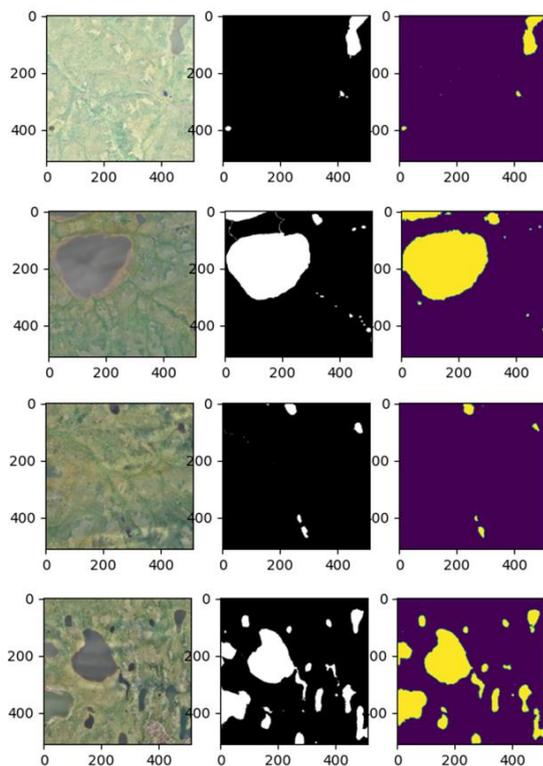


Рис. 2. Результаты обученной нейросети

Заключение

В результате проведенного эксперимента можно сказать, что достигнутый порог ошибки в 5 % и визуальный осмотр результатов нейросети свидетельствуют о высокой степени

автоматизации процесса дешифрирования водных объектов. Таким образом, технология распознавания данных ДЗЗ при помощи нейросетевых моделей при дальнейшем развитии и применении в других задачах дешифрирования может показать хороший результат. Что позволит существенно сократить трудозатраты и ускорить обработку большого массива данных ДЗЗ.

Для дальнейшего применения в производственных задачах обученную нейросеть можно интегрировать в геоинформационную систему, например, QGIS. Такое решение позволит пользователям не знакомым с устройством работы нейросетей применять готовые модели. В данный момент производится техническая реализация представленного решения, путём создания модуля для QGIS.

Список литературы

1. Ковин Р.В., Марков Н.Г. Геоинформационные системы: учебное пособие — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 175 с.
2. Рылов С.А. Алгоритм спектрально-текстурной классификации спутниковых изображений с использованием частичного обучения // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2019. – Т. 4, № 1. – С. 37-43. – DOI 10.33764/2618-981X-2019-4-1-37-43.
3. Шеломенцева, И.Г. Обзор базовых алгоритмов классификации в задаче распознавания изображений анализов мокроты, окрашенной по методу Циля-Нильсена // Актуальные проблемы современной науки в 21 веке: Сборник материалов XIV Международной научно-практической конференции, Махачкала, 31 августа 2017 года. – Махачкала: Общество с ограниченной ответственностью "Апробация", 2017. – С. 18-21.
4. Кандоба И.Н., Костоусов В.Б., Костоусов К.В., Перевалов Д.С. Алгоритмы поиска и классификации изображений линейных объектов на космоснимках // Математические методы распознавания образов. – 2009. – Т. 14, № 1. – С. 536-539.
5. Бычков А.Г., Киселева Т.В., Маслова Е.В. Использование сверточных нейросетей для классификации изображений // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2023. – № 1(43). – С. 39-49. – DOI 10.57070/2304-4497-2023-1(43)-39-49
6. Bousias A.E., Armenakis C. Evaluation of unet and unet++ architectures in high resolution image change detection applications // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences – 2020. – Vol. XLIII-B3-2020. – P. 1507-1514. – DOI 10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2020-1507-2020.
7. Соснин, А.С., Сулова И.А. Функции активации нейросети: сигмоида, линейная, ступенчатая, relu, tahn // Наука. Информатизация. Технологии. Образование : Материалы XII международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 25 февраля – 01 марта 2019 года. – Екатеринбург: Российский государственный профессионально-педагогический университет, 2019. – С. 237-246.

Научное издание

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК

Том 7. IT-технологии и электроника

Сборник научных трудов
XXI Международной конференции студентов, аспирантов
и молодых ученых

Компьютерная верстка *С.А. Поробова*

**Зарегистрировано в Издательстве ТПУ
Размещено на корпоративном портале ТПУ
в полном соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета**



ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ