

Міністерство освіти і науки України

Системні технології

System technologies

1 (144) 2023

Регіональний міжвузівський збірник наукових праць

Засновано у січні 1997 року.

У випуску:

- ПРОГРЕСИВНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
ТА ОРГАНІЗАЦІЯ СУЧАСНОГО ВИРОБНИЦТВА**
- МАТЕМАТИЧНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ**
- СИСТЕМНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ
ТА КІБЕРБЕЗПЕКА**

Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1 (144). - Дніпро, 2023. – 128 с.
ISSN 1562-9945 (Print).
ISSN 2707-7977 (Online).

Редакційна колегія випуску:

Алпатов А.П. - д.т.н., проф. (відп. редактор)
Архипов О.Є. - д.т.н., проф.
Білозьоров В.Є. - д.ф.-м.н., проф.
Бабічев С.А. (Чеська Республіка) - д.т.н., доц.
Єрьомін О.О. - д.т.н., проф.

Прогресивні інформаційні
технології та організація
сучасного виробництва

Гече Ф.Е. - д.т.н., проф., (відп. редактор)
Гуда А.І. - д.т.н., проф.
Гнатушенко Вік.В. - д.т.н., проф.
Скалозуб В.В. - д.т.н., проф.

Математичне
та програмне забезпечення
інтелектуальних систем

Гнатушенко В.В. - д.т.н., проф., (відп. редактор)
Гожий О.П. - д.т.н., проф.
Кіріченко Л.О. - д.т.н., проф.
Светличний Д.С. (Польща) - д.т.н., проф.
Хандецький В.С. - д.т.н., проф.

Системні технології
обробки інформації
та кібербезпека

Збірник друкується за рішенням Вченої Ради
Українського державного університету науки і технологій
від 23.01.2023 р., № 4

Адреса редакції: 49600, Дніпро, пр. Гагаріна, 4
Український державний університет науки і технологій,
ННІ «Інститут промислових та бізнес технологій»
кафедра Інформаційних технологій та систем.
Тел. +38(097)6854525
E-mail: st@nmetau.edu.ua
<https://journals.nmetau.edu.ua/index.php/st>

© Український державний університет науки і технологій,
ННІ «Інститут промислових та бізнес технологій»,
ІВК «Системні технології», 2023

V.Yu. Kashtan, V.V. Hnatushenko

INFORMATION TECHNOLOGY FOR DETECTING FOREST FIRE CONTOURS USING OPTICAL SATELLITE DATA

Abstract. The number of forest fires has increased significantly over the past ten years. It indicates that forest area estimates fires are a very urgent task today. The use of satellite-based data simplifies the process of assessing forest fires. The aim is to develop an information technology for automated forest fire contours detection on digital optical satellite datas in conditions of non-stationarity and uncertainty based on convolutional neural networks. The most popular tools for forest fire analysis are considered. This work proposed using hotspots to identify all fire and smoke pixels for automated forest fire contour detection. It made it possible to obtain contour polygons of the corresponding areas with various attributes: position, size, etc. The results are tested on Sentinel 2 satellite images of the Bvila region. The proposed method has an overall accuracy of 94.3% for the selection of forest fires.

Keywords: mapping forest fire, hotspots, Sentinel-2 satellite imagery, burned polygons

Statement of the problem. Forests are regularly affected by fires over a large area, measured in millions of hectares [1]. This problem has been relevant for more than ten years due to the extreme summer in Europe. The classic approach to solving the task of determining burnt areas and the degree of burning is based mainly on the analysis of field materials surveyed. Besides using such methods to associate with financial and labor costs, their regular use throughout the country is hardly economically justified and practically feasible. In recent years, satellite images are increasingly used. It makes it possible to significantly increase the completeness of detection and the accuracy of determining the area of drying planted areas, monitors the extent of the global deforestation of the planet [2], as well as more effectively organize a ground assessment of the quantitative characteristics of their condition. However, the detection and analysis of forest fires obtained using the special thermal sensors without using automation tools is an expensive and difficult process. For this reason, work is currently underway around the world to create automated systems for detecting and evaluating forest fires. At the same time, the main direction in the creation of such systems is the development of methods for the auto-

mated processing of satellite data. Since the use of the latter greatly simplifies the process of assessing burnt areas and in some cases (swamps, protected areas) exceeds the accuracy of the assessment on the ground.

Therefore, the relevance in research is due to the need for a prompt and economically feasible assessment of the consequences of forest fires.

Analysis of recent research and publications. An analysis of the literature data [3-5] allows us to draw the following conclusions: existing approaches are diverse based on simplified calculations and include a limited number of factors, most natural ones; forest fire monitoring from space is carried out in practice, as a rule, without atmospheric correction of satellite data; there are isolated examples [6] of procedures for an approximate consideration of optical-geometric conditions of observations in algorithms for satellite monitoring of forest fires. However, they do not investigate the influence of this factor on the effectiveness of early detection of fires from space. And given the variety of factors that affect the possibility of a forest fire, it dictates the need to use an integrated approach to include both natural and anthropogenic factors.

Using hyper-accurate neural networks for fire detection can provide better accuracy than conventional methods, as CNN automatically learns a set of visual features based on the training data [6]. The characteristics of CNNs provide certain advantages in visual processing, especially for multidimensional input vector images that can be directly injected into the model, thus avoiding the complexities of data recovery in feature extraction. Therefore, the currently existing models for predicting development dynamics using neural network technologies eliminate some of the shortcomings inherent in traditional models.

The purpose of the study is to develop information technology for detecting forest fire contours on digital optical satellite images in conditions of non-stationarity and uncertainty based on convolutional neural networks.

Statement of the main research material. The proposed information technology is described in detail. It consists of downloading input optical satellite images of any size, including data from the IR channel. Preprocessing of input data is provided, such as interference filtering, radiometric, and geometric data correction with spectral correction. The next step is CNN training of optical satellite data and classification for the three classes: fire, smoke, and background [7], and detection of hot-spot fire polygons. To identify hotspots proposes to combine them into one object and draw a contour of the territory on which it operated. It will allow not only to estimate the area of the fire but also to carry out its joint analysis with various maps,

determining, for example, the territory of which region the fire was active, what types of vegetation it passed through, etc. The construction of the general contour of the firebases on new observational data (hotspots) for the fire area becomes available and added to the previously formed fire polygon. The workflow detection of the hotspot fire polygons is shown in fig.1. At the same time, using various cartographic information, an annotation of individual hot spot polygons formed on their basis in a particular observation session. Also, practice is to obtain a polygon of the current fire by comparing data obtained at different times. Thus, at the end of the fire, we have its final contour (final polygon) with various attributes: in which region it operated, what area it passed (including covered and not covered with forest), the total local of forest types traversed by fire, the type of territory, on which a fire broke out, etc. In a specialized database was stored this information for further analysis.

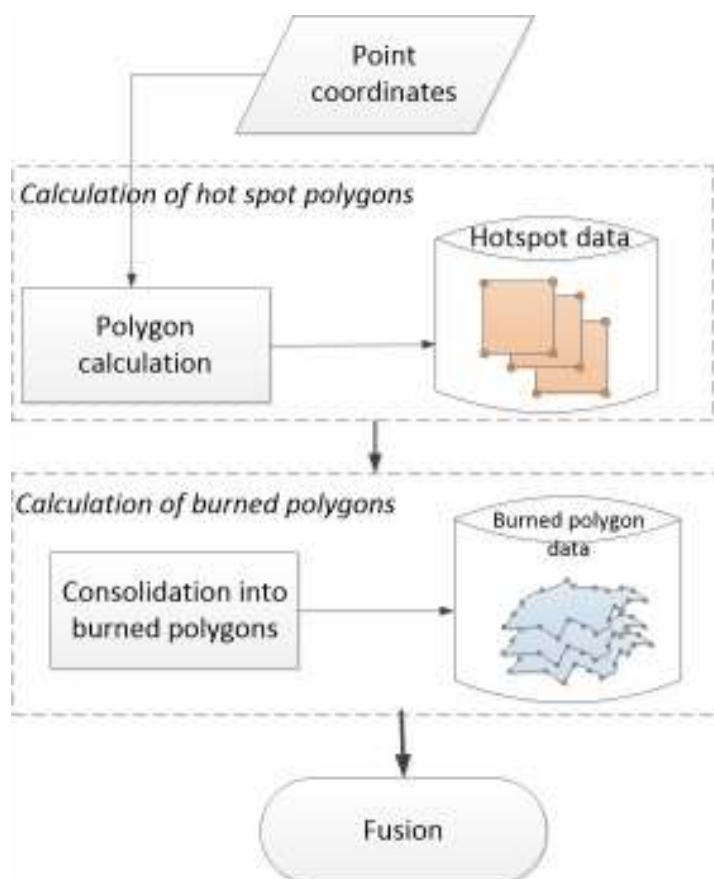


Figure 1 - Flowchart of the hotspot fire polygons methodology

The formation of polygons of fire sites uses results by the criterion of radiation temperature of active fires based on thermal sensors of the satellite with a spatial resolution of 1 km. These polygons may also include territories unaffected by the fire. This kind of error reaches its maximum values at the boundaries of the fire and

decreases as it approaches its center. The model formula (1) applies to reduce this kind of error [8]:

$$S_a = \begin{cases} \left(1 - \frac{k \cdot \Delta \cdot (1 - \delta)}{\sqrt{S_f}}\right) \cdot S_f \forall S_f > (k \cdot \Delta)^2, \\ \delta \cdot S_f \forall S_f \leq (4\Delta)^2 \end{cases} \quad (1)$$

where S_f is fire area in km²; S_a is adjusted fire area in km²; δ is pixel size in km; Δ is correction coefficient.

The proposed information technology was implemented using the Programming Tool Python. The client part consists of an interface (figure 2) for easy interaction with the system (navigation of interface, visual design of program screen forms), program code for loading algorithms, and a module responsible for sending data and receiving a response. Our work used the PyQt6 library for the implementation technology. The functionality of this library fully satisfied all the requirements for the visual design of the client side.

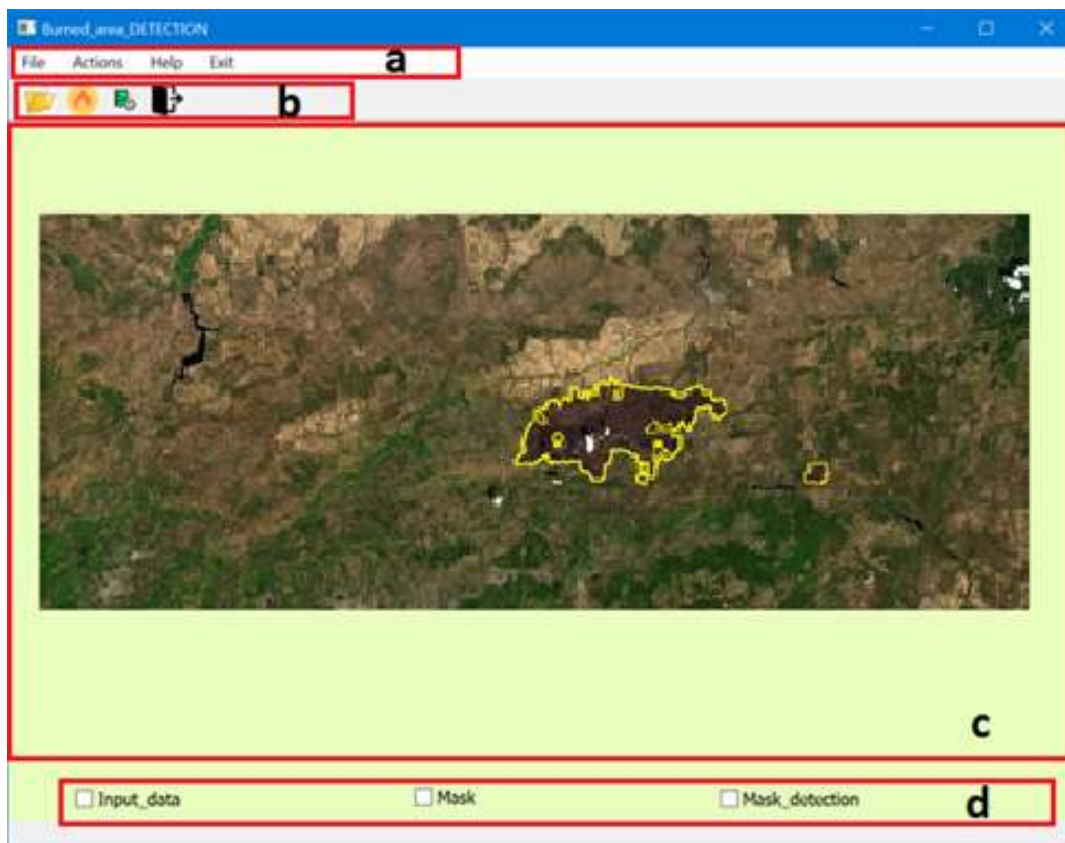


Figure 2 - User friendly Graphical Interface for fire detection:

- a) Menu bar; b) Tool bar; c) Display selected images view;
- d) Display control training related step's view

The algorithm for sending an image and getting a verdict and providing the results to the user was implemented using two helper functions (fig.3). The first function takes as input the path to the directory and reads all satellite imagery files (.tiff resolution) or image files (.jpeg) from it. The PyQt6 library used the `getExistingDirectory()` function of the `QFileDialog` class for the earlier step. This function allows selecting a directory in the opened explorer and returns the absolute path to the chosen directory.

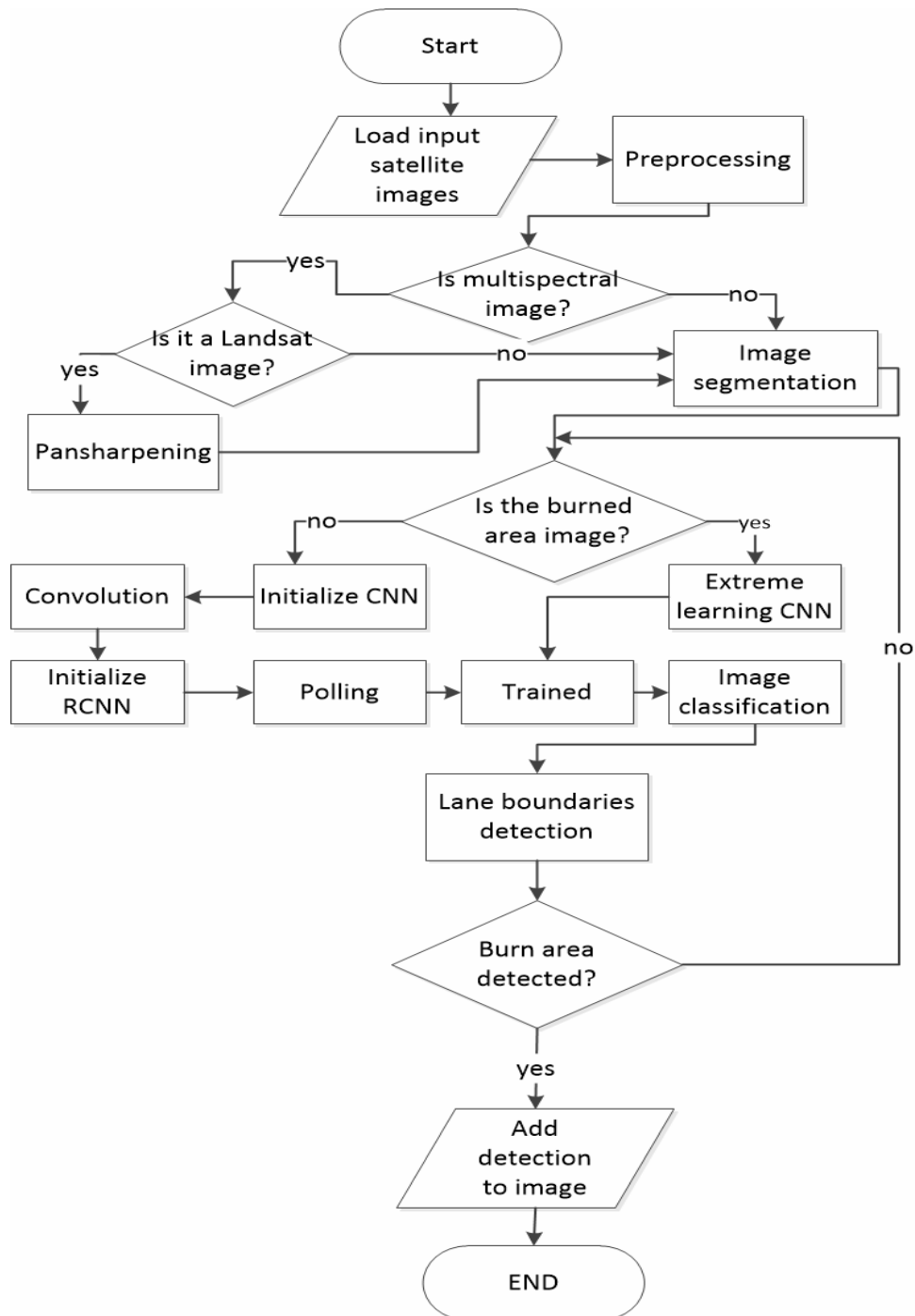


Figure 3 - Flowchart of the program realization

Next, using the Operation System library, we get the full names of all files stored in the selected folder and check their extensions. If the file extension matches the requirement (.tiff, .jpg), then this file is read using the imread () function of the OpenCV library. In this step, the algorithm checks the input data from which satellite they were received. If data from a Landsat satellite (which contains multispectral and panchromatic images (bands)), then it performs pansharpening to increase the resolution of the multispectral image to panchromatic. Band fusion results in a high-resolution color image. The following function is responsible for the serial transmission of images read from the user-selected directory for further analysis using a neural network. A friendly Graphical Interface provides the program results for the user. Used the library of the post() procedure for sending a request. Further, the main program window allowed them to view the contours of burnt areas (violations of the forest cover) for the user. The OpenCV library used the imshow() function to display images.

Figure 4 presents an activity diagram based on functional and non-functional requirements. This diagram shows the process of the user interacting with the system to identify wildfire detections.

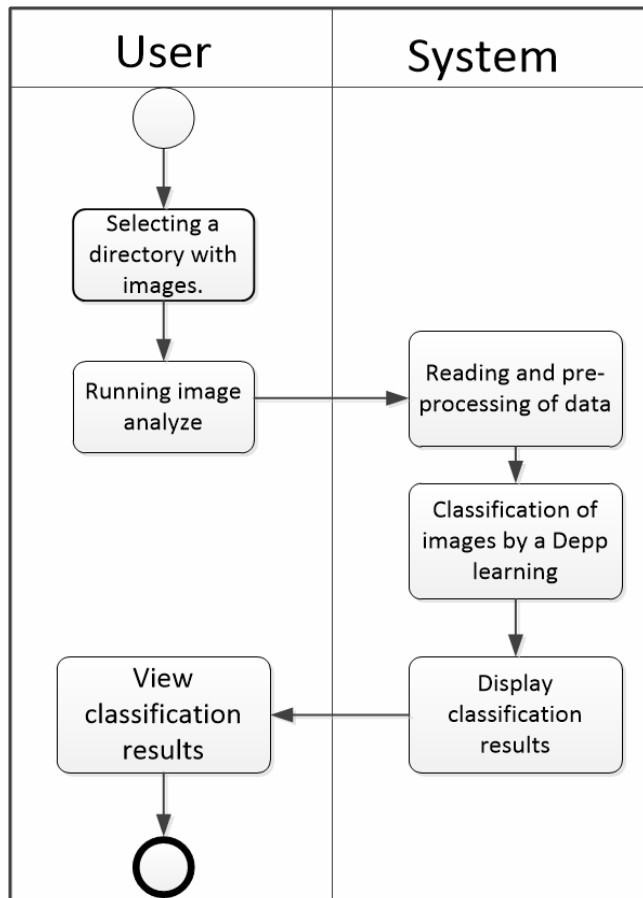


Figure 4 - Activity diagram

Experiment. Experiments were carried out on one small test area. It is the Avila region in Spain (Fig.5a). A fire was identified in 2021 from Sentinel-2 satellite imagery taken between July and the end of September. Therefore, in the work, the first stage of the proposed technology is the radiometric and geometric correction of data, as shown in Fig. 5b. Examples of CNN fire detection and construction of its polygon are shown in Fig. 5c. The overall accuracy for the Avila region from Table 1 corresponds to the high classification accuracy of the proposed method. The confusion matrix [9] is one of the most widely used methods for assessing the quality of a classification used in machine learning and image analysis, also known as the fit matrix. This method makes it easy to evaluate how effectively the system separates two classes: burnt area and not burnt area. Table 2 shows the confusion matrix results.

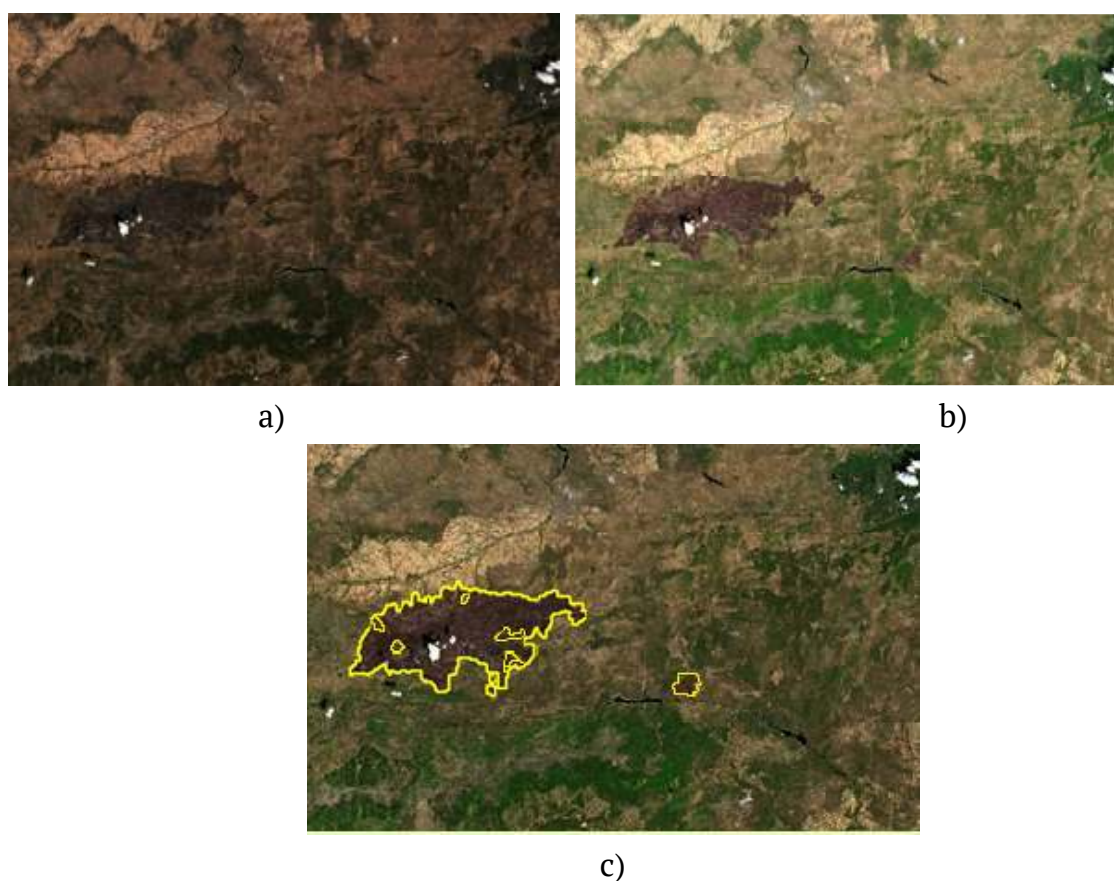


Figure 5 - Satellite image from Avila:

- a) after fire synthesized according to the scheme Band4-Band3-Band2;
- b) after data processing;
- c) result of the forest fire contour detection

Table 1

Accuracy assessment of the spectral indicators and the proposed technology

Territories	Overall accuracy, %		
	dNBR index	BAIS2 index	Proposed technology
Avila region	87.4	90.2	94.3

Table 2

Confusion matrix

Territories	Expert review, %		Overall accuracy	Proposed Technology (automated), %		Overall accuracy
	Was fire	Wasn't fire		Was fire	Wasn't fire	
Burnt area of Avila region	50,8	22,4	9,4	63,7	1,6	7,4
Not burnt area of Avila region	49,2	77,6	90,6	36,3	98,4	92,6

Conclusions. This paper presented an information technology for automated forest fire contours detection in conditions of non-stationarity and uncertainty based on convolutional neural networks. The functionality of the technology allows solving the tasks, starting from the moment of receiving the input data and ending with the export of a hot-spot fire polygonal file describing the area that has undergone a burnout. The data from the Sentinel-2A and Sentinel-2B satellites are characterized by the best ratio of spatial, spectral, and temporal indicators among publicly available satellite remote sensing data. The results were tested on optical Sentinel 2 satellite images for Avila regions and the proposed method shows an overall accuracy of 94.3%.

REFERENCES

1. Lizundia-Loiola, J.; Pettinari, M.L.; Chuvieco, E. Temporal Anomalies in Burned Area Trends: Satellite Estimations of the Amazonian 2019 Fire Crisis. *Remote Sens.* 2020, 12, 151.
2. Hnatushenko Vik.V., Mozgovyi D.K., Vasyliiev V.V. Satellite Monitoring of Deforestation as a Result of Mining. *Naukovi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, Dnipropetrovsk*, 2017. № 5 (161). P. 94-99.

3. Zhao, L.; Zhi, L.; Zhao, C.; Zheng, W. Fire-YOLO: A Small Target Object Detection Method for Fire Inspection. Sustainability 2022, 14, 4930. DOI:10.3390/su14094930.
4. He, L.; Gong, X.; Zhang, S.; Wang, L.; Li, F. Efficient attention based deep fusion CNN for smoke detection in fog environment – ScienceDirect. Neurocomputing 2021, 434, 224–238.
5. Luke Collins, Ross A Bradstock, Hamish Clarke, et al. The 2019/2020 mega-fires exposed Australian ecosystems to an unprecedented extent of high-severity fire. Environ. Res. Lett. 16 (2021). DOI: 10.1088/1748-9326/abeb9e.
6. Mahmoud Kalash, Mrigank Rochan, Noman Mohammed, Neil D. B. Bruce, Yang Wang, et.al. Malware Classification with Deep Convolutional Neural Networks. 2018 9th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS), 2018. DOI: 10.1109/NTMS.2018.8328749.
7. Kashtan, V., Hnatushenko, V. (2023). Deep Learning Technology for Automatic Burned Area Extraction Using Satellite High Spatial Resolution Images. In: Babichev, S., Lytvynenko, V. (eds) Lecture Notes in Data Engineering, Computational Intelligence, and Decision Making. ISDMCI 2022. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 149. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-16203-9_37
8. Byström, A. (2017). Compartment Fire Temperature Calculations and Measurements. Printed by Luleå University of Technology, Graphic Production. 222 p.
9. Kaplan, Gordana & Avdan, Ugur. (2018). Sentinel-1 and Sentinel-2 Data fusion for wetlands mapping: Balikdami, Turkey. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XLII-3. 729-734. 10.5194/isprs-archives-XLII-3-729-2018.

Received 02.01.2023.

Accepted 04.01.2023.

***Інформаційна технологія визначення контурів лісових пожеж
за даними оптичної супутникової зйомки***

Кількість лісових пожеж протягом останніх десяти років істотно збільшилась. Це вказує на те, що оцінка площі та розташування територій, пройдених лісовими пожежами, є дуже актуальною задачею сьогодення. Використання даних супутникової зйомки значно спрощує процес оцінки лісових пожеж. Мета досліджень полягає в розробці інформаційної технології автоматизованого визначення контурів лісових пожеж на цифрових оптичних супутникових знімках в умовах нестаціонарності та невизначеності на основі згорткових нейронних мереж. Для визначення контурів лісових пожеж запропоновано використати точки теплових аномалій для ідентифікації пікселів

вогню та диму. Це дозволило отримати полігони відповідних областей з різними атрибутами: положенням, розміром, тощо. Результати протестовані на супутникових оптичних знімках Sentinel 2 регіону Авіла. Запропонований метод має загальну точність виділення лісових пожеж 94,3%.

Ключові слова: лісова пожежа, теплова аномалія, супутникові знімки Sentinel-2, полігон, згарище.

Каштан Віта Юріївна – к.т.н, доцент, доцентка кафедри інформаційних технологій та комп’ютерної інженерії Національного технічного університету Дніпровська політехніка (м. Дніпро, Україна).

Гнатушенко Володимир Володимирович – д.т.н, професор, завідувач кафедри інформаційних технологій та комп’ютерної інженерії Національного технічного університету Дніпровська політехніка (м. Дніпро, Україна).

Kashtan Vita – Ph.D., Associate Professor of the Information Technology and Computer Engineering Department of Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine.

Hnatushenko Volodymyr Volodymyrovych – Dr.-Ing. habil., Professor, Head of Department of Information Technology and Computer Engineering, Dnipro, Ukraine.

SOFTWARE FOR SCANNING THE BRIGHTNESS OF THE RASTER IMAGES PIXELS

Abstract. A web-application for scan by program way of the analog oscillograms raster images when measuring the parameters of pulsed signals is described. As a criterion for selecting scanning points the maximum brightness of pixels on the signal lines of the oscillogram raster image is using.

Keywords: raster image, RGB code, pixel, pixel brightness, scan data, oscillogram.

Statement of the problem and purpose of research. Raster image is a rectangular matrix in the rows and columns of which are the smallest elements – pixels [1]. Color, brightness and transparency are the main parameters of pixels. To set the color of pixels, the RGB code is used, with the help of which 16 million color shades specified by this code are formed as a mixture in different proportions of three base colors: red, green and blue. The contribution in pixel color of each of base colors has 256 levels, which can be present as decimal numbers from 0 to 255. The brightness of pixel is defined as the sum of the base colors contributions. Black color has the lowest brightness 0, white color has the highest brightness 765. Pixel opacity has 256 levels. A fully opaque pixel has opacity 255, a fully transparent pixel has opacity 0. Significant opportunities for receiving the information about the pixels color parameters are gave the Canvas technology [2], which makes it possible to implement vector graphics on web pages using the object-oriented programming language JavaScript.

For raster image built-in the canvas, using the *getImageData()* method and the *ImageData* object with the *data[]* property, one can get information about the base colors contribution to the color of pixel and calculate its brightness. The brightness of pixel can be used as a criterion for programmatically selecting the scanning points in web applications used for measure the electrical signals parameters by the analog oscillograms raster images [3].

The purpose of this work is to create software for scanning the pixels brightness of raster images in order to select the points with maximum brightness corresponding to lines of signals on the raster images of analog oscillograms.

Major part. In paper [3] present the software for measuring the instantaneous values of voltage and current of pulsed signals by scanning the oscillogram raster image. Scanning is performed by click in points of raster image selected visually on the signal lines of oscillogram. As shown in [4], the scanning of the oscillogram raster image can be performed programmatically if to use the maximum brightness of pixel on the line of signal as a criterion for choosing the scanning point. This work is a development of work [4].

The software described below implements processing algorithm of the analog oscillogram raster image consisting of the following stages: 1). Loading image into a browser window and its build into the canvas; 2). Drawing a vertical line crossing the oscillograms of impulse signals, along which the brightness is scanned; 3). Scanning the RGB code of pixels along the line and calculating their brightness; 4). Construction of the brightness distribution curve and determination of the points number in which this curve has maxima; 5). Construction of the brightness spectrum along the scanning line; 6). Performing filtering of the brightness spectrum in order to determine the coordinates of points with maximum brightness lying on the impulse signals lines of oscillogram. 7). The output of points coordinates with maximum brightness.

It note that the vertical line drawn on the oscillogram raster image corresponds to the moment of time for which the instantaneous values of voltage and current of pulse signals are determined from the values of coordinates obtained by scanning.

The software was created using the languages HTML5, CSS3, JavaScript and the Canvas technologies. Fig. 1 shows the starting view of the program window with loaded the analog oscillogram image of voltage and electric current pulses.

At algorithm step 2, the user places cursor above the line of voltage pulse and presses the left mouse button. On the event of *mousedown*, a script is executed that uses the *pageX* and *pageY* properties of the *event* object to determine the x_b , y_b coordinates of the top end of vertical line segment along which the scanning is performed. These coordinates are assigned to the corresponding variables of program. Further, while holding the key, the user moves the cursor below the line of electric current pulse and releases it's. On the event of *mouseup*, a script is executed that assigns the coordinates x_e , y_e of the lower end of the line segment to the variables of

program. This script, using Canvas, draws a vertical line between the points with coordinates (x_b, y_b) and (x_b, y_e) .

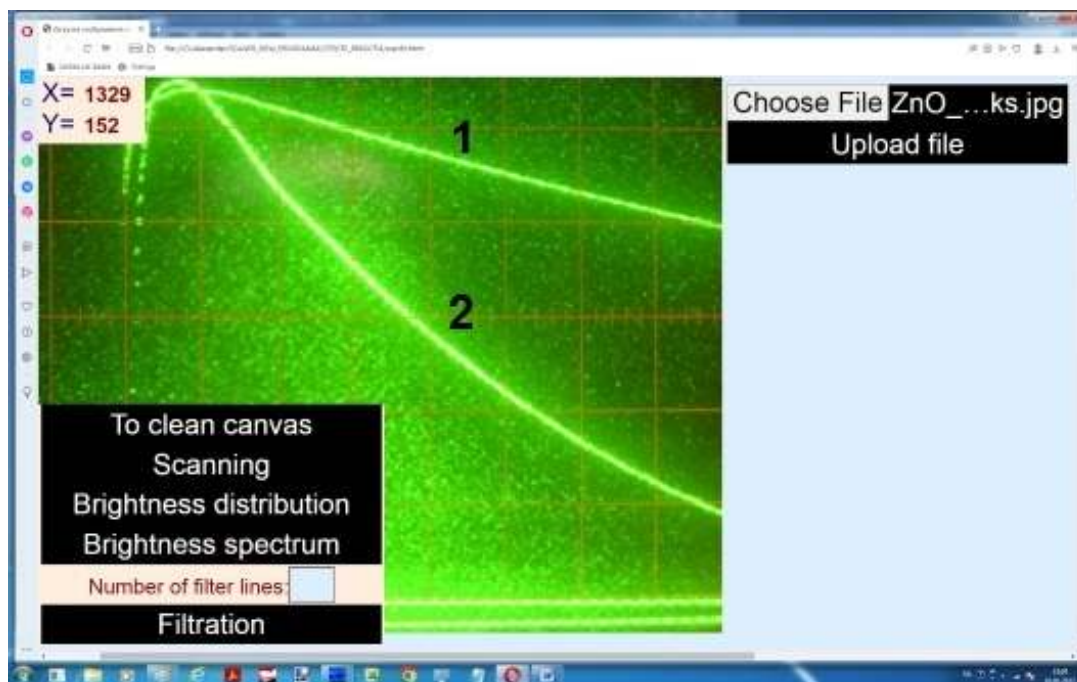


Figure 1 - Web page of the program with loaded the oscillogram raster image of the voltage (1) and current (2) pulses

The scanning of components of the pixels RGB code along selected segment of vertical line the script of program makes which executed at the "Scanning" button press. This script uses the *getImageData()* method and the *data[]* property of the *ImageData* object. In script a cycle is organized on the coordinate y with a step of 1 pixel in the interval $y_b \leq y \leq y_e$ at constant x_b value. In the cycle, based on the scan data, the brightness of each pixel localized on the segment of vertical line is calculated. The value of the pixel coordinates y_i ($0 \leq i \leq N-1$) and their brightness are stored into the arrays *yscan[]* and *intens[]* of program. Script counts the number of pixels N in segment of vertical line and displays a message about it in the dialog window opening by *alert()* method.

When one press the "Brightness distribution" button, a script is executed that finds the element with the maximum brightness *inm* in the *intens[]* array and forms the array with relative brightnesses by performing the transformation: $intens[i]=intens[i]*300/inm$. This script based on the change in sign of the differences $intens[i]-intens[i-1]$ and $intens[i+1]-intens[i]$ determines in cycle over the array elements *intens[i]* the points, where the brightnesses distribution curve has a maximum. Using this data, the script creates the array of maximum brightnesses *intensmax[]*

and the array of coordinates $yscanmax[]$ corresponding to points where the brightness distribution has a maximum. This script counts the number of k_{max} peaks in the brightness distribution curve and displays value of k_{max} in dialog window using the `alert()` method. Fig. 2 shows view of the program window after pressing the "Brightness distribution" button. As one can see, the brightness has highest values within the areas of the lines intersection of impulse signals with a segment of the vertical line highlighted on the oscillogram raster image. In these areas there are points with maximum brightness the coordinates of which (x_U, y_U) , (x_I, y_I) the program must find. These coordinates can be used to calculate the instantaneous voltage and current of pulsed signals.

The brightness spectrum is used to find the points with maximum brightness. It builds on the basis of the data arrays $yscanmax[]$ and $intensmax[]$. Script executed at pressing the "Brightness spectrum" button draws the brightness spectrum using the means of Canvas technology (Fig. 3).

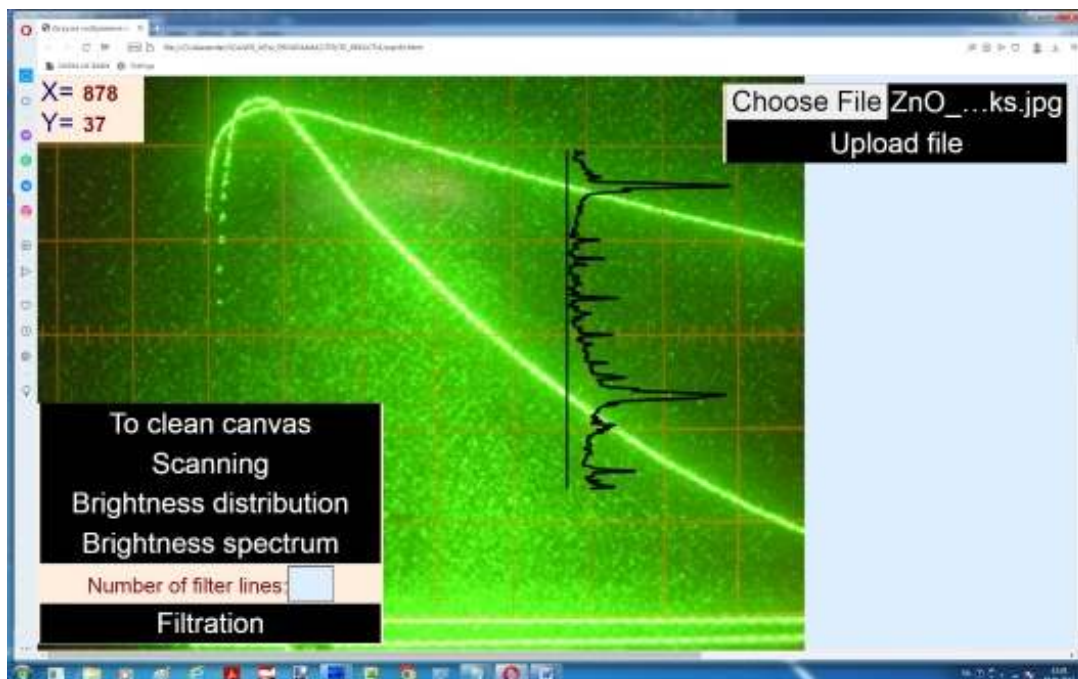


Figure 2 - View of the application web page after successively pressing of buttons "Scanning" and "Brightness distribution"

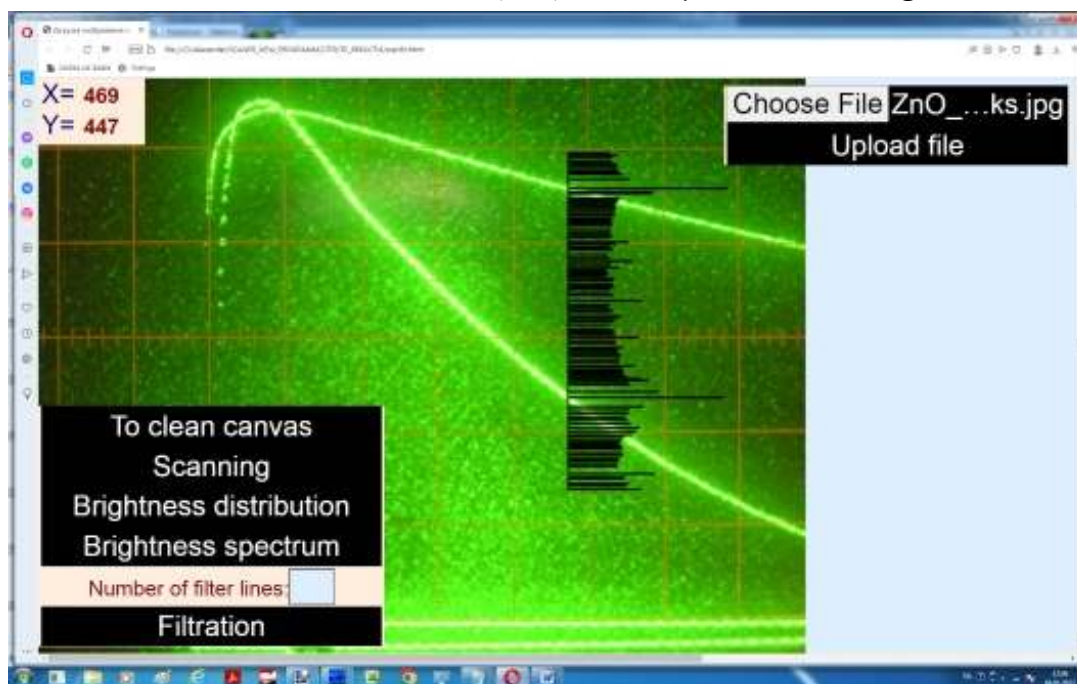


Figure 3 - View of the application web page after pressing of button «Brightness spectrum»

To find the points with maximum brightness on the impulse signals lines, the program carries out the filtration of brightness spectrum. For this a form field of text type is used, preceded by the inscription "Number of filter lines", and the "Filtration" button. For filtration quantity of the impulse signals lines n on the oscillogram raster image enters into the form field of text type. The script executed when the "Filtration" button is clicked divides the $intensmax[]$ and $yscanmax[]$ arrays into n groups. In each group there are k_{max}/n elements. The maximum brightness value and the coordinates of pixel with this brightness is determined for each groups. The program draws the spectrum with lines of maximum brightness and displays the values of pixel coordinates with maximum brightness (x_U, y_U) , (x_I, y_I) (Fig. 4).

Thus, the described web application can be used to create programs based on it with automatic (programmatically) scanning of the analog oscillograms raster images at measuring the electrical signals parameters.

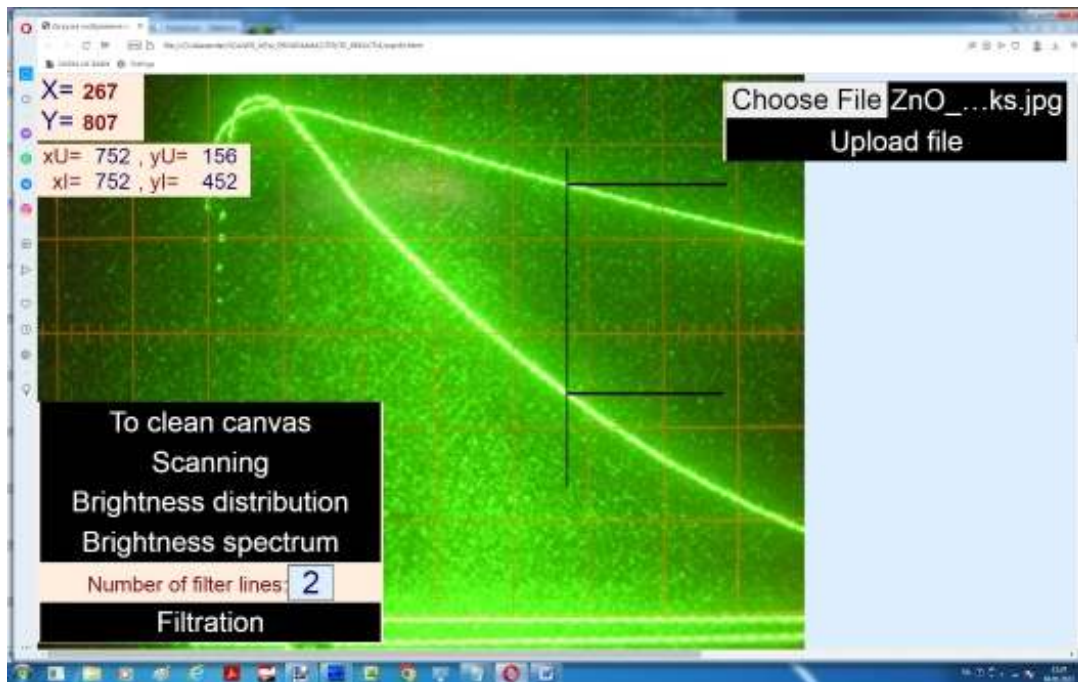


Figure 4 - Application web page at the final stage of execution

Conclusions. Using languages HTML 5, CSS3, JavaScript, and Canvas technology, a web application was created for automatic scanning of the analog oscillograms raster images at measuring the pulsed signals parameters. As a criterion for selecting of scanning points, the maximum brightness of pixels on the lines of signal in the oscillogram raster image has used.

REFERENCES

1. Data structures for raster graphics / Edited by L.R.A. Kessener, F.J. Peters, M.L.P. van Lierop. – Springer Berlin Heidelberg, 1986. – 201 P.
2. David Geary. Core HTML5 Canvas: Graphics, Animation, and Game Development. – Prentice Hall, 2012. – 752 P.
3. A. Ivon Web application for high accuracy measurement of volt-ampere characteristics / A. Ivon, V. Istushkin, Yu. Rybka// System technologies. – 2021. – issue 2 (133) p. 20-25.
4. A. Ivon Web application for researching the brightness distribution of pixels in digital images / A. Ivon A., V. Istushkin, Yu. Krikunenko // System technologies. – 2022. – issue 1' (138) p. 127-133.

Received 05.01.2023.
Accepted 08.01.2023.

**Програмне забезпечення для сканування яскравості пікселів
растрових зображень**

Параметри електричних сигналів можна з високою точністю виміряти з растрового зображення осцилограми, отриманої фотографуванням цифровою фотокамерою з екрану аналогового осцилографа. Вимірювання здійснюється шляхом сканування растрового зображення осцилограми.

Метою даної роботи є створення веб-застосунку для програмного сканування растрових зображень осцилограм при вимірюванні параметрів імпульсних сигналів. Критерієм вибору точок сканування є максимальна яскравість пікселів на сигнальних лініях растрового зображення осцилограми. Програма, використовуючи цей критерій, вибирає точки з максимальною яскравістю, які лежать на відрізку вертикальної лінії, що перетинає сигнальні лінії, і повертає координати цих точок. Координати можна використовувати для розрахунку миттєвої напруги і струму імпульсів, представлених на осцилограмі.

Веб-застосунок створено за допомогою мов HTML5, CSS3, JavaScript та технології Canvas. Інтернет браузері є програмним середовищем для його виконання.

Ключові слова: растрове зображення, код RGB, піксель, яскравість пікселя, дані сканування, осцилограма.

Івон Олександр Іванович – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри електронних обчислювальних машин, Дніпровський національний університет ім. О. Гончара.

Істушкін Валерій Федорович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електронних обчислювальних машин, Дніпровський національний університет ім. О. Гончара.

Белугіна Вікторія Олегівна – студентка групи KI-21м-1 факультету фізики, електроніки та комп'ютерних систем Дніпровського національного університету ім. О. Гончара.

Ivon Alexander Ivanovich – doctor of physical and mathematical sciences, professor, professor of the department of Electronic Computing Machinery, Oles Honchar Dnipro National University.

Istushkin Valery Fedorovich – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the department of Electronic Computing Machinery, Oles Honchar Dnipro National University.

Belugina Victoria Olegovna – student of the group KI-21m-1 of the faculty of Physics, Electronics and Computer Systems, Oles Honchar Dnipro National University.

SOFTWARE FOR MEASURING THE NONLINEARITY COEFFICIENT OF VOLT-AMPERE CHARACTERISTIC FROM RASTER IMAGE OF OSCILLOGRAM

Abstract. The web application that allows by scanning a raster image of the pulsed signals analog oscillogram registered in the region of high electric currents to measure the nonlinearity coefficient of volt-ampere characteristic and its dependence on voltage and current is described.

Keywords: web application, raster image, scanning, volt-ampere characteristic, non-linearity coefficient.

Statement of the problem and purpose of research. When studying semiconductor materials and electronic devices based on them, it becomes necessary to measure the volt-ampere characteristic (VAC) in the region of high electric currents. Such measurements are necessary in the study of the VAC nonlinearity of oxide ceramic materials for varistors [1]. To exclude the thermal breakdown of samples, measurements are performed on short single voltage pulses. One can use single exponential voltage pulses, which allow to measure the volt-ampere characteristic in a certain voltage range [2]. By varying the amplitude of such pulses, measurements can be made over a wide range of voltage. The work [3] describes a program for measuring the volt-ampere characteristic with high accuracy by scanning data of a raster image of analog oscillogram of voltage and current pulses.

The purpose of this work is the creation of software that allows by scanning the oscillogram raster image of voltage and current pulses to measure the nonlinearity coefficient of volt-ampere characteristic and its dependence on voltage and current.

Major part. As is known [1], the volt-ampere characteristic of nonlinear materials and electronic devices based on them can be approximated by the dependence:

$$I = BU^\alpha, \quad (1)$$

where I – current; U - voltage; B - constant; α is the nonlinearity coefficient of volt-ampere characteristic.

From relation (1) it follows that the coefficient of nonlinearity α at any point of the VAC can be determined by the formula

$$\alpha = R_S/R_D, \quad (2)$$

where $R_S = U/I$ – the static resistance; $R_D = dU/dI$ – the differential resistance.

Fig. 1 shows schematically the oscillogram raster image of voltage and current when an exponential voltage pulse is applied to element with a nonlinear volt-ampere characteristic.

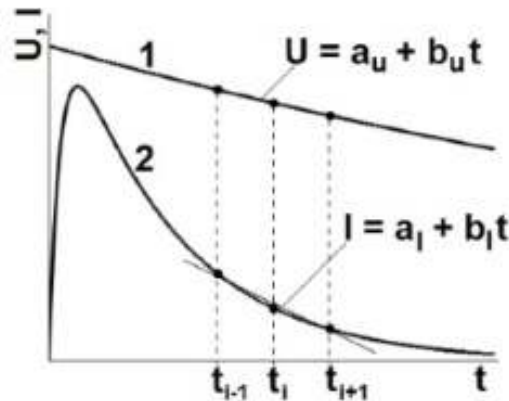


Figure 1 - Schematic representation of oscillograms of voltage (1) and current (2) pulses

The work [3] describes software for measuring the instantaneous voltage $U(t_i)$ and current $I(t_i)$ at time t_i by scanning the signal lines coordinates of voltage and current in the analog oscillogram raster image (Fig. 1). Based on these data, the static resistance R_S can be determined as $R_S = U(t_i)/I(t_i)$. This value of R_S corresponds to the point of volt-ampere characteristic with voltage $U(t_i)$ and current $I(t_i)$. The differential resistance R_D required to calculate the nonlinearity coefficient α by formula (2) can be found from the scanning data of coordinates in three points of the oscillogram raster image (Fig. 1) for the voltage line (curve 1) and the corresponding points for the line of current (curve 2). Using the scales of raster image found from the oscillograms scanning data of calibration signals and coordinates of zero lines for voltage and current, the program calculates by least squares method the coefficients b_U and b_I for straight lines drawn through three points (Fig. 1). Differential resistance R_D is calculated as $R_D = b_U/b_I$. Based on the obtained values of R_S and R_D , the program using formula (2) finds the nonlinearity coefficient α at the point of volt-ampere characteristic with voltage $U(t_i)$ and current $I(t_i)$.

Volt-ampere characteristic and dependence of nonlinearity coefficient on voltage and current can be obtained by scanning with a certain step of the coordinates of voltage and current pulses along the time axis in the oscillogram raster image (Fig. 1).

In the study of semiconductor materials to represent the volt-ampere characteristic are used the current density $J= I/S$ and the electric field strength $E=U/L$ (L is the sample thickness; S is the electrodes area). Oscillogram of the current pulse is registered as voltage drop across the precision resistor R connected in series with the sample. Therefore the program provides the input of values L, S, R as initial data.

Taking into account the above, program implements the following algorithm for processing of the oscillogram raster image: 1). Loading of image into browser window. 2). Embedding image in a canvas to implement vector graphics. 3). Introduction of initial data: L, S, R . 4). Determination of voltage M_{cU} and current M_{cI} scales. 5). Determination of the zero lines coordinates y_{0U} and y_{0I} for voltage and current. 6). Scanning of the coordinates arrays $(y_{iU}, x_{iU}), (y_{iI}, x_{iI})$ along the lines of voltage and current pulses. 7). Calculation of instantaneous values of electric field strength $E(t_i)$, current density $J(t_i)$ and nonlinearity coefficient $\alpha(t_i)$. 8). Output of results.

The described algorithm is implemented using the languages HTML 5, CSS 3, JavaScript and the Canvas technology. The program uses Internet browsers as a software environment.

The user performs scanning by click with the left mouse button at the selected points in raster image. Point coordinates are read in pixels by the *mouseup* event, using the *pageX* and *pageY* properties of the *event* object of JavaScript. Program stores the coordinates of the points in arrays of scanned data. Using Canvas technology around the scanned point program draws circle with a radius of 10 pixels centered in the scan point. Neighboring points are connected by a straight line. Scanning begins from a voltage pulse. To facilitate the selection of a point on the current pulse oscillogram corresponding to a given voltage a vertical line is drawn from the scanned point, crossing the line of the current pulse. Based on the arrays of scanning data program calculates the values $E(t_i), J(t_i)$, the nonlinearity coefficient $\alpha(t_i)$ and the relative error of measurement $J(t_i)$. These data are displayed on the program web page in hidden form fields. Since the selection of scanning points is carried out visually, to improve the accuracy of such selection program provides the ability to invert the color of raster image.

Fig. 2 shows the view of program window after execution with inverted color of the oscillogram raster image.

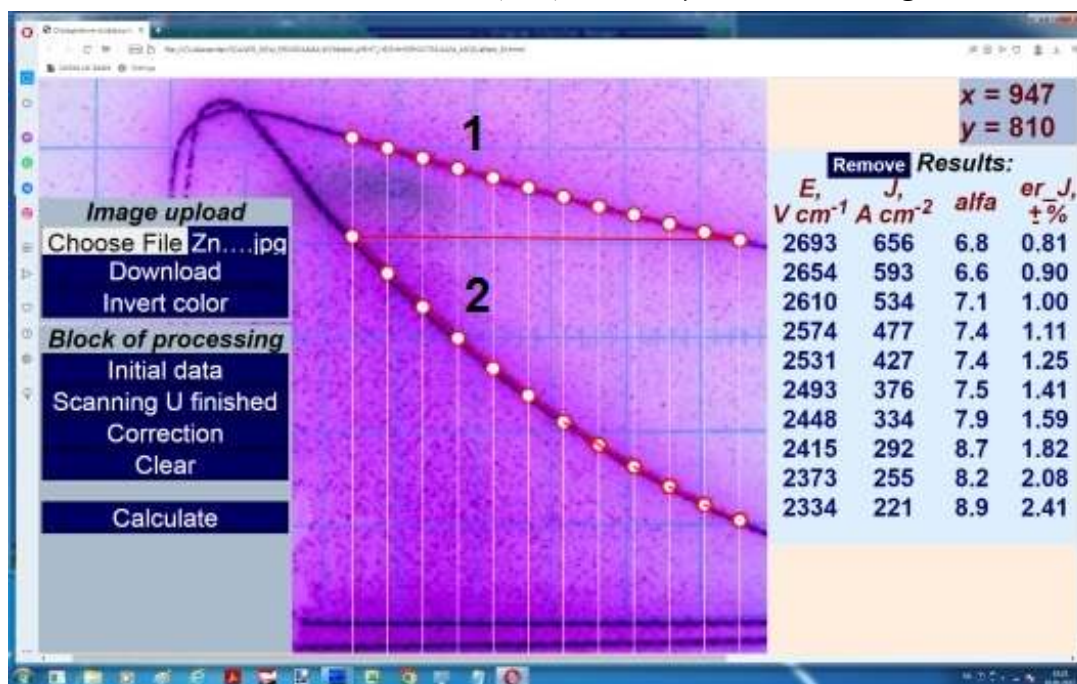


Figure 2 - Program window after execution. Oscillograms of impulses:
 1 – voltage; 2 – electric current. Measurements was executed for
 a sample of zinc oxide based varistor ceramics

Program interface was created using the languages HTML 5 and CSS 3. It contains explicit and hidden toolbox blocks designed to process a raster image at different stages of algorithm. Explicit toolbox blocks are permanently displayed on a web page. These include the coordinate navigator of the current cursor position in the upper right corner of browser window (Fig. 2). To upload of raster images use the "Image upload" block. This block contains a form field of file type, "Download" button and "Invert color" button. A form field of file type is used to select a file of raster image and load it into the browser window using the FileReader and Image objects of the JavaScript language. The "Download" button is needed to embed the image in canvas. Using canvas makes it possible to display the scan results on the oscillogram raster image by means of the Canvas technology and invert its color. At click on the "Invert color" button, a script is executed that using the *getImageData()* and *putImageData()* methods of the Canvas object, inverts the color of image built-in the canvas.

The block with name "Block of processing" contains four buttons and area for displaying hidden blocks. At click on the "Initial data" button, a block with form fields for entering initial data L, S, R opens. Hidden are the scaling blocks, the blocks for determining of the oscillogram zero lines coordinates and the block for calculat-

ing the program output data. These blocks are opened at stages 4, 5 and 7 of the processing algorithm. During scaling stage, the user sequentially loads the raster images of the calibration signals oscillograms to determine the scale of voltage M_{CU} and current M_{cl} . After entering the calibration values in the form field of scaling blocks and executing the scanning, the program calculates values of M_{CU} and M_{cl} .

After scanning the voltage pulse oscillogram, the user presses the "Scanning U finished" button and begin scans the electric current pulse oscillogram. The "Correction" button is used to correct the scan results. When this button pressed, the coordinates of the last scanned point are removed from the coordinate's arrays and the display of this point in raster image is erased. The "Clear" button launches a script for clearing arrays of scanned data, form fields with results and deleting the visual results of scanning. This script does not change the values of program variables intended for storing the initial data, scales and coordinates of the voltage and current zero lines. Therefore, one can perform further measurements with loaded raster image bypassing the first five stages of the processing algorithm.

Conclusions. Using the languages HTML, CSS, JavaScript and the Canvas technology a web application has been created for measuring in the region of high electric currents the nonlinearity coefficient of volt-ampere characteristic and its dependence on voltage and current. The measurement is done by scanning the raster images of the pulsed signals analog oscillograms.

REFERENCES

1. David R. Clarke Varistor Ceramics / Journal of the American Ceramic Society – 1999, V.82 – p. 485–502.
2. A.I. Ivon Grain resistivity in zinc oxide and tin dioxide varistor ceramics / A.I. Ivon A.B. Glot, R.I. Lavrov, Zhen-Ya Lu // Journal of Alloys and Compounds.–2014, –V.616.–p. 372–377.
3. A. Ivon Web application for high accuracy measurement of volt-ampere characteristics / Ivon A., Istushkin V., RybkaYu. // System technologies. – 2021. – issue 2 (133) p. 20-25.

Received 05.01.2023.

Accepted 10.01.2023.

Програмне забезпечення для вимірювання коефіцієнту нелінійності вольт-амперних характеристик по растровому зображенню осцилограми

При дослідженні матеріалів для варисторів, що використовуються для захисту від перенапруг ланцюгів електропередач та електронних пристроїв, важливою є інформація про коефіцієнт нелінійності вольтамперної характеристики в

області сильних електричних струмів. Таку інформацію отримують з осцилограм імпульсів напруги і струму.

Метою даної роботи є створення програми, для вимірювання коефіцієнту нелінійності вольтамперної характеристики за даними сканування растрових зображень аналогових осцилограм імпульсних сигналів, зареєстрованих при сильних електричних струмах. Користувач виконує сканування клацанням у вибраних точках растрового зображення осцилограми. Програма позначає точки сканування та створює масиви сканованих даних на підставі яких розраховуються миттєві значення напруги, струму та коефіцієнта нелінійності вольтамперної характеристики. Відносна похибка вимірювання миттєвого струму не перевищує $\pm 2\%$. У програмі передбачена можливість корекції результатів сканування. Програма створена з використанням мов HTML5, CSS3, JavaScript і технології Canvas. Інтернет браузері є програмним середовищем для її використання.

Ключові слова: веб-застосунок, растрове зображення, сканування, вольтамперна характеристика, коефіцієнт нелінійності.

Івон Олександр Іванович – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри електронних обчислювальних машин, Дніпровський національний університет ім. О. Гончара.

Істушкін Валерій Федорович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електронних обчислювальних машин, Дніпровський національний університет ім. О. Гончара.

Любимкін Владислав Валерійович – студент групи KI-21m-2, Дніпровський національний університет ім. О. Гончара.

Ivon Alexander Ivanovich – doctor of physical and mathematical sciences, professor, professor of the department of Electronic Computing Machinery, Oles Honchar Dnipro National University.

Istushkin Valery Fedorovich – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the department of Electronic Computing Machinery, Oles Honchar Dnipro National University.

Lyubimkin Vladislav Valerievich – student of group KI-21m-2, Oles Honchar Dnipro National University.

A.S. Tonkoshkur, A.S. Lozovskyi

**ALGORITHM FOR PROCESSING GAS SENSOR'S RESPONSE
KINETICS DATA USING EXTENDED EXPONENTIAL FUNCTION WITHOUT
NUMERICAL DIFFERENTIATION**

Abstract. The features of the use of computer technologies for processing experimental data for solving the problems of automation of research of materials for gas sensitive sensors are considered.

An algorithm for processing the kinetic dependence of the response of gas sensors based on the model of an extended exponential function are proposed, which does not use numerical differentiation operations when finding the parameters of this model. This allows to significantly reduce the influence of the presence of data spread in the coordinates of the approximating diagrams that are used in calculating the model parameters, increase the accuracy of their determination and contribute to the implementation of an automated information measuring system for the process of computer processing and analysis of experimental data.

Keywords: gas sensor, response, kinetics, stretched exponential function, algorithm, information-measuring system, software.

Introduction

Computer technologies for processing experimental data have already become widespread in various fields of science and technology. They are used both in studying the well-known problems of high-energy physics and nuclear physics [1], image processing [2], search and creation of new materials [3], and for solving specific scientific and technical problems of studying plasma light sources [4], building intelligent information-measuring systems for monitoring heat-insulating materials [5], etc.

Another specific area where the use of the technologies under consideration seems appropriate is the search and study of materials for gas-sensitive sensors [6].

Studies of this type are associated with the need to process and analyze significant amounts of experimental data. In [7], the prospects for solving such a problem by creating a specialized information-measuring system are shown.

As is known, one of the key components of the software of such intelligent information-measuring systems is the algorithmization of experimental data processing processes based on the corresponding mathematical models [8-11].

For the primary processing of data obtained in the study of resistive gas sensors in [7,12], a general phenomenological model based on the stretched exponential

$$f_{KWW}(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{\tau} \right)^\beta \right],$$

Kohlrausch-Williams-Wots function where t – time, β and τ – parameters [13,14]. It was used to describe the kinetics of the relaxation dependences of the response, in particular, at the recovery stage (Fig. 1).

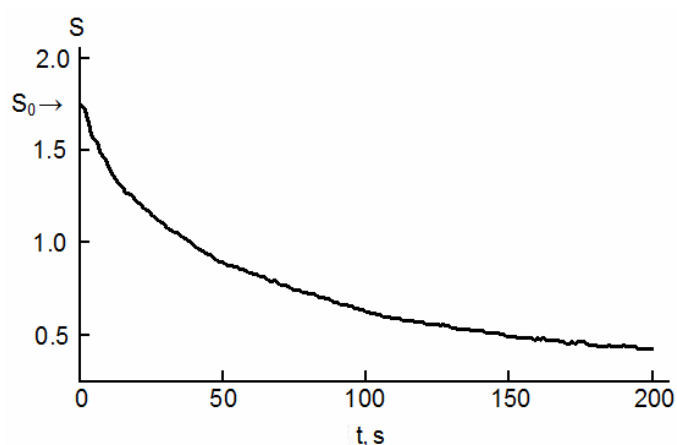


Figure 1 - Typical kinetics of response dependences at the stage of reduction of a sample of a resistive gas sensor (ZnO with the addition of Ag [15])

A distinctive feature of such a model is its suitability for describing relaxation phenomena in disordered systems, in which dynamic processes occur simultaneously in many time ranges [15].

As shown in [6], the use of this approach makes it possible to obtain much more information about the physicochemical phenomena that determine the phenomenon of gas sensitivity of resistive sensor materials. Used in the window application given in [7], it testifies to the reality and efficiency of computer processing of a significant amount of data in the process of carrying out the physical and chemical measurements under consideration. However, the used measurement data processing algorithm does not allow implementing a fully automated specialized IMS in a measuring complex for studying the main characteristics of gas-sensitive sensors. The main reason for this is the need to numerically calculate the derivatives and select the interval in the time dependence of the main parameter, the sensitivity to the active gas, which makes it possible to correctly estimate the parameter β of the KWW func-

tion that approximates the sensor recovery kinetics. These functions require participation in the data processing process of the operator [7].

In this paper, we propose and justify an algorithm based on a stretched exponential function, which makes it possible to exclude the participation of the operator in the process of processing and primary analysis of measurement data on the response kinetics of resistive gas sensors.

Description of the algorithm and its features

It should be noted that the data processing algorithm used in [6, 7] does not require any additional assumptions or data. Only the results of measurements of the kinetic dependence $S(T)$ are used in the form of a table (located in a c file of type .txt or .xls). Nevertheless, its disadvantage is the presence of the operation of numerical differentiation when finding one of the resulting data parameters β used in the approximating KWW-function. As a rule, this creates a significant scatter of points in the coordinates of the diagrams of the used approximating dependencies to calculate the specified parameter. As a result, this leads to the fact that it is difficult to implement the automation of the data processing process for the kinetic dependences considered here.

Below it is proposed to use an approach to determining the parameter β , which is based on the assumption of the possibility of correctly fixing the value of the static value of gas sensitivity S_0 by estimating its approximate value in the initial section of its kinetic dependence.

Approximating dependence used as a model for the primary phenomenological analysis of the experimental kinetic dependences of the response of the gas sensitive sensor in the area after the removal of the active gas

$$S(t) = S_0 \cdot \exp \left[- \left(\frac{t}{\tau} \right)^\beta \right] \quad (1)$$

can be converted to

$$\log \left\{ - \ln \left[\frac{S(t)}{S_0} \right] \right\} = \beta \cdot \log(t) - \beta \cdot \log(\tau) \quad (2)$$

As follows from (2) in the coordinates $x = \log(t)$ and $y = \log \left\{ - \ln \left[\frac{S(t)}{S_0} \right] \right\}$, the considered dependence is a straight line $y = a_0 + a_1 x$, and thus, based on its experimental points in such coordinates, the parameter β of the KWW-model ($\beta = a_1$) can be relatively simply determined without involving the operation of numerical

differentiation. The coefficients a_1 and a_0 for the considered linear model can be determined by the formulas [16]

$$a_1 = \frac{1}{n} \cdot \left(\sum_{i=1}^n y_i - a_0 \sum_{i=1}^n x_i \right) \quad (3)$$

$$a_0 = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (4)$$

where i and n are the index for the numbering of readings and their number of experimental kinetic dependence.

However, in the considered approach there is a requirement that the static value of the response S_0 for the studied reduction kinetics be known. In experimental practice, the exact measurement of this parameter is not always possible. On the one hand, this is due to the technically used equipment, that is, the fixation of the considered kinetic dependence begins with a certain time delay, or when the specified static value is not reached within a really reasonable time for a specific experimental study. In connection with this, it is important to study the influence of these factors on the measurement of the value of S_0 , in particular, the instrumental error and the time delay of the process of fixing the kinetic dependence considered here.

Influence of inaccuracy of the set parameter S_0

$$\log \left\{ -\ln \left[\frac{S(t)}{[S(t)]_d} \right] \right\} = \beta \cdot \log(t) - \beta \cdot \log(\tau) \quad (5)$$

As follows from (5), β can be represented by the coefficient in front of the $\log(t)$ argument of the linear dependence of its function $\log \left\{ -\ln \left[\frac{S(t)}{[S(t)]_d} \right] \right\}$.

On Fig. 2 shows the theoretical dependences of the KWW relaxation model in the proposed coordinates for different β . and the results of the analysis of the influence of the approximate value $S(t_d)$ of the specified parameter S_0 on them.

As can be seen, an underestimated value of S_0 leads to a deviation of the dependence in Fig. 2 from linear only in the range of short times (in this case, less than a few seconds). The results of calculating the value of β in accordance with expression (3) with a different choice of the time range of the data used in Fig. 2 and using the built-in functions of the Mathcad package (slope) are presented in Table. 1.

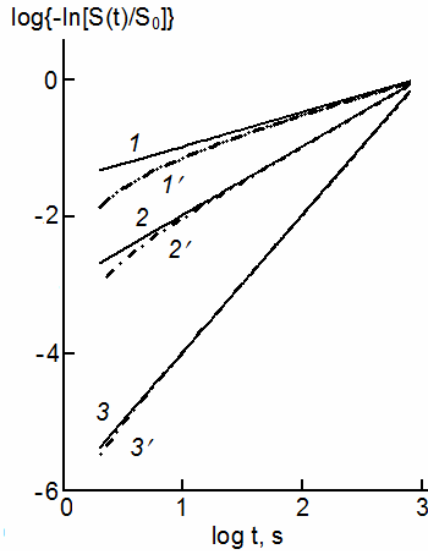


Figure 2 - Theoretical dependences of the KWW relaxation model of the gas sensor recovery response kinetics in the coordinates $(\log t, \log\{-\ln[S(t)/S_0]\})$ (dependencies 1, 2 and 3) and in the

coordinates $(\log\left\{-\ln\left[\frac{S(t)}{S(t_d)}\right]\right\}, \log(t))$, where t_d is the delay time for fixing the beginning of kinetics (1', 2' and 3'), for parameter values β : 1 and 1' - 0.5; 2 and 2' - 1; 3 and 3' - 2. $S_0=100$; $\tau=10$ s; $t_d=1$ s

As follows from Table. 1, second column, there is a tendency to some overestimation of the value of the parameter β determined in accordance with the method under consideration at its small values. If the initial part of the kinetic dependence is not used, i.e. to use data for processing starting from a certain time point $t_1 > t_d$ (for example, $t_1=10$ s or 1 minute), then the accuracy of determining β can be increased.

Nevertheless, in the range of β from 0.5 to 2, the considered algorithm for processing the kinetic dependence of the response of gas sensors based on the stretched exponential function model allows obtaining adequate results.

Table 1

Influence on the accuracy of the estimation of the β parameter of the KWW-function selection of the time range for processing the kinetics $S(t)$

Exact value β	Approximate value of β . determined in accordance with (3) by discarding the first points of the initial kinetic dependence $S(t)$ over the time interval		
	$t_1=t_d, s$	10 s	60 s
0.25	0.374	0.352	0.332
0.5	0.566	0.547	0.533
0.75	0.785	0.771	0.762
1	1.021	1.009	1.004
1.25	1.263	1.254	1.251
1.5	1.508	1.502	1.5
1.75	1.756	1.751	1.75
2	2.004	2	2

Application of the algorithm to the processing of experimental data

On Fig. 3 shows the experimental kinetic dependence of the response at the stage of reduction of a sample of a resistive gas sensor, shown in fig. 1 in coordinates $x=\log(t)$ and .

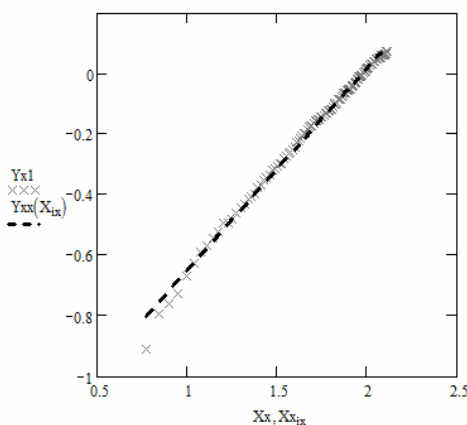


Figure 3 - Dependence of the experimental kinetics of the gas sensor recovery re-

sponse in the coordinates $\log \left\{ -\ln \left[\frac{S(t)}{S(t_d)} \right] \right\}$ fig. 1 (points - crosses) and its linear approximation used in the considered algorithm for its processing (dotted line)

As can be seen, it satisfies the ideas developed in the previous section. The calculated values of the parameter β^* were 0.643 at $t_l = 10$ s and 0.628 at $t_l = 60$ s. The estimates coincide with an error of no more than 3%.

Further operations of the algorithm are similar to those given in [12,17,18].

Determination of unknown characteristics τ and S_0 by applying the coordinates $y = \ln S(t)$ and $x = t^\beta$ for experimental data (Fig. 4).

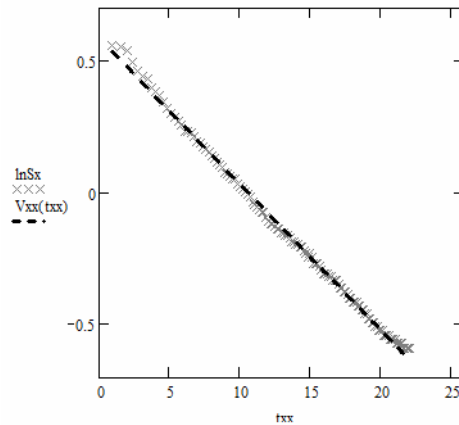


Figure - Dependence of experimental kinetics of gas sensor recovery response in coordinates $(\ln S(t); t^\beta)$ fig. 1 (points - crosses) and its linear approximation used in the considered algorithm for its processing (dotted line)

It should be noted that the value of β - is already known. The approximating dependence is represented by a straight line $\ln[S(t)] = a_0 + a_1 \cdot t^\beta$, where $a_0 = \ln S_0$, $a_1 = -\tau^\beta$. Thus, $\tau = (-a_1)^{-1/\beta}$ and $S_0 = \exp(a_0)$. The coefficients of the above linear regression dependence a_0 and a_1 are determined using formulas (3) and (4) or built-in intercept and slope functions of the Mathcad package. From the data in Fig. 4 you can get $\tau=88$ s and $S_0 = 1.95$. Calculation of the average relaxation time in accordance with [12,16,17]

$$t_{rel} = \int_0^\infty f_{KWW}(t) dt = \tau/\beta \cdot \Gamma(1/\beta), \quad (6)$$

where Γ is the gamma function.

Comparison of the obtained parameters ($\beta=0.63$; $t_{rel} = 120$ s; $\tau=90$ s; $S_0=1.95$) with similar ones, which were determined for these data by the method described in [12], showed their satisfactory agreement.

Conclusions

An algorithm for processing the kinetic dependence of the response of gas sensors based on the model of a stretched exponential function is proposed, which does

not use numerical differentiation operations when finding one of the parameters of this model. and thus allows:

- to eliminate the presence of a scatter of points in the coordinates of the diagrams of the used approximating dependencies for calculating one of the key parameters of the model and its influence on the accuracy of processing;
- refuse the participation of the operator when choosing the optimal time interval from the processed kinetic dependencies for a more accurate assessment of all model parameters;
- allows the implementation of an automated information-measuring system for the considered data processing process.

REFERENCES

1. Klimentiev A.A. Methods for processing very large amounts of data in a distributed heterogeneous computer environment for applications in high energy physics and nuclear physics. Physics of elementary particles and the atomic nucleus. 2020. V. 51. Issue. 6. S. 1175-1303.
2. Labunets V.G., Kokh E.V., Ostheimer E. Algebraic models and methods of computer image processing. Part 1. Multiplet models of multichannel images //Computer Optics. - 2018. - T. 42. - No. 1.
3. Himanen, L., Geurts, A., Foster, A. S., & Rinke, P. Data-driven materials science: status, challenges, and perspectives. Advanced Science, 2019. V.6. No. 21. P. 1900808.1-1900808.23.
4. A.V. Pochinok, V.T. Lazurik, F.F. Tseluiko, and E.V. Borgun, Russ. Computer processing of the measurement results of the characteristics of the plasma ultraviolet source. Bulletin of Kharkiv National University Series of physics «Kernels, particles, fields» 2008. No. 859. P. 59-64.
5. Selivanova Z.M., Stasenko K.S. Theoretical foundations for constructing intelligent information-measuring systems for tolerance control of thermal conductivity of heat-insulating materials: monograph. Tambov: Publishing House of FGBOU VPO "TSTU", 2015. 200 p.
6. Tonkoshkur, A.S., Lyashkov, A.Y., & Povzlo, E.L. (2018). Kinetics of Response of ZnO-Ag Ceramics for Resistive Gas Sensor to the Impact of Methane, and its Analysis Using a Stretched Exponential Function. Sensors and Actuators B: Chemical. Vol. 255, Part 2. February, P. 1680-1686. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.08.171>
7. A.S. Tonkoshkur, A.S. Lozovskyi Application for calculating the parameters of a gas sensor from the experimental kinetic dependence of response. System technologies, 2021, 2(133): 26-32. DOI 10.34185/1562-9945-2-133-2021-04

8. Gracheva N.N., Rudenko N.B., Litvinov V.N. Specialized software for scientific research [Electronic resource]: textbook - Electron. Dan. - Zernograd: Azovo-Chernomorsky Engineering Institute FGBOU VO DGAU, 2018. - 127 p.
9. Lazurik V. T., Pochinok A. V. Model of computer processing and analysis of experimental data in the study of a plasma source of ultraviolet radiation. Bulletin of Kharkiv National University Series «Mathematical Modeling. Information technologies. Automated control systems» 2008. No. 833. pp. 149-162.
10. Pykhalov A. A., Lam Z. V., Belozertseva O. P. Mathematical modeling for computer processing of scanning of solid deformable bodies in the construction and analysis of their finite element models // Bulletin of the Irkutsk State Technical University. - 2018. - T. 22. - No. 3 (134). P. 93-111
11. Shmelev O. Ya., Korolev VF On computer processing of measurement results // Bulletin of computer and information technologies. - 2009. - no. 9. - pp. 50-53.
12. Tonkoshkur O.S., Povzlo E.L. An algorithm for processing data on the kinetics of a resistive gas sensor based on a model of an expanded exponential function. System technologies. Regional inter-university collection of science practices. - Vip. 1'(108) - Dnipropetrovsk, 2017.- P. 129-134.
13. Simdyankin S I. & Mousseau N. Relationship between dynamic heterogeneities and stretched exponential relaxation // Physical Review E.-2003. -68 (4). - P.104-110.
14. Trzmiel J., Weron K., Janczura J. & Placzek-Popko E. Properties of the re-laxation time distribution underlying the Kohlrausch-Williams-Watts photoionization of the DX centers in CdI-xMnxTe mixed crystals // Journal of Physics Condensed Matter. - 2009. 21'(34). - P.345801.
15. Milovanov A.V., Rasmussen J.J. & Rypdal K. Stretched-exponential decay functions from a self-consistent model of dielectric relaxation // Phys. Lett. A. - 2008. - 372 (13). - P. 2148-2154.
16. Akhnazarova S.L., Kafarov V.V. Methods of experiment optimization in chemical technology. - Moscow: Higher School, 1985. - 327 p.
17. Johnston D.C. Stretched exponential relaxation arising from a continuous sum of exponential decays // Physical Review B. - 2006. - 74'(18). -P.184430.
18. Hansen E.W., Gong X. and Chen Q. Compressed Exponential Response Function Arising From a Continuous Distribution of Gaussian Decays - Distribution Characteristics // Macromolecular Chemistry and Physics. - 2013. - 214'(7). - P. 844-852.

Received 09.01.2023.
Accepted 11.01.2023.

**Алгоритм обробки даних кінетики відгуку газового сенсора
із застосуванням розробленої експоненційної функції
без численного диференціювання**

Метою роботи є розробка програмного забезпечення для обробки експериментальних даних кінетики відгуку резистивних газових сенсорів на основі алгоритму моделі розтягнутої експоненційної функції Кольрауша-Вільямса-Уоттса.

У даній статті розглядаються особливості використання комп'ютерних технологій обробки експериментальних даних для вирішення задач автоматизації досліджень матеріалів для газочутливих сенсорів.

У статті запропоновано алгоритм обробки кінетичної залежності відкликання газових сенсорів на основі моделі розтягнутої експоненційної функції, який не використовує операції чисельного диференціювання при знаходженні одного з параметрів цієї моделі. і, таким чином дозволяє: усунути наявність розкиду точок в координатах діаграм апроксимуючих залежностей для розрахунку одного з ключових параметрів моделі і його вплив на точність обробки; відмовитися від участі оператора при виборі оптимального часового інтервалу з кінетичних залежностей для більш точної оцінки всіх параметрів моделі; допускає реалізацію автоматизованої інформаційно-виміральної системи для аналізованого процесу обробки даних.

Ключові слова: газовий сенсор, відгук, кінетика, розтягнута експонентна функція, алгоритм, інформаційно-вимірвальна система, програмне забезпечення.

Tonkoshkur Oleksandr Serhiiovysh - professor of department of ECM, Oles Honchar Dnipro National University.

Lozovskyi Andrii Serhiiovysh - assistant of department of ECM, Oles Honchar Dnipro National University.

Тонкошкур Олександр Сергійович - професор кафедри ЕОМ, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара.

Лозовський Андрій Сергійович - аспірант кафедри ЕОМ, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара.

**OPTIMIZING THE ACTION OF IEEE 802.11 COMPUTER NETWORKS
AT SIGNIFICANT LEVELS OF BIT ERROR RATE**

Abstract. For a given level of noise, fragmentation of the frame's data field increases the probability of transmitting each individual fragment. But this is accompanied by an increase in the relative weight of overhead costs, i.e. the amount of service information that is necessary to support the frame transfer process. We propose to determine the fragmentation optimum under condition of increased noise intensity by the maximum value of the product of fragmented frame successful transmission probability by the relative weight of overhead costs. The article presents detailed results of calculations of the optimality criterion dependence on the fragmentation coefficient at different levels of noise, which allow optimizing the process of fragmentation of the transmitted frames.

Key words: computer networks IEEE 802.11, transmission, frame fragmentation, noise, bit error rate BER.

Introduction. At present time the use of wireless computer networks of the IEEE 802.11 standard is intensively expanding, including in industrial production automation systems, where they are located directly in the workshops of enterprises.

The wireless communication capability allows the devices stay connected even they are mobile. The list of these devices includes notebook and palmtop computers, personal digital assistants, digital cameras, smartphones from different manufactures. We will unite all these devices under one name – station operating in a network with infrastructure topology.

At the same time, network developers are faced with the need to ensure their operability, sufficient throughput in conditions of high intensity of industrial noise and, as a result, a high bit error rate (BER) in transmission channels from stations to the access point of the network. The problem in general is the inability of wireless network to cope with the complexities of the wireless channel due to noise, fading, mutual channels interference, and collisions. Nodes cannot separate distorted interference or noise frames from collisions because the symptoms are the same, namely a frame loss.

Problem statement. It is necessary to determine the criterion and conditions for optimizing the volume of transmitted data in computer networks IEEE 802.11 at high noise levels.

Main part. In most cases, noise influence can be described with sufficient reliability for practical applications by using a time-discrete Gaussian channel without memory. In such a channel, the bit errors are independent and equally distributed over the bits of the frame's data field [1]. Under conditions of high intensity of external noise, the probability of successfully transmitting a frame from station to access point P_s can be expressed as follows:

$$P_s = P_c(1 - p_b)^L, \quad (1)$$

where P_c is the probability of successful frame transmission, which is determined by the intensity of collisions due to the use of competitive access from stations to the channel during transmission, which is based on the application of a distributed coordinate function DCF and algorithm CSMA/CA [2]; p_b is the probability of an error in the data bit; L is the length of the frame's data field in bits.

In its most basic form, the DCF consists of a carrier sensing function and a random backoff protocol. Carrier sensing allows stations to understand when the channel is busy, and to postpone transmission attempts until the channel will be free. Once the channel becomes free, if two or more stations have a frame to send, the probability exists that their transmissions will collide. To avoid collisions, station will backoff their attempts for a random number of slot times selected from a contention window. If competing stations select different random numbers, one station will access the channel first and will begin transmission, and the other stations will wait. If two or more competing stations select the same transmission time, their transmissions will collide. They will temporarily increase their contention window size and try again and reset their contention window upon eventual successful transmission.

An influence analysis of the number of simultaneously operating stations on the intensity of collisions and, accordingly, on the value of P_c was carried out by us earlier [3], and we will not dwell on this here. Without losing the generality of the subsequent analysis, we take $P_c=1$. Then $P_s = (1 - p_b)^L$.

As can be seen from this expression, reducing the length of the frame's data field L increases the probability P_s of successful transmission (Table 1).

At the same time, due to the independence of the transmitted frame's fragments

$$\prod_{i=1}^k (1 - p_b)^{\frac{L}{k_i}} = (1 - p_b)^L, \quad (2)$$

at $k_1 = k_2 = \dots = k_k = k$, that is, fragmentation does not change the probability of transmitting the entire initial data array of the frame with length L .

But the advantage here is in following.

For example, in accordance with Table 1 a frame with $k=1$ and, accordingly $L=12000$ bits, when $BER=10^{-4}$ has a probability of successful transmission $P_s=0,3$. The transmission of such frame will be accompanied by a considerable quantity of re-transmissions, which will lead to a significant reduction in the transmission throughput and network congestion with service traffic. As can be seen from the table, fragmentation significantly increases P_s , and, accordingly, reduces the probability of fragments retransmission.

Table 1 details the results for high noise levels ($BER=5 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-4}$). It can be seen that almost zero probabilities of successful frame transmission P_s for $k=1$ in the range $BER= 2 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-4}$ for $k=10$ and $k=12$ already correspond to the practical possibility of transmission.

Along with this positive phenomenon, an increase in the value of k is accomplished by an increase in the relative weight of overhead costs, i.e. the amount of service information that is necessary to support the data transfer process. In accordance with [3] the ratio of the time intervals required for the transmission of frame's data and for the transmission of the corresponding service information can be expressed as

$$\eta = \frac{T_{data}}{T_{serv}} = \frac{T_{data}}{T_{in} + k(T_{SIFS} + T_{ACK} + T_{MAChdr} + 2\delta)}, \quad (3)$$

where $T_{data}=L/R$, R is the physical data transmission (PHY) rate; $T_{in}=T_{DIFS}+T_{CW}+T_{PHYhdr}$, T_{PHYhdr} and T_{MAChdr} are the transmission durations of the physical (PHY) and data link MAC layer headers, respectively; $T_{CW}=\sigma \cdot (CW_{min}-1)/2$, where σ stands for the idle slot duration; CW_{min} is the minimum (initial value) of the contention window; SIFS and DIFS are the interframe spacing; ACK is the acknowledgment's frame duration; δ is the propagation delay.

Table 1

Dependence of the probability P_s on the fragmentation factor k at different noise level

BER	P_s							
	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=4$	$k=6$	$k=8$	$k=10$	$k=12$
10^{-6}	0,988	0,994	0,996	0,997	0,998	0,9985	0,999	0,999
10^{-5}	0,887	0,942	0,961	0,970	0,980	0,985	0,988	0,99
$5 \cdot 10^{-5}$	0,549	0,741	0,819	0,861	0,905	0,928	0,942	0,951
$7 \cdot 10^{-5}$	0,432	0,657	0,756	0,811	0,869	0,900	0,919	0,932
$8 \cdot 10^{-5}$	0,383	0,619	0,726	0,787	0,852	0,887	0,908	0,923
$9 \cdot 10^{-5}$	0,340	0,583	0,698	0,763	0,835	0,874	0,898	0,914
10^{-4}	0,301	0,549	0,670	0,741	0,819	0,861	0,887	0,905
$1,3 \cdot 10^{-4}$	0,210	0,458	0,595	0,677	0,771	0,823	0,856	0,878
$1,5 \cdot 10^{-4}$	0,165	0,407	0,549	0,638	0,741	0,799	0,835	0,861
$2 \cdot 10^{-4}$	0,0907	0,301	0,449	0,549	0,670	0,741	0,787	0,819
$3 \cdot 10^{-4}$	0,0273	0,165	0,301	0,407	0,549	0,638	0,698	0,741
$4 \cdot 10^{-4}$	0,0082	0,091	0,202	0,301	0,449	0,549	0,619	0,67
$5 \cdot 10^{-4}$	0,0025	0,050	0,135	0,223	0,368	0,472	0,549	0,606

In the calculations according to the formula (3), the following values of the parameters were taken [4]: $T_{DIFS}=34 \mu s$, $T_{SIFS}=16 \mu s$, $CW_{min}=15$, $\sigma=9 \mu s$, $T_{PHYhdr}=68,8 \mu s$; $L_{MAChdr}=272$ bits, $T_{MAChdr}=L_{MAChdr}/R$, $R=54$ Mbps; $T_{ACK}=T_{PHYhdr}+L_{ACK}/6Mbps = 87,5 \mu s$ (for RTS, CTS and ACK the rate is 6 Mbps according to IEEE 802.11ac); $\delta=0,33 \mu s$ (the distance between the sender station and the access point is assumed to be 100 m); $T_{data}=L_{data}/R$, $L_{data}=12000$ bits; k is the fragmentation factor.

The performed calculations show that for $k=1 \eta=0,808$, $k=2 \eta=0,578$, $k=3 \eta=0,450$, $k=6 \eta=0,271$, $k=8 \eta=0,214$, $k=10 \eta=0,177$, $k=12 \eta=0,151$.

Thus, it can be seen that with an increase in the fragmentation factor k , the relative part of the time for transmission of service information T_{serv} increases significantly propose to determine the fragmentation optimum under condition of increased noise intensity by the maximum value of the $\lambda=P_s \cdot \eta$ criterion.

The results of calculations of this criterion for same BER values as in Table 1 are shown in Table 2.

Table 2

Values of the optimality criterion λ

BER	$\lambda = P_s \cdot \eta$							
	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=4$	$k=6$	$k=8$	$k=10$	$k=12$
10^{-6}	0,798	0,575	0,448	0,368	0,270	0,214	0,177	0,151
10^{-5}	0,717	0,544	0,432	0,358	0,266	0,211	0,175	0,149
$5 \cdot 10^{-5}$	0,444	0,428	0,369	0,318	0,245	0,199	0,167	0,144
$7 \cdot 10^{-5}$	0,349	0,380	0,340	0,299	0,235	0,193	0,163	0,141
$8 \cdot 10^{-5}$	0,309	0,358	0,327	0,290	0,231	0,190	0,161	0,139
$9 \cdot 10^{-5}$	0,275	0,337	0,314	0,282	0,226	0,187	0,159	0,138
10^{-4}	0,243	0,317	0,302	0,273	0,222	0,184	0,157	0,137
$1,3 \cdot 10^{-4}$	0,170	0,265	0,268	0,250	0,209	0,176	0,152	0,133
$1,5 \cdot 10^{-4}$	0,133	0,235	0,247	0,235	0,200	0,171	0,148	0,130
$2 \cdot 10^{-4}$	0,073	0,174	0,202	0,203	0,182	0,159	0,139	0,124
$3 \cdot 10^{-4}$	0,0221	0,0954	0,135	0,150	0,149	0,137	0,124	0,112
$4 \cdot 10^{-4}$	0,0066	0,0526	0,091	0,111	0,122	0,117	0,110	0,101
$5 \cdot 10^{-4}$	0,0020	0,0289	0,061	0,082	0,0997	0,101	0,097	0,092

Here you should pay attention to the following. Dependencies $\lambda(k)$ at a relatively low noise level ($BER=10^{-6}-5 \cdot 10^{-5}$) are monotonic, the value of λ smoothly decreases with increasing k . However, with increasing noise level ($BER=7 \cdot 10^{-5}-5 \cdot 10^{-4}$) they become extreme with pronounced maximum. Moreover, with an increase in BER, the abscissa of the maximum shifts towards higher values of k .

Figures 1 and 2 show plots of $P_s(k)$ for several values of noise intensity and plots of $\lambda(k)$ for the same values of BER.

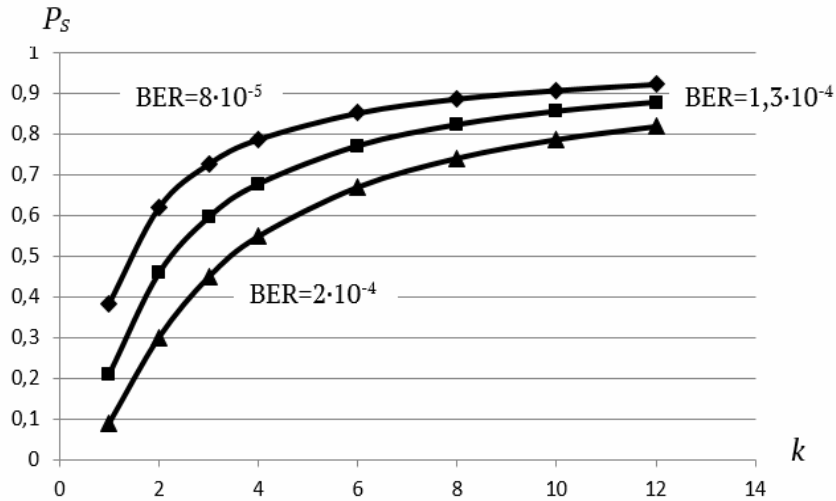


Figure 1 – Dependences of the probability of successful frame transmission P_s on the data field fragmentation coefficient k at various values of the noise intensity (BER)

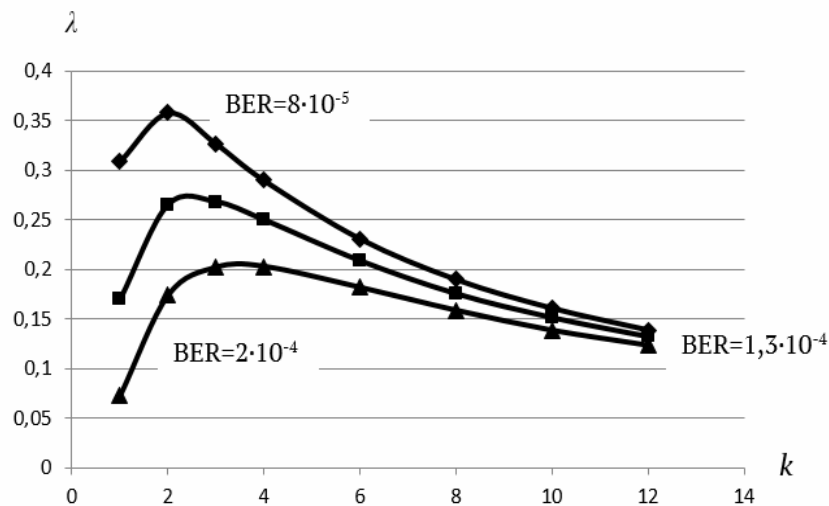


Figure 2 – Dependences of the optimality criterion λ on the data field fragmentation coefficient k at various values of the noise intensity (BER)

From the graphs, presented in Fig.2 it can be seen that with an increase in k the maxima of the $\lambda(k)$ dependences expand and shift to the region of higher values of k . To the point, it should be noted that, as a matter of fact, the sign of extremity of the dependences $\lambda(k)$ begins to appear at an increased noise level, in accordance with Table 2 after the values of $BER=5 \cdot 10^{-5}$.

Conclusions

1. The integral probability of successful frame transmission from a workstation to an access point in a network with infrastructure topology under conditions of increased interference intensity is propose to be determined by the product of two com-

ponents. The first component is determined by the intensity of collisions due to the use of competitive access from stations to the channel during transmission. The second component is determined by the probability of distortion of each data bit of transmitted frame by external noise (BER). The first component was studied by us earlier, therefore, in this paper attention is paid to the second component of integral probability.

2. For a given level of interference, fragmentation of the frame's data field increases the probability of transmitting each individual fragment. Along with this positive phenomenon, fragmentation is accompanied by an increase in the relative weight of overhead costs, i.e. the amount of service information that is necessary to support the data transfer process.

3. We propose to determine the fragmentation optimum under condition of increased noise intensity by the maximum value of the product of fragmented frame transmission probability by the relative weight of overhead costs.

4. The article presents detailed results of calculations of the optimality criterion dependence on the fragmentation coefficient at different levels of BER, which allow optimizing the process of fragmentation of the transmitted frames data field.

REFERENCES

1. Cover T. Elements of Information Theory / T. Cover, J.Thomas. – John Wiley & Sons, 1991. – 328 p.
2. Khandetskyi V.S. Modeling of IEEE 802.11 Computer Networks at Increased Interference Intensity / V.S. Khandetskyi, N.V. Karpenko // Radio Electronics, Computer Sciences, Control. – 2022. – No.2. – P.132-139.
3. Khandetskyi V.S. Data transfer rate in noisy channels of wireless networks / V.S. Khandetskyi, D.P. Sivtsov, K.V. Panin // System Technologies. – 2021. – No.1 (132). – P.136-144.
4. Chang Z. Performance analysis of IEEE 802.11ac DCF with hidden nodes / Z. Chang, O. Alanen, T.Huovinen, T. Nihtila, E.H. Ong, J. Kneckt and T. Ristaniemi //IEEE 978-1-4673-0990-5/12/2012. – 5 p.

Received 09.01.2023.
Accepted 13.01.2023.

Інтегральну імовірність успішної передачі фрейму від робочої станції до точки доступу в мережах з інфраструктурною топологією в умовах підвищеної інтенсивності завад запропоновано визначати у вигляді добутку двох компонент. Перша компонента виначається інтенсивністю колізій, що виникають внаслідок конкурентного доступу станцій до каналу при передачі. Друга компонента визначається імовірністю викривлення кожного біту даних фрейму зовнішніми завадами. Перша компонента була досліджена нами раніше, тому в цій статті увага приділена другій компоненті інтегральної імовірності.

Для заданого рівня шуму фрагментація поля даних фрейму збільшує імовірність передачі кожного окремого фрагменту. Але це супроводжується збільшенням відносної ваги накладних витрат, тобто кількості службової інформації, необхідної для підтримки процесу передачі фрейму. Ми пропонуємо визначати оптимум фрагментації в умовах підвищеної інтенсивності шуму по максимуму добутку імовірності успішної передачі фрагментованого фрейму на відносну вагу накладних витрат. В статті представлені деталізовані результати розрахунків залежності критерія оптимальності від коефіцієнту фрагментації при різних рівнях шуму, які дозволяють оптимізувати процес фрагментації поля даних передаваних фреймів.

Хандецький Володимир Сергійович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електронних обчислювальних машин Дніпровського національного університету імени Олеся Гончара.

Khandetskyi Volodymyr Sergievich – Doctor of Sciences, Professor, Head of Computer Systems Department of the Oles Honchar Dnipro National University.

ВИКОРИСТАННЯ SPRING FRAMEWORK ДЛЯ РОЗРОБКИ ВЕБ-ДОДАТКІВ

Анотація. Стек технологій Spring Boot, Spring Data JPA, Bootstrap, бібліотека jQuery та база даних PostgreSQL використовуються для розробки веб-додатку. Створений додаток можна використовувати для отримання відповідей на власні питання, допомога у вирішенні чужих питань або пошуку нових знайомих.

Ключові слова: web-додатки, мова Java, Spring Framework, база даних PostgreSQL, MVC шаблон.

Вступ. Однією з сучасніших технологій для створення веб-додатків на платформі Java є Spring Framework [1].

Для розробників програмного забезпечення Spring Framework пропонує дійсно дивовижний інструментарій для розробки веб-додатків та їх налаштування. Це дійсно широка і велика веб-платформа, яка більш ніж здатна взяти на себе будь-яке потенційне завдання або проект.

Spring має модульну структуру. Це дозволяє використовувати тільки ті модулі, які потрібні для конкретного додатку та писати дуже чистий і доступний код.

Spring Framework має досить широку функціональність і активно використовується при розробці складних бізнес-додатків. Spring Framework можна розглядати як колекцію менших фреймворків або фреймворків у фреймворку. Більшість фреймворків може працювати незалежно один від одного, проте, вони забезпечують більшу функціональність при спільному їх використанні[1÷ 4].

Платформа Spring - популярна платформа додатків з відкритим кодом. Вона складається з контейнера, платформи управління елементами і набору інтегрованих служб для веб-інтерфейсів користувача, транзакцій і збереження стану. Також надається підтримка файлів налаштування XML компонентів.

Spring сприяє спрощенню розробки будь-яких додатків на Java, розвантаженню коду; програмний код стає простішим, зв'язок між об'єктами стає більш

слабким; кожен об'єкт займається своєю справою (POJO); використанню принципів ООП на повну потужність; додаткова логіка підключається ззовні; готові вбудовані модулі (робота з базами даних, безпека, транзакції, авторизація, сервіси та інше).

До переваг Spring можна віднести: відносна легкість у вивченні і застосуванні фреймворка в розробці і підтримки додатків; впровадження залежностей (DI) і інверсія управління (IoC) дозволяють писати незалежні один від одного компоненти, що дає переваги в командній розробці, перенесення модулів і тощо; Spring IoC контейнер управляє життєвим циклом Spring Bean і налаштовується зразок JNDI lookup (пошуку); проект Spring містить в собі безліч підпроектів, які зачіпають важливі частини створення софту, такі як Веб-сервіс, веб-програмування, робота з базами даних, завантаження файлів, обробка помилок і багато іншого. Все це налаштовується в єдиному форматі і спрощує підтримку додатків.

На даний час існує безліч додатків, за допомогою яких можна згенерувати резюме за власними бажаннями з різними шаблонами, але, нажаль, вони бувають не дуже актуальними та безкоштовними. В основній масі вони надають дуже не професійний спосіб для заповнення даних, це є проблемою для людей у різних сферах діяльності. Саме резюме є візитною карткою для будь-якої людини під час пошуку роботи або для пошуку однодумців.

Мета роботи знайти і розробити найбільш прийнятні умови для створення резюме, а саме, готовий патерн полів для заповнення. Людина, яка проглядатиме резюме змогла б точно, швидко оцінити саме ту інформацію, яка для неї є корисною та актуальною. Також, користувачі зможуть переглядати резюме інших користувачів, порівнюючи свої здібності або знання, навички, котрі необхідно здобути та багато іншого.

Мета статті – за допомогою технології Spring розробити веб-додаток для створення форуму програмістів.

Основна частина. Для створення такого веб-додатку було проаналізовано існуючі рішення, тобто, які етапи проходить користувач для створення свого власного профілю на сайті. Слід приділити увагу оформленню профілю для його презентабельного вигляду та можливості редагування тощо. Також проаналізовано недоліки у існуючих рішеннях, щоб уникнути їх.

Одним із найважливіших завдань при розробці програмних продуктів є вибір таких засобів програмування, які зможуть полегшити роботу розробника.

Вони надають всі необхідні інструменти для реалізації поставленого завдання, та дозволяють отримати результат, який задовольняє потребам користувача.

Створення веб-додатку виконувалося на мові програмування Java в середовищі розробки IntelliJ IDEA 2022. При цьому застосовувався стек технологій фреймворк Spring Boot[6]; Spring Data JPA [4]; бібліотека jQuery; фреймворк Bootstrap[5]; база даних PostgreSQL 12[3] та pgAdmin4 (рис. 1).

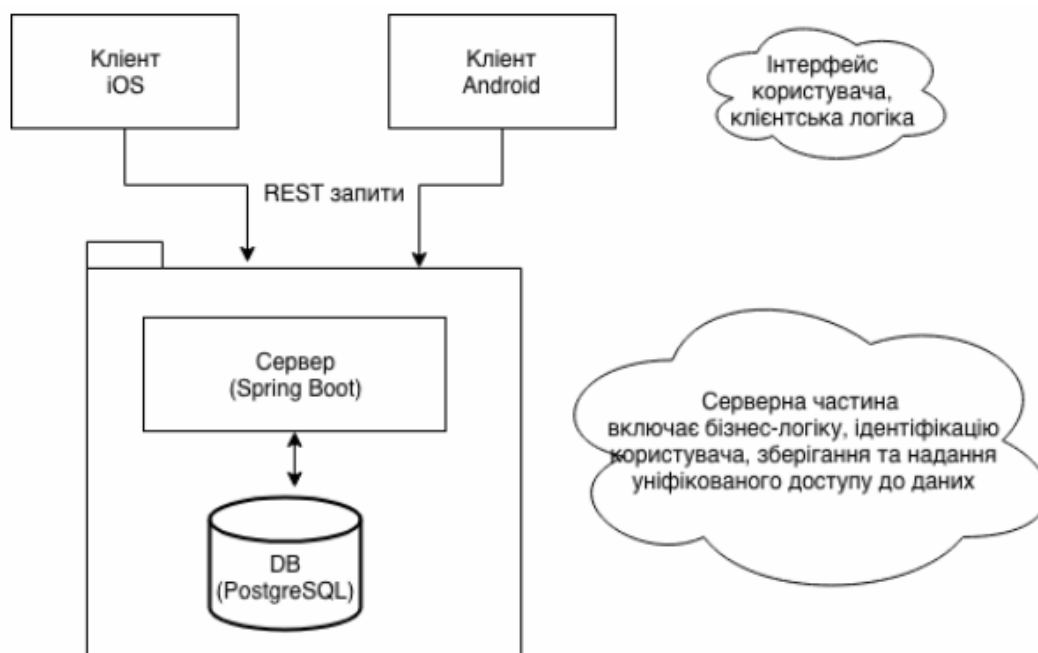


Рисунок 1 – Засоби реалізації веб-додатку

Вибір даних технологій зумовлений тим, що саме ці інструменти у цілому надають найбільшу функціональність серед інших.

Також у проекті застосовано шаблон проектування MVC (model-view-controller), який являє собою архітектурний шаблон модель-представлення-контролер, та може використовуватись під час розробки або проектування додатків.

За архітектурною особливістю такого шаблону систему можна поділити на три взаємопов'язаних частини, одна з них - це модель даних, друга - це вигляд, що представляє собою інтерфейс користувача і третє – це модуль керування.

Метою шаблону є його гнучкий дизайн для додатку, який полегшує подальші зміни або розширення програм, також надається можливість повторного використання окремих компонентів програми. Використання MVC шаблону у великих системах сприяє деякій впорядкованості їх структури та робить більш зрозумілими за рахунок зменшення їх складності.

Модель відповідає за збереження даних та їх структурування, вигляд відповідає за представлення цих даних для користувача, а контролер описує, як саме потрібно керувати компонентами при отриманні сигналів від подій на формі, на веб-сторінці, від дій користувача тощо.

Користувач може створити профіль, який ідентифікується у системі за його роллю, кожен користувач може створити собі профіль, котрий у свою чергу включає таку інформацію, як: основні відомості про себе, короткі дані про навчання, досвід, майстерність, інтереси, свої досягнення.

Для створення програмного продукту розроблена реляційна база даних, яка поєднує усі суб'єкти зв'язками. Всього створено 9 зв'язків та 10 сутностей. Для реалізації цих сутностей створювалась база даних з такими таблицями: **Role** – описує роль користувача у веб-додатку; **User** – зберігає дані профілю користувача; **Address** – зберігає адресні дані користувача; **Experience** – надає дані про досвід; **Education** – дані про освіту; **Degree** – надає для таблиці Education ступені освіти; **Skill** – дані про майстерність; **Interests** – надає дані про інтереси; **About** – надає цікаву інформацію про користувача; **Awards** – інформація щодо досягнень користувача.

Такий стек конфігурацій задовольняє потребам для створення веб-додатку. Весь стек технологій можна стисло описати наступним чином. Завдяки збирачу Maven [3, 7] зчитуються конфігурації (залежності), які знаходяться у pom.xml файлі. Після чого наші view моделі, які знаходяться у каталозі «templates» і являють собою xhtml сторінки (їх безпосередньо бачить клієнт у браузері), можуть взаємодіяти з контролерами, в яких описані певні маршрути та їх параметри. Ці контролери у свою чергу взаємодіють з сервісами, які в свою чергу взаємодіють з репозиторіями, які вже працюють з базою даних. Маємо опис всіх сутностей бази даних – це їх моделі. Кожна модель являє собою опис сутності бази даних та їх зв'язків. З першого погляду кожна така модель схожа на звичайний java клас, але завдяки анотаціям (@Table, @Entity та інші) можна одразу зрозуміти, що це характеризує опис сутності.

Програмний додаток складається з декількох веб-сторінок, особливістю кожної з них є реалізація певного функціоналу та обмеження за правами доступу.

Не зареєстрований користувач має найменші правами доступу. На головній сторінці він може провести пошук за назвою топіку або за автором – це допомагає прискорити пошук. Не авторизований користувач може переглядати профілі інших користувачів та ознайомитись зі вмістом профілю. Саме в про-

філі винесені основні критерії, які можуть бути дуже корисними для надання своєї інформації, а саме: інформація про себе, досвід, навчання, навички, інтереси, нагороди. Останній пункт – це зворотній зв'язок, де можна зв'язатись з обраною людиною через поштовий сервіс .

Якщо користувач зареєстрований, то йому пропонується ввести свої логін та пароль для входу (рис. 2), або ж перейти за посиланням «Зареєструватися». Для реєстрації свого профілю необхідно заповнити всі існуючі поля. При наявності помилок з'являються впливаючі вікна, котрі вказують на помилки при заповненні даних.

Авторизувавшись у системі, користувач потрапляє до головної сторінки веб-додатку. При переході до вкладки «Топіки», користувачу пропонується переглянути список топиків, здійснити пошук за авторами або за назвою та створити своє власний топик, як показано на рисунку 2.

При переході за посиланням «Створити топик» користувач має змогу створити власний топик у відповідності зі своїми інтересами або питаннями для знаходження відповідей.

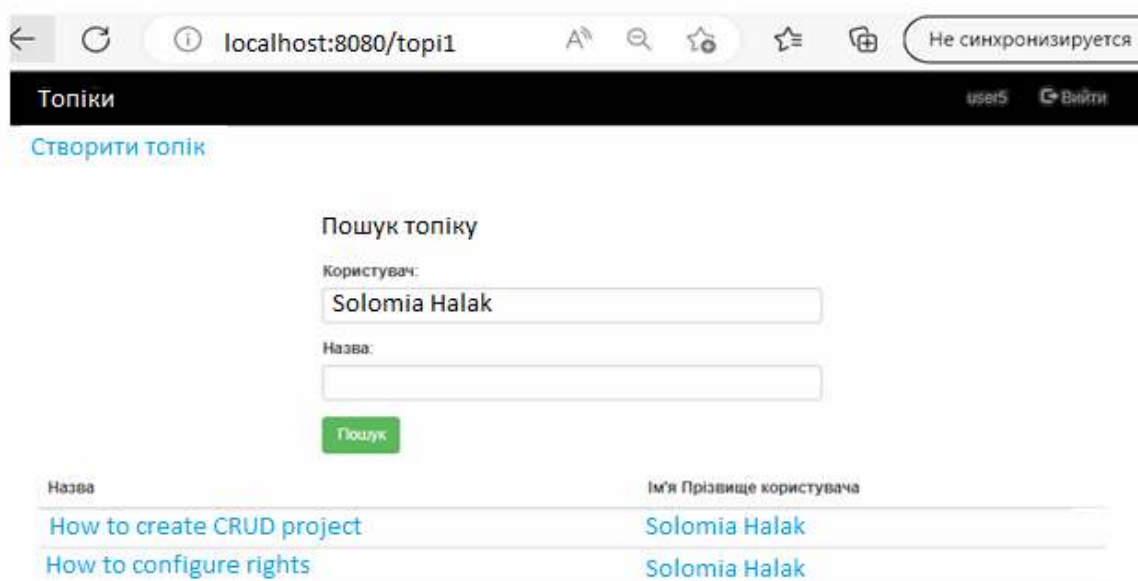


Рисунок 2 – Вкладка авторизованого користувача

Власник профілю має змогу редагувати, доповнювати або видаляти необхідні дані у ньому. Для оновлення поточної інформації необхідно натиснути «Редагувати інформацію» і користувач одразу перейде до іншої сторінки, де матиме змогу редагувати свою інформацію.

Розглянемо функціонал для адміністратора веб-додатку. Адміністратор додатку може бути лише один у системі з відповідними правами доступу. Він має змогу побачити весь додаток, інших користувачів без додаткових прав та додаткові вкладки для адміністрування. Наприклад вкладка «Користувачі» надає змогу адміністратору переглянути повний список користувачів, видалити обліковий запис зареєстрованого користувача або заблокувати його, а також додати нового користувача до системи.

При переході до вкладки «Топіки» адміністратор може знайти необхідний топик за назвою або іменем користувача та переглянути його, якщо воно не відповідає деяким критеріям видалити його. Слід зазначити, що користувач з правами доступу адміністратора не може редагувати свій профіль.

Висновки. Для реалізації функціонуючої системи виконувалися наступні кроки: реалізовано логіку для роботи веб-додатку; створено базу даних для зберігання інформації; реалізовано мінімально приємний дизайн веб-додатку для звичайного користувача у desktop та mobile браузерах; налагоджено багаторівневий доступ до веб-додатку; відокремлено багаторівневий функціонал щодо користувачів додатку з різними правами доступу.

Для подальшого покращення використання та функціонування додатку можна додати приєднання соціальних мереж до профілю, розширене встановлення контакту з людиною через веб-додаток та багато іншого.

ЛІТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Spring Framework. [Electronic resource]. Access mode: <https://habr.com/ru/post/490586/>.
2. Maven. [Electronic resource]. Access mode <https://habr.com/ru/post/78252/>.
3. PostgreSQL. [Electronic resource]. Access mode: <https://www.postgresql.org/docs/current/history.html>.
4. Spring Data JPA. [Electronic resource]. Access mode: <https://www.baeldung.com/learn-spring-data-jpa-course>.
5. Mayur Ramgir «Full Stack Java Development with Spring MVC, Hibernate, jQuery, and Bootstrap». Wiley, 2020. – 712 с.
6. Spring Boot. [Electronic resource]. Access mode: <https://spring.io/projects/spring-boot>.

Received 11.01.2023.
Accepted 16.01.2023.

Using Spring Framework to develop web applications

Spring Framework is a popular platform for creating web applications. It consists of a container, an element management platform, and a set of integrated services for web user interfaces, transactions, and state retention. Spring has a modular structure. This allows you to use only those modules that are needed for a specific application and write clean and accessible code.

The purpose of the work is to find and develop the most acceptable conditions for creating a forum of programmers. Users will be able to view profiles of other users, topics, answer questions or create their own.

The web application was created using the Java programming language in the IntelliJ IDEA 2022 development environment. The Spring Boot framework technology stack was used; Spring Data JPA; jQuery library; Bootstrap framework; database PostgreSQL 12 and pgAdmin4.

The project uses the MVC (model-view-controller) design pattern. According to the architectural feature of such a template, the system can be divided into three interconnected parts, the first is a data model, the second is a view representing the user interface, and the third is a control module.

To create a software product, a relational database was developed, which connects all subjects with connections.

The software application consists of several web pages, the feature each of them is the implementation of certain functionality and restrictions on access rights.

Матвєєва Наталія Олександрівна – к. т.н., доцент, доцент кафедри електронних обчислювальних машин, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Мохов Кирило Володимирович – магістр за спеціальністю «Компютерна інженерія», Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Matveeva Nataliya – Candidate of Technical Sciences, associate professor, associate professor of the department of Electronic Computing Machinery, Oles Honchar Dnipro National University.

Mokhov Kurulo - Master of Science in Computer Engineering, Oles Honchar Dnipro National University.

FEATURES OF THE .NET MAUI FRAMEWORK FOR CREATING A CROSS-PLATFORM APPLICATIONS

Abstract. Modern technologies that allow you to create applications for several different platforms optimize the development process. The recently released .NET MAUI platform is a new milestone in the development of cross-platform development technology. The possibilities of the platform provided to the programmer and the features of creating applications are considered.

Keywords: .NET, MAUI, CROSS-PLATFORM, C#, XAML, Android, iOS, macOS, Windows, Tizen, Page, Layout, View.

Formulation of the problem. Developing an application for several platforms at once (iOS, Android, Windows, macOS) faces many difficulties. To create an application for a specific platform, the appropriate tools, development environments and programming languages are used. The development is also influenced by the difference in approaches to building a graphical interface and its specific features. The presence of a wide range of platforms, development tools and programming languages increases both the time and cost of development.

Cross-platform provides the ability to easily create applications for multiple platforms. The Xamarin platform allows you to write cross-platform applications using the C# programming language in the modern Visual Studio environment. With Xamarin, it is possible to create a custom user interface for each platform and write common business logic in C# that will be used on different platforms. Xamarin offers support for three main platforms: iOS, Android, and Windows.

The Xamarin.Forms UI framework allows developers to create user interfaces in the XAML markup language using C# code-behind. These user interfaces are rendered as native controls on each platform.

Thus, the development costs and time of release of mobile products are significantly reduced. Further improvement of this technology led to the creation of a new platform .NET MAUI.

Purpose of the research. Необходимо рассмотреть возможности платформы .NET MAUI, ее преимущества перед предыдущей платформой, а также, особенности создания на этой системе кроссплатформенных приложений.

Main part. The .NET Multiplatform Application User Interface (.NET MAUI) is a cross-platform framework for building native mobile and desktop applications using the C# programming language and XAML. The developed applications can run on Android, iOS, macOS, Windows and Tizen from a single common code base. .NET MAUI is an evolution of Xamarin.Forms extended from mobile to desktop scenarios, with UI controls redesigned for performance and extensibility.

Benefits of developing applications on MAUI:

- in the process of development, a single project is created that uses a common code for all platforms;
- when creating applications, the .NET platform and the C# programming language are used;
- offers a rich collection of built-in controls;
- data binding is supported;
- there are options for customizing the behavior of the visual interface and built-in functionality;
- wide opportunities for working with graphics;
- providing direct access to the native API of each platform;
- .NET hot reload simplifies development.

A single project enables simplified and consistent cross-platform development regardless of target platforms and provides the following features:

- one shared project designed for Android, iOS, macOS, Windows and Tizen;
- simplified debug target selection for launching applications;
- shared project resource files;
- if necessary, access to API and tools for specific platforms;
- a single entry point for a cross-platform application [1].

.NET MAUI provides a large set of controls that you can use to display data, initiate actions, indicate activity, display collections, select data, and more.

Support for .NET hot reloading allows you to change managed source code and XAML files while your application is running and see the changes without recompiling.

The .NET MAUI project separates the GUI definition from the program logic by default. Extensible Application Markup Language XAML is used to define the user interface. XAML is an XML-based markup language for creating objects in a

declarative way. While it is also possible to create an interface in C# code, or combine interface creation in XAML and C# code, XAML is recommended because it is often more concise, visually consistent, and has tooling support. XAML allows you to organize your entire user interface into a set of pages, much like HTML does.

Each element in XAML represents an object of a particular C# class, and the element's attributes map to properties of those classes. When you add a new XAML page to your project, a C# code file is also added at the same time. So, when you create a project, by default, a file with a graphical interface in XAML is added to it - MainPage.xaml and a MainPage.xaml.cs file, where the application logic related to the markup from the XAML file should be located. XAML files let you define the window's interface, but you use C# code to create application logic, such as defining control event handlers.

By default, the x:Class attribute is defined in the XAML file:

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
<ContentPage xmlns=http://schemas.microsoft.com/dotnet/2021/maui
             xmlns:x="http://schemas.microsoft.com/winfx/2009/xaml"
             x:Class="App.MainPage">
  <ScrollView>
    <VerticalStackLayout
      Spacing="25"
      Padding="30,0"
      VerticalOptions="Center">
      ...
      <Button
        x:Name="CounterBtn"
        Text="Click me"
        SemanticProperties.Hint="Counter"
        Clicked="OnCounterClicked"
        HorizontalOptions="Center" />
    </VerticalStackLayout>
  </ScrollView>
</ContentPage>
```

The x:Class attribute points to the class that will represent this page and into which code from XAML will be compiled.

The corresponding code file MainPage.xaml.cs has the following code:

```
namespace App;
public partial class MainPage: ContentPage
{
    int count = 0;
    public MainPage()
```

```
{  
    InitializeComponent();  
}  
private void OnCounterClicked(object sender, EventArgs e)  
{  
    count++;  
    CounterBtn.Text = $"Clicked {count} time(s)";  
    SemanticScreenReader.Announce(CounterBtn.Text);  
}  
}
```

The class constructor retrieves the GUI code, initializes all the objects defined in the XAML file, sets the element structure, attaches the event handlers defined in the C# code file, and creates the object tree. So the code from XAML is used to build the interface.

In the XAML definition of the button, the `x:Name` attribute assigns a name to the element. When compiling the application, a private variable with this name will be created. The `Clicked` attribute sets the button's click handler. It has the value "OnCounterClicked" and the C# code has a method with the given name that handles clicks on this button.

The user interface of a .NET MAUI application consists of objects that map to the native controls of each target platform. The main control groups used to create the user interface of an application are Pages, Layouts, and Views.

A .NET MAUI page usually takes up the entire screen or window. It contains a layout which contains views and possibly other layouts.

.NET MAUI defines the following pages:

- `ContentPage` displays a single view and is the most common page type.
- `NavigationPage` provides hierarchical navigation, allowing you to move back and forth through pages as you wish.
- `FlyoutPage` manages two related information pages: a flyout page with items, and a detail page that provides details about the items on the flyout page. Different behaviors apply for phones and for tablets or desktops.
- A `TabbedPage` consists of a series of pages that can be navigated through using tabs at the top or bottom of the page, and each tab loads the content of the page [2].

.NET MAUI layouts are used to group UI controls into visual structures, and each layout typically contains multiple views. Layout classes usually contain logic for setting the position and size of child elements.

.NET MAUI has the following layouts:

- StackLayout arranges nested elements in a row either horizontally or vertically.
- AbsoluteLayout allows you to set the exact size and position coordinates for nested elements on the page.
- Grid arranges nested elements in the form of a table.
- FlexLayout allows you to lay out or wrap your child elements with different alignment and orientation options [2].

.NET MAUI views are user interface objects such as labels, buttons, and sliders, commonly referred to as controls in other environments. For all views it is possible to set the height and width, outer and inner padding, horizontal and vertical alignment.

Resources are used to share different elements of common components. Resources include styles, control templates, data templates, converters, and colors. Any visual object can reference XAML resources.

Data binding is one of the key aspects when building applications on the .NET MAUI platform. It allows you to link two properties of different objects in such a way that changes in the property of one object automatically lead to a change in the property of another object. Data binding in XAML helps reduce the size of your code-behind file. By replacing procedural code in event handlers with declarative code or markup, the application is simplified and more understandable.

Triggers in .NET MAUI also allow you to declaratively specify some actions that are performed when properties of a visual element change, data changes, or events are fired.

To create a .NET MAUI application that uses cross-platform code, follow these steps.

1. When creating a project, you must select a debug target (for example, Android Emulator).
2. Specify the user interface using XAML and interact with XAML elements using C# code.
3. Views are created and their data binding.
4. Navigation is used to move through the pages of the application.

Conclusions. The .NET MAUI platform provides the ability to create both mobile and desktop applications with a single interface. The developer is offered ample opportunities to organize the structure and select user interface controls. Separating the GUI definition from the program logic allows for more efficient

development and maintenance of applications. In addition, MAUI's deep integration with other .NET tools and services ensures high performance in the applications you create.

REFERENCES

1. What is .NET MAUI? – .NET Multi-platform App UI documentation | Microsoft Docs [Electronic resource]. Access mode: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/maui/what-is-maui?view=net-maui-7.0>
2. Controls – .NET Multi-platform App UI documentation | Microsoft Docs [Electronic resource]. Access mode: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/maui/user-interface/controls/?view=net-maui-6.0>

Received 16.01.2023.

Accepted 18.01.2023.

Можливості фреймворку .NET MAUI зі створення кросплатформових додатків

Кросплатформеність надає можливість легко і просто створювати програми для декількох платформ. Широко використовувана платформа Xamarin дозволяє створювати власний інтерфейс користувача для кожної платформи і писати мовою програмування C# загальну бізнес-логіку, яка буде використовуватися на різних платформах. Xamarin пропонує підтримку для трьох основних платформ: iOS, Android та Windows. Однак існуюча платформа Xamarin має ряд недоліків. Подальше вдосконалення даної технології спричинило створення нової платформи .NET MAUI.

Необхідно розглянути можливості платформи .NET MAUI, її переваги перед попередньою платформою, а також особливості створення на цій системі кросплатформових додатків.

Інтерфейс багатоплатформної програми .NET — це кросплатформовий фреймворк для створення власних мобільних і настільних програм за допомогою мови програмування C# і XAML. Розроблені програми можуть працювати на Android, iOS, macOS, Windows та Tizen з єдиної загальної бази коду. У процесі розробки додатків на MAUI створюється єдиний проект, що використовує загальний код для всіх платформ, використовується платформа .NET та мова програмування C#. Розробнику надається багата колекція вбудованих елементів управління, можливості прив'язки даних, налаштування поведінки візуального інтерфейсу та вбудованого функціоналу, широкі можливості роботи з графікою. При необхідності існує прямий доступ до нативних API кожної платформи та гаряче перезавантаження .NET, яке спрощує розробку та налагодження програми.

Таким чином, платформа .NET MAUI надає можливість створення як мобільних, так і настільних додатків з єдиним інтерфейсом. Розробнику

«Системні технології» 1 (144) 2023 «System technologies»

пропонуються широкі можливості з організації структури та вибору елементів управління інтерфейсу користувача. Поділ визначення графічного інтерфейсу від програмної логіки дозволяє більш ефективно розробляти та підтримувати програми. Крім того, глибока інтеграція MAUI з іншими інструментами та службами .NET забезпечує високу продуктивність створюваних додатків.

Пономарьов Ігор Володимирович - кандидат технічних наук, доцент кафедри електронних обчислювальних машин факультету фізики, електроніки та комп'ютерних систем Дніпровського національного університету ім.О.Гончара.

Ponomarev Igor Volodimirovich - candidate of technical sciences, associate professor of the department of electronic computers of the faculty of physics electronics and computer systems of the Oles Honchar Dnipro National University.

V.V. Spiritsev, D.V. Sadychenko, O.V. Spiritseva

**CROSS-PLATFORM UNITY APPLICATION FOR DISPLAYING
3D MODELS OF AUGMENTED REALITY USING ARCORE**

Annotation. Recently, augmented reality technology has taken a qualitative step in development, which has enabled it to be useful in many areas of life. Augmented reality applications are unique in that they annotate or augment the user's reality. Practice has shown that augmented reality technology has unlimited potential and requires further research in the direction of creating innovative immersive applications. This work proposes a cross-platform Unity application for displaying 3D models of augmented reality using ARCore.

Keywords: augmented reality, ARCore, Unity, MVVM.

Formulation of the problem. Augmented reality is a term denoting all projects aimed at supplementing reality with any virtual elements in real time [1]. Recently, the technology of augmented reality has made a qualitative step in development, which has enabled it to be useful in many spheres of life (architecture, archeology, industry, artificial environment, educational environment, the field of entertainment, etc.) increasing the efficiency of the work carried out. ARCore technology originates from Tango, which is/was a more advanced AR toolkit that used special sensors built into the device. In ARCore, instead of special sensors, software (intended for Android devices) is used, which makes this technology more accessible and popular. ARCore can be accessed from multiple development platforms (Android [Java], Web [JavaScript], Unreal Engine [C++], and Unity [C#]), giving developers great flexibility and opportunities to create cross-platform applications. While each platform has its strengths and weaknesses, all platforms essentially extend from their own Android SDK. Augmented reality applications are unique in that they annotate or augment the user's reality. This is usually done visually, if an AR program superimposes computer graphics on the real world. Practice has shown [2] that augmented reality technology has unlimited potential and requires further research in the direction of creating innovative immersive applications.

Analysis of the latest research. Unity is a cross-platform game engine, which is mainly used for creating games, interactive 2D and 3D experiments (exercise simulation, medical and structural visualization), etc., developed by Unity Technologies [3]. Over the years, Unity has gradually introduced a set of tools to support 3D content creation, VFX and filmmaking. Embracing cross-platform development since its inception in 2006, Unity has allowed developers to compile their apps for multiple targets, making it a great tool for creating mobile games. Over the years, Unity has worked closely with Apple and Google to integrate the ARKit and ARCore SDK into its library. In 2018, Unity went public with a unifying API for both platforms - the AR Foundation package. AR Foundation allows you to create cross-platform augmented reality applications using Unity. Unity 2018.1 includes built-in cross-platform support for AR. These APIs reside in the UnityEngine.Experimental.XR namespace and consist of a number of subsystems. These subsystems contain low-level APIs for interacting with AR. The AR Foundation package wraps this low-level API into a coherent whole and enhances it with additional utilities such as managing the lifecycle of an AR session and creating GameObjects to represent discovered features in the environment. In the AR Foundation project, you choose which AR features to enable by adding the appropriate manager components to your scene. When you build and run your application on an AR device, the AR Foundation includes these features with its own AR SDK, so you can build it once and deploy it to the world's leading AR platforms [4].

The goal of the work. The purpose of this article is to develop a cross-platform Unity application for displaying 3D models of augmented reality using ARCore.

Main part. For the development of the "Room-Builder" application (Figure 1), the Unity platform and the C# programming language (for writing scripts) using the MVVM pattern (for building a high-quality connection between the interface and business logic, which in turn will help maintain a clean and clear application architecture). The following modules were additionally installed: Android SDK; Android NDK; ARCore foundation; ARCore XR.

To build the augmented reality of the ARCore technology, you need the following.

1. Track movement (Motion tracking) allows the smartphone to understand its position in the real world. This device needs data from accelerometer, magnetometer, compass and geolocation.

2. Environment understanding allows the smartphone to determine the size and position of all types of surfaces (vertical, horizontal and angular) and the distance from the device to these surfaces. Images from the device's cameras and laser distance sensors, if available (Figure 2), act as input data.



Figure 1 - Application interface

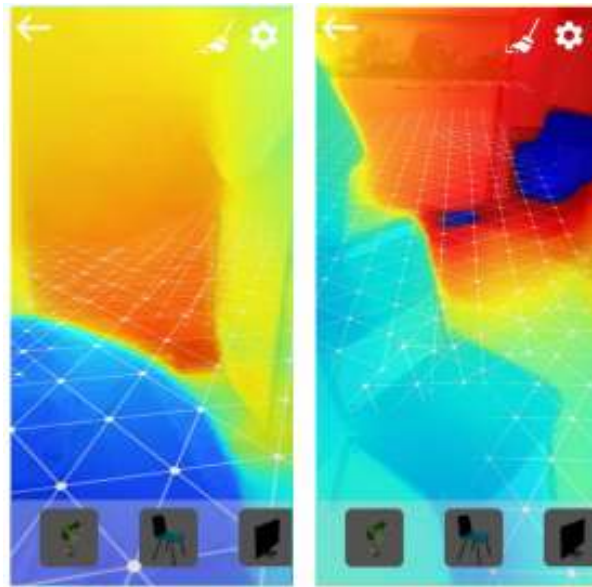


Figure 2 - Understanding image depth

3. Estimating the illumination allows the smartphone to estimate the illumination of the surrounding environment. Without this feature ARCore will not be able to build a plane with coordinates.

As an intermediate output we get a set of planes that contain coordinates and can be used to establish a model, track a model, or a point in space. We also get an opportunity to see the depth of the plane recognition, and see what ARCore sees and how it builds planes in the environment. The scheme of the organization of input and output data in the developed application is shown in Figure 3.

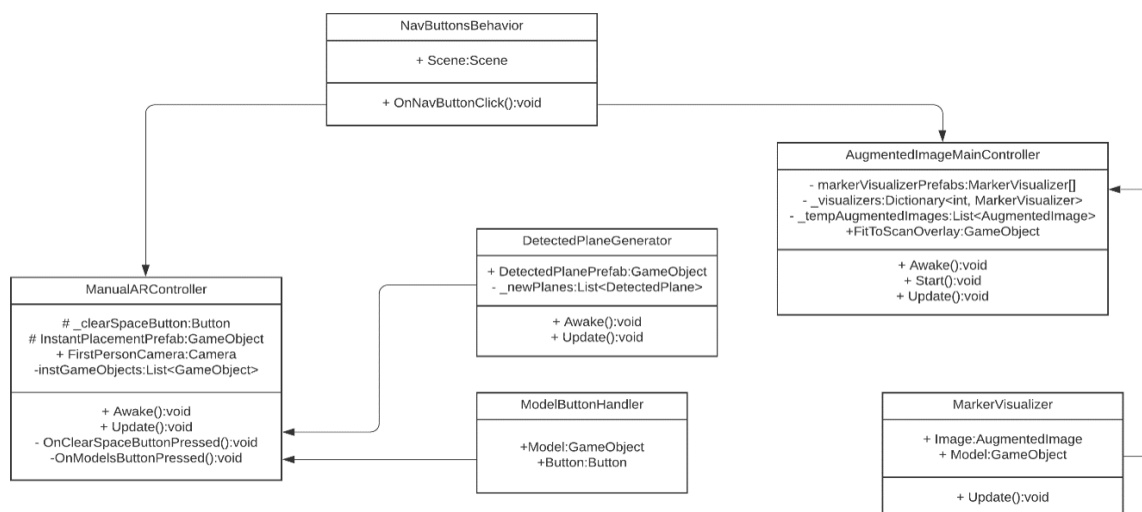


Figure 3 - Data processing scheme

Figure 4 shows the structure of the project.

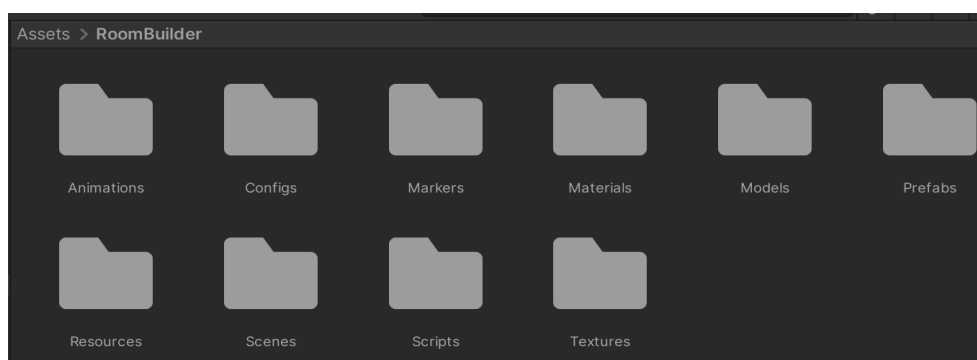


Figure 4 - Structure of the developed application

The developed application has two work scenarios (see Figure 1). They are Manual placement of models and Tracking markers in the environment.

Manual placement of models. In the Unity editor, we will create a new scene for manual placement of models. Add a controller with an array of objects.

```

public class ModelButtonHandler : MonoBehaviour
{
    public GameObject Model;

    public Button Button;}
    
```

This model adds a construct to the Unity inspector to bind a button and a 3D object.

In the Update method, which is called with every update of the application frame, we will describe the logic of adding a model to the specified plane.

```
if (hit.Trackable is DetectedPlane)
{
    DetectedPlane detectedPlane = hit.Trackable as Detected-
Plane;
    if (detectedPlane.PlaneType == DetectedPlaneType.Vertical)
        prefab = InstantPlacementPrefab;
    }
    // Instantiate prefab at the hit pose.
    var gameObject = Instantiate(prefab, hit.Pose.position,
hit.Pose.rotation);
    instGameObjects.Add(gameObject);
```

It can be seen that under the condition of touching the specified ARCore plane, the selected 3D object is added to the surface and fixed at the initial coordinates. The Instantiate method allows you to create objects in a certain location and with a certain rotation. The diagram of the location of the models is shown in Figure 5.

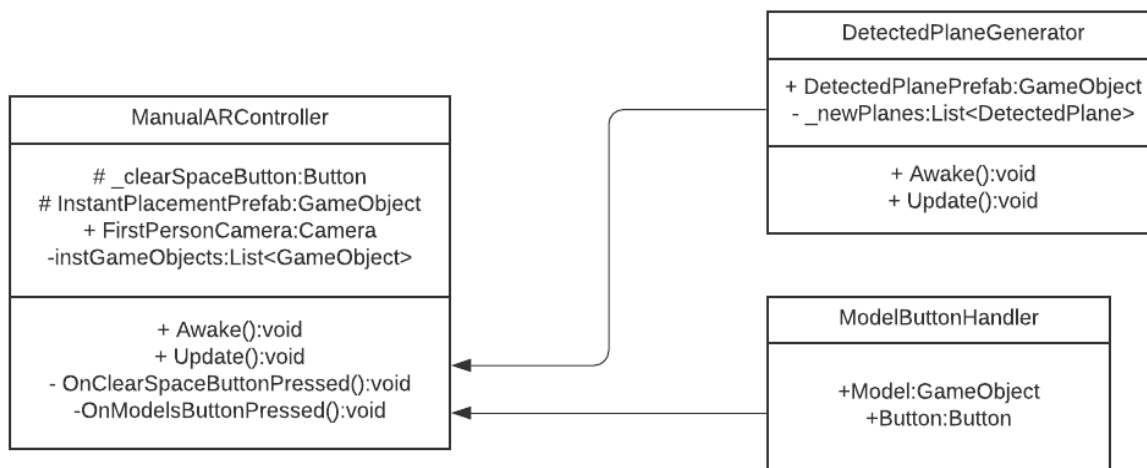


Figure 5 - Class diagram in the scene of manual arrangement of models



Figure 6 – Manual placement of models

Tracking markers in the environment. In the Unity editor, we create a new scene for tracking markers and placing models on their surface. First, you need to add an empty Canvas and an ARCore Device object. At this stage, we add to the ARCore Device in the Markers Tracking Session inspector. It is a configuration file that is responsible for various parameters such as camera autofocus, face detection, image depth, and marker database. Next, we need to create a database with images for tracking. In the project window, select the desired set of control images (PNG or JPG), right-click and select Create → Google ARCore → AugmentedImageDatabase.

As in the previous example, we create a scene controller and add a C# script to it. In the Update() method, we define the software part of searching for images from the device's camera.

```
Session.GetTrackables<AugmentedImage>(_tempAugmentedImages,  
TrackableQueryFilter.Updated);
```

In the same script, we will define an array of 3D models, and attach them to images with a simple cyclic iterator.

```
public MarkerVisualizer[] markerVisualizerPrefabs;
```

If the recognition is successful, we add the model to the scene at zero coordinates (the center of the marker).

```
if (image.TrackingState == TrackingState.Tracking && marker  
== null && image.TrackingMethod == AugmentedImageTracking-  
Method.FullTracking)  
  
{  
  
    Anchor anchor = image.CreateAnchor(image.CenterPose);  
    marker = (MarkerVisualizer) Instantiate(  
markerVisualizerPrefabs[image.DatabaseIndex], anchor.  
transform);  
    marker.Image = image;  
    _visualizers.Add(image.DatabaseIndex, marker);  
    FitToScanOverlay.SetActive(false);  
  
}
```

Figure 7 shows the result of the marker tracking application.



Figure 7 - Label tracking

The developed application also has a mechanism for handling exceptional situations such as conditions of insufficient lighting; conditions of poor surface texture; conditions of ultra-fast movement of the camera of the device.

Conclusions. The work proposes a cross-platform Unity application for displaying 3D models of augmented reality using ARCore, which enables the user to understand how ARCore works (how ARCore sees the environment, how the process of recognizing and constructing the depth of the environment, placing or tracking geometric models using ARCore takes place). The developed application provides an intuitive, simple graphic interface for the most convenient user experience; the ability to choose geometric models for location; the ability to track markers for the location of geometric models; the ability to understand the environment. Further research should be conducted in the direction of expanding the description of the available elements responsible for configuring the application.

REFERENCES

1. Augmented reality// AR. [Electronic resource]. Access mode. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Augmented_reality.
2. Augmented Reality, AR//AR. [Electronic resource]. Access mode.– URL:<https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/dopolnennaja-realnost-ar>.
3. Unity.[Electronic resource]. Access mode. – URL: <https://unity.com/ru>.
4. AR Foundation. [Electronic resource]. Access mode. – URL: <https://unity.com/ru/unity/features/arfoundation>.

Received 16.01.2023.
Accepted 23.01.2023.

**Кросплатформний Unity додаток для відображення
3D-моделей доповненої реальності засобами ARCore**

За останній час технологія доповненої реальності зробила якісний крок у розвитку, що дало їй змогу бути корисною у багатьох сферах життя (архітектура, археологія, промисловість, штучне середовище, навчальне середовище, сфера розваг та ін.) підвищуючи ефективність здійснених робіт. Додатки доповненої реальності унікальні тим, що анують або доповнюють реальність користувача, що підвищує коефіцієнт їх зацікавленості та надає відчуття безпосередньої взаємодії з навколишнім середовищем. Практика показала, що технологія доповненої реальності має необмежений потенціал та потребує подальших досліджень в напрямку створення інноваційних іммерсивних додатків. В даній роботі запропоновано кросплатформний Unity додаток для відображення 3D-моделей доповненої реальності засобами ARCore. Для розробки додатку "Room-Builder" була обрана платформа Unity та мова програмування C# (для написання скриптів) з використанням патерну MVVM (для побудови якісного зв'язку між інтерфейсом та бізнес логікою, що в свою чергу допоможе підтримувати чисту та зрозумілу архітектуру застосунку). Також додатково були встановлені наступні модулі: Android SDK; Android NDK; ARCore foundation; ARCore XR. Для управління роботою додатком і його вмістом було розроблено користувальницький інтерфейс, що надає можливість користувачу отримати повний контроль над системою. В додатку наявні два сценарії роботи (ручне розташування моделей; відстеження маркерів у навколишньому середовищі), а також механізм обробки виняткових ситуацій (умови недостатньої освітленості; умови поганої текстури поверхні; умови надшвидкого руху камери пристрою). Практична значимість даного програмного продукту полягає в тому, що створений додаток надає можливість користувачу зрозуміти як працює ARCore, побачити те - як ARCore бачить навколишнє середовище, як відбувається процес розпізнавання та побудови глибини середовища, розміщення або відстежування геометричних моделей засобами ARCore.

Спирінцев В'ячеслав Васильович - к.т.н., доцент, доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем НТУ "Дніпровська політехніка".

Садиченко Данило Валерійович – магістр, НТУ "Дніпровська політехніка".

Спирінцева Ольга Володимирівна – к.т.н., доцент кафедри електронних обчислювальних машин Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Spiritsev Viacheslav Vasyliovych - candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of computer system's software department of the Dnipro University of Technology.

Sadychenko Danylo Valeriyovych – master of the Dnipro University of Technology.

Spiritseva Olga Volodymyrivna - candidate of technical sciences, associate professor of Computer Systems Department of Oles Honchar Dnipro National University.

**VERIFICATION OF THE COMPUTER DESIGN PACKAGE ELCUT
ON THE EXAMPLE OF THE PROBLEM OF HEATING
AN INDUCTOR WITH A TWO-LAYER INWALL**

Abstract. The actual problem of researching the thermal field of an induction heater with a two-layer inwall for four pairs of inwall materials is solved; verification of the ELCUT automated design package using pictures of temperature fields, isotherms and diagrams comparing the average temperature of the inwall in the outer and inner layers was carried out.

Key words: automated design package, ELCUT, thermal calculation, temperature, induction heater, inwall.

Introduction. To solve differential equations and their systems describing thermal processes in complex structures and devices, automated design packages, which include ELCUT, are increasingly used. However, this raises the question of the reliability of the obtained results, which can be answered by verifying the used algorithm by comparing the obtained results with the known data of other authors.

Analysis of recent research and publications. The application of the ELCUT automated design package to the solution of actual complex differential problems can be found in articles [1-8].

The paper [1] presents the results of the study of increasing the energy efficiency of the acoustic magnetic device due to the joint solution of three problems: electrical, magnetic, and thermal. For the experimental investigation of the hypothesis, a model of the acoustic-magnetic device was developed using the ELCUT 6.1 software, which allowed to obtain satisfactory results.

The article [2] is devoted to the study of the strength properties of a sand-cement rod under conditions of a thermal gradient. A comparison of the results of the simulation of the problem in the ELCUT Pro package with the experimental data shows minor deviations of the studied parameters.

The purpose of the article [3] is to determine the temperature and correct cutting conditions during flat grinding of a combined form consisting of metal-polymer and metal. The heating of the part surface using the finite element method in the

ELCUT 6.1 was studied. The results of the experiment and discussion are presented, which confirms the previously obtained theoretical and numerical results.

In [4], the methodology for calculating the coefficient of heat transfer of fences for soil massifs that have an infinite thickness, which greatly complicates the task, is developed. The solution of the differential equation of thermal conductivity by the methods of integral transformation, which was confirmed by the results of the finite-element calculation in the ELCUT software simulation, was obtained.

Papers [5-6] are devoted to the analysis of the tool base in the field of horticulture and optimization of the magnetic system of the linear motor of electric seateurs. The task is complicated by the lack of a theory of designing magnetic systems for hand-held electrified tools. Chain methods of calculating magnetic systems have a high error, which does not allow determining the optimal design at the stage of calculations. The use of the modern ELCUT computer program based on the finite element method at the design stage made it possible to increase the force created by the magnetic field of the linear electric motor of the hand-held electrified tool, and thereby obtain the optimal design of the magnetic system with the specified accuracy.

The article [7] provides a description of the developed electric generator designed for the generation of electricity by the magneto-electric method and the conversion of mechanical energy from a rotating wind engine, and the study of the distribution of magnetic fluxes in the area of the magneto conductor of the generator, which were carried out in the ELCUT computer simulation environment. Due to the improved redistribution of the magnetic flux, a 60% increase in electric current at the output of the generator was obtained; 10% reduction in battery charge time, which leads to accelerated use of the energy storage. The obtained results made it possible to improve the mass and overall design parameters of the magnetic system.

The paper [8] presents a comparison of the results of the research on the problem of heating a cylindrical inductor with two inwall layers using the ELCUT and SOLIDWORKS automated design packages.

Thus, the review of the latest research shows that the automation of the complex procedure of integrating differential equations and their systems with the help of modern systems makes it possible to obtain results much faster and in more detail and to determine the fields of the sought functions.

The purpose of the study: verify and prove the feasibility of using the ELCUT automated design package to solve the problem of determining the thermal field of an induction heater with a two-layer inwall for four pairs of inwall materials.

Presentation of the main material of the study. Estimated cases of location of materials in the layers of the inductor inwall and their thermal conductivity are given in table 1.

Table 1

Numbering of inwall layers materials
and their thermal conductivity coefficients λ_I , W/(m · K)

Inwall layers	1	2	3	4
internal	chamotte, 1,33	cement slabs, 1,92	slate, 2,1	asbestos-cement slabs,0,35
external	asbestos, 0,175	bakelite, 0,23	asbestos-cement slabs, 0,35	slate, 2,1

The statement of the problem and the equations system can be found in [9-10], the scheme of the inductor with two-layer inwall is given in [10].

The materials of the inwall layers in cases 1 and 2 of table 1 were chosen to coincide with cases 1 and 11 in [10] for comparison and verification two methods. Cases 3 and 4 contain the same layer materials: "slate" and "asbestos-cement slabs"; cases differ in their sequence and location relative to the inner cavity of the inductor.

Pictures of thermal fields in the inductor for the four studied cases, respectively, table. 1 in fig. 1-4 are presents.

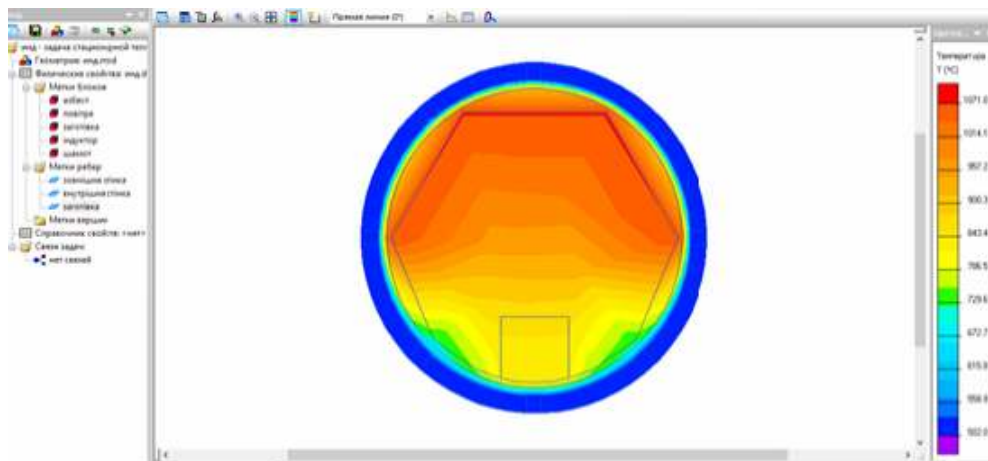


Figure 1 - Thermal field in the inductor for inwall "chamotte-asbestos"

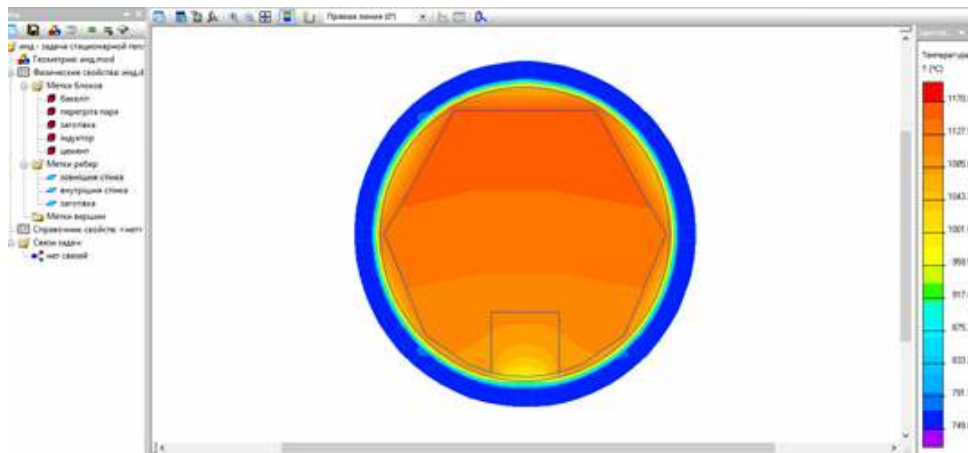


Figure 2 - Thermal field in the inductor for inwall "cement slabs-bakelite"

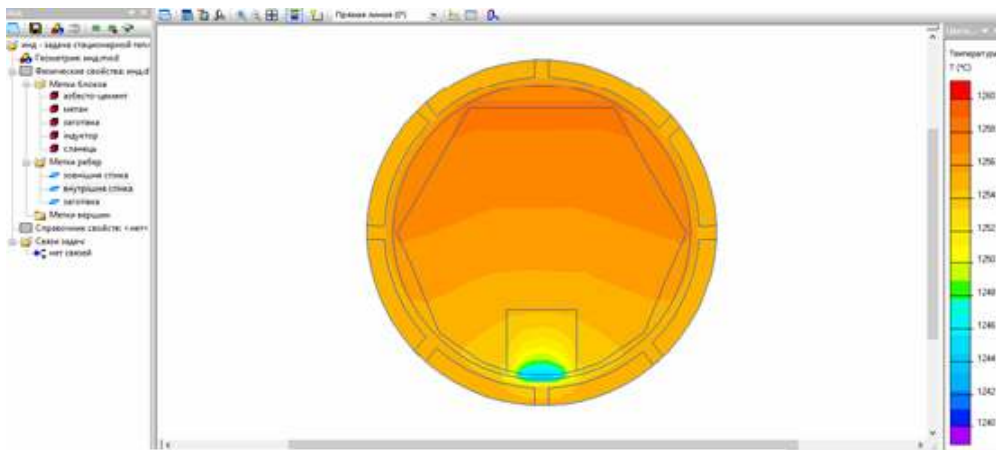


Figure 3 - Thermal field in the inductor for inwall "slate-asbestos-cement slabs"

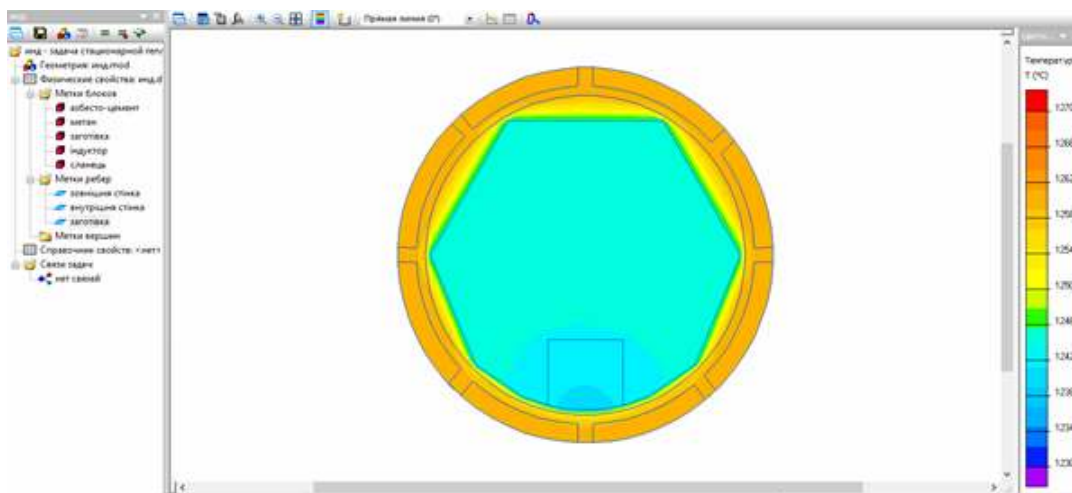


Figure 4 - Thermal field in the inductor for inwall "asbestos-cement slabs-slate"

The comparison of the inwall temperature average values with the corresponding data of [10] for cases 1 and 2 is shown in Fig. 5.

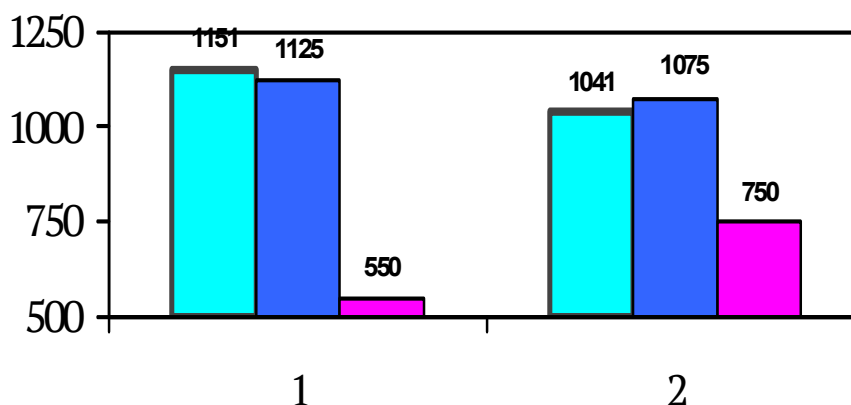


Figure 5 - The average temperature of the inwall: 1 – chamotte-asbestos;
2 – cement slabs-bakelite;

■ – inner layer [10];
■ – inner layer, ELCUT;
■ – outer layer, ELCUT

It should be noted that the difference in temperature values on the inner side of the inner layer of the inwall, obtained by the method [10] and numerically – using the software package ELCUT for pairs of materials "chamotte-asbestos" and "cement slabs-bakelite" (Fig. 5), does not exceed 3%.

Thus, the heat transfer module ELCUT can be successfully used to model the distribution of temperatures and heat fluxes in industrial problems heat engineering, however in the presence in designs of the cavities filled with air or other gaseous environment, it is necessary to consider heat exchange not only due to thermal conductivity, but also due to free / forced convection and thermal radiation - this explains the difference results.

The presented results at the XXII International Conferences "Human and Space" [8] were tested.

Conclusions. In the course of performance of the set task the following types of works were carried out and conclusions were received:

- 1) the algorithm for studying the thermal field of an induction heater with a two-layer inwall was created;
- 2) the created algorithm on problems of the given class with the known solutions received in [10] is carried out was testing;
- 3) the temperature fields of the induction heater with two-layer inwall for four pairs of inwall materials using software ELCUT complex was calculated;

4) pictures of temperature fields and isotherms for the investigated cases of induction heater inwall materials, and the diagram for comparison of the average temperature of the inwall in the outer and inner layers, obtained using the ELCUT package and using an analytical approach [10] are constructed.

As a result of the conducted research, the maximum difference between the analytical and numerical solution obtained when using the ELCUT automated design system was determined – it did not exceed 3%. Thus, the expediency of using the ELCUT software complex to solve actual and practically necessary problems of industry has been proven.

LITERATURE

1. Korzhakov V. Method of Power Optimization in Geothermal Heating System by Solving Interrelated Problems of Acoustic and Magnetic Device Model / V. Korzhakov, A. Korzhakov, S. Korzhakova // 18th International Scientific Conference Engineering For Rural Development. – Latvia. – 2019, May, 22-24. – Pp. 1123-1134.
2. Gnyrya A. Hardening of Sand Cement with Different Water-Cement Ratio in Thermal Gradient Conditions / A. Gnyrya, Y. Abzaev, S. Korobkov, A. Simakova, Y. Kakushkin // Proceedings Of The International Conference On Physical Mesomechanics. Materials With Multilevel Hierarchical Structure And Intelligent Manufacturing Technology. – 2020, Oct. 05-09. – Pp. 1015-1021.
3. Lubimyi N. The Research Of The Temperature Effect On A Metal Polymer During Flat Grinding Of A Combined Metal Polymer Part / N. Lubimyi, D. Annenko, M. Chepchurov, Z. Kostoev // Australian Journal of Mechanical Engineering. – 2022. – V. 20. - № 4. – Pp. 1195-1205.
4. Nikonorov V. Thermophysical Properties Of The Soil Massif / V. Nikonorov, D. Nikonorova, G. Pikus // Magazine Of Civil Engineering. – 2019. – V. 92. - № 8. – Pp. 27-35.
5. Antonov S. Optimization Of Pruner Linear Motor Magnetic System / S. Antonov. – 20th International Scientific Conference Engineering For Rural Development. – Latvia. – 2021, May, 26-28. – Pp. 1642-1647.
6. Antonov S. Study Of Linear Electric Motor Magnetic System Of Hand-Held Electrified Tool / S. Antonov. – 20th International Scientific Conference Engineering For Rural Development. – Latvia. – 2021, May, 26-28. – Pp. 1627-1631.
7. Devederkin I. Study Of Linear Electric Motor Magnetic System Of Hand-Held Electrified Tool / I. Devederkin, G. Nikitenko, E. Konoplev, A. Edakaev. – 20th International Scientific Conference Engineering For Rural Development. – Latvia. – 2021, May, 26-28. – Pp. 1672-1678.

8. Кравець О.В. Дослідження температурного поля циліндричного індуктора за допомогою пакетів SOLIDWORKS та ELCUT / О.В.Кравець, К.Л. Духневич. – XXII Міжнародна наук.-практ. конф. „Людина і космос”. – Дніпро. – 15-17 квітня 2020. – С. 121.
9. Никитина Е.А. Исследование и разработка трехфазного индуктора для нагрева цилиндрических заготовок в поперечном магнитном поле / Е.А. Никитина. – Дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. – Самара, 2011. – 143 с.
10. Kravets O.V. Investigation of the Parameters Influence of a Cylindrical Inductor Two-Layer Inwall on its Temperature / O.V. Kravets, K.L. Dukhnevich, O.V. Spiritseva // Системні технології. – 2021. – № 6. – С. 3-13.

REFERENCES

1. Korzhakov V. Method of Power Optimization in Geothermal Heating System by Solving Interrelated Problems of Acoustic and Magnetic Device Model / V. Korzhakov, A. Korzhakov, S. Korzhakova // 18th International Scientific Conference Engineering For Rural Development. – Latvia. – 2019, May, 22-24. – Pp. 1123-1134.
2. Gnyrya A. Hardening of Sand Cement with Different Water-Cement Ratio in Thermal Gradient Conditions / A. Gnyrya, Y. Abzaev, S. Korobkov, A. Simakova, Y. Kakushkin // Proceedings Of The International Conference On Physical Mesomechanics. Materials With Multilevel Hierarchical Structure And Intelligent Manufacturing Technology. – 2020, Oct. 05-09. – Pp. 1015-1021.
3. Lubimyi N. The Research Of The Temperature Effect On A Metal Polymer During Flat Grinding Of A Combined Metal Polymer Part / N. Lubimyi, D. Annenko, M. Chepchurov, Z. Kostoev // Australian Journal of Mechanical Engineering. – 2022. – V. 20. - № 4. – Pp. 1195-1205.
4. Nikonorov V. Thermophysical Properties Of The Soil Massif / V. Nikonorov, D. Nikonorova, G. Pikus // Magazine Of Civil Engineering. – 2019. – V. 92. - № 8. – Pp. 27-35.
5. Antonov S. Optimization Of Pruner Linear Motor Magnetic System / S. Antonov. - 20th International Scientific Conference Engineering For Rural Development. – Latvia. – 2021, May, 26-28. – Pp. 1642-1647.
6. Antonov S. Study Of Linear Electric Motor Magnetic System Of Hand-Held Electrified Tool / S. Antonov. – 20th International Scientific Conference Engineering For Rural Development. – Latvia. – 2021, May, 26-28. – Pp. 1627-1631.
7. Devederkin I. Study Of Linear Electric Motor Magnetic System Of Hand-Held Electrified Tool / I. Devederkin, G. Nikitenko, E. Konoplev, A. Edakaev. – 20th Interna-

tional Scientific Conference Engineering For Rural Development. – Latvia. – 2021, May, 26-28. – Pp. 1672-1678.

8. Kravets O.V. Doslidzhennya temperaturnogo polya tsilindrichnogo induktora za dopomogoyu paketiv SOLIDWORKS ta ELCUT / O.V.Kravets, K.L. Dukhnevich. – XXII Mizhnarodna nauk.-prakt. konf. „Ludina i kosmos” – Dnipro. – 15-17 kvitnya 2020. – P. 121.

9. Nikitina E.A. Issledovanie i razrabotka trekhfaznogo induktora dlya nagreva tsilindricheskykh zagotovok v poperchnom magnitnom pole / E.A. Nikitina. – Diss. na soisk. uch. step. kand. tekhn. nauk. – Samara, 2011. – 143 p.

10. Kravets O.V. Investigation of the Parameters Influence of a Cylindrical Inductor Two-Layer Inwall on its Temperature / O.V. Kravets, K.L. Dukhnevich, O.V. Spiritseva // Systemny tekhnology. – 2021. – Number 6. – Pp. 3-13.

Received 24.01.2023.

Accepted 26.01.2023.

***Верифікація пакету автоматизованого проектування ELCUT
на прикладі задачі нагрівання індуктора з двошаровим футеруванням***

Для розв’язання диференціальних рівнянь та їх систем, що описують теплові процеси в складних конструкціях та пристроях, усе частіше застосовуються пакети автоматизованого проектування, до яких відноситься ELCUT. Однак, при цьому виникає питання достовірності отриманих результатів, відповіді на яке можна, довівши достовірність використовуваного алгоритму шляхом порівняння отриманих результатів з відомими даними інших авторів. Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить, що система ELCUT може застосовуватись до розв’язання задач з різних галузей промисловості, а саме: підвищення енергоефективності акустичного магнітного пристрою; дослідження міцних властивостей піскоцементного стрижня в умовах термоградієнту; визначення температури та правильних умов різання при плоскому шліфуванні комбінованої форми, що складається з металополімеру та металу; розробка методики розрахунку коефіцієнта тепловіддачі огорожень для ґрунтових масивів, які мають нескінченну товщину; аналіз інструментальної бази в галузі садівництва та оптимізації магнітної системи лінійного двигуна електричних секаторів; опис електричного генератора, призначеного для вироблення електроенергії магнітно-електричним способом і перетворення механічної енергії від вітряного двигуна, що обертається, та дослідження розподілу магнітних потоків на ділянці магнітопроводу генератора. Метою даної роботи є верифікування та доведення доцільності застосування пакету автоматизованого проектування ELCUT до розв’язання задачі ви-

значення теплового поля індукційного нагрівача з двошаровим футеруванням для чотирьох пар матеріалів футерівки. В роботі створено алгоритм дослідження теплового поля індукційного нагрівача з двошаровим футеруванням; проведено тестування на задачі даного класу з відомими розв'язками; за допомогою програмного комплексу ELCUT розраховано поля температур індукційного нагрівача з двошаровим футеруванням для чотирьох пар матеріалів футерування; побудовано картини полів температур та ізотерм для досліджуваних випадків матеріалів футерування індукційного нагрівача, а також діаграму порівняння середньої температури футерівки в зовнішньому та внутрішньому шарах, отриманої за допомогою пакету ELCUT та при використанні аналітичного підходу; визначено максимальну різницю між аналітичним та числовим розв'язком, отриманим при використанні системи автоматизованого проєктування ELCUT, – вона не перевищила 3%. Таким чином, доведено доцільність застосування програмного комплексу ELCUT до розв'язання актуальних та практично необхідних задач промисловості.

Духневич Ксенія Леонідівна – магістр, кафедра аерогідромеханіки та енергомасопереносу, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара.

Кравець Олена Володимирівна – канд. фіз.-мат. наук, доцент, доцент кафедри аерогідромеханіки та енергомасопереносу, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара.

Duknevich Kseniya Leonidivna – master, Department of AeroHydro Mechanics and Energy and Mass Transfer, Oles Honchar Dnipro National University.

Kravets Olena Volodymyrivna – candidate of physical and mathematical sciences, docent, docent of the Department of AeroHydro Mechanics and Energy and Mass Transfer, Oles Honchar Dnipro National University.

**LAYOUT DESIGN OF A SYNAPTIC INPUT WITH DIGITALLY CONTROLLED
WEIGHT COEFFICIENTS FOR A HARDWARE IMPLEMENTATION
OF AN ARTIFICIAL SPIKING NEURON**

Abstract. The layout design of a synaptic input with digitally controlled synaptic weight coefficients is presented as a building component of a spiking neuron hardware implementation. The design is based on Leaky Integrate-and-Fire model of an artificial spiking neuron. The compact-sized layout is obtained using EDA tool with all necessary physical verifications fulfilled at every design stage. Layout versus schematic check and the simulation of signal waveforms at ports are performed based on the extracted netlist to validate the design.

Keywords: spiking neuron, neuromorphic chip, synapse, synaptic weights, EDA tool, CMOS, VLSI.

Problem statement. Artificial intelligence systems are currently realized using computational algorithms of deep neural networks which are performed on CPU, GPU, and FPGA. But their hardware architectures cannot be optimized for massively parallel computations of such a level that allows us to simulate learning processes in the human brain. To execute massive AI algorithms using common hardware architectures we should spend enormous amount of memory, processing capacity, energy, and time. Increasing demands to the performance and efficiency of AI systems force us to design new architectural solutions for parallel computations typical for AI algorithms. The obvious solution is to go to neuromorphic computing which is directly inspired by processes in biological neural network of the human brain. Neuromorphic computer systems are best suited to perform massively parallel computing and provide the highest performance in AI applications. Neuromorphic chips, unlike conventional processors, do not emulate neural networks, but they are physically constructed as neural networks to mimic the neuro-biological architecture of the human brain. Each chip consists of thousands of interconnected simple computational elements, that functionally correspond to biological neurons. A hardware implementation of an artificial neuron can be based on the existing semiconductor

technology, and the neuromorphic chip itself can be made in the form of very large-scale integrated circuit (VLSI) [1,2].

Analysis of recent research. Neuromorphic chips can be implemented using either analog or digital circuits. Digital circuit design is generally more simple but analog neuron implementation consumes less energy and requires less area on the silicon chip. There are many papers devoted to the hardware implementations of neurons and neuron networks [3-6]. A Leaky Integrate-and-Fire model of an analog neuron has been proposed in [7,8] to design a spiking neuron at the transistor (schematic) level and to build logic gates as simple neural networks. In [9] this model has been used for the transistor level design of the analog spiking neuron with digitally controlled weight coefficients. However, a layout design of the spiking neurons has not been fulfilled in the considered papers.

Objective of the paper. This paper focuses on a layout design of a synaptic input with digitally controlled weight coefficients for the analog implementation of a spiking neuron previously proposed in [9] and designed at the transistor level. The layout design is the most time, money, and skill consuming stage of IC design flow. Each layout design of an integrated circuit is a highly creative work that cannot be satisfactory automated using CAD tools and should be considered and protected as intellectual property (IP).

Main material presentation. An artificial neuron in terms of Leaky Integrate-and-Fire model consists of several building blocks shown in Fig. 1. The most significant blocks of the artificial neuron are synaptic inputs which produce weighted input signals. Like in a real neuron of the human brain, an input signal can be amplified or attenuated corresponding to synaptic weight coefficients. To this end excitatory and inhibitory weight input circuits are provided for each synaptic input. Post-synaptic signals from all synaptic inputs are added and formed post-synaptic potential of the neuron using a leaky integrator. The capacitor of the leaky integrator determines the level of the post-synaptic potential, and the resistive load ensures that the neuron returns to the relaxed state.

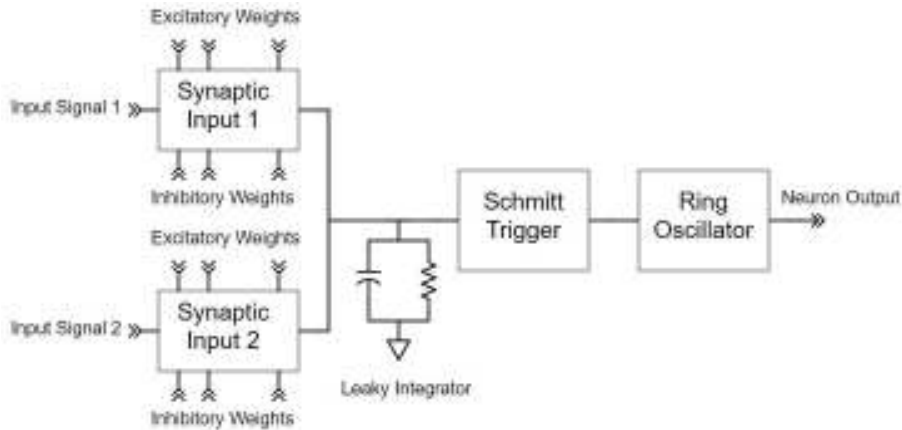


Figure 1 – Block diagram of an analog neuron with two synaptic inputs

A simple synapse realization relies on excitatory and inhibitory circuits consisted of several MOS transistors connected in parallel [7,8] as shown in Fig. 2. Voltages on the gates of these transistors regulate currents from the power source to the output and from the output to the ground. Interchanging only two voltages V_{base} and V_{offset} , where $V_{VDD} \geq V_{base} > V_{offset}$, on transistor gates in the subthreshold regime, we can obtain four variations of voltage level at the post-synaptic output node for three parallel connected MOS transistors in the excitatory circuit. In the same way four voltage levels are obtained for inhibitory circuit using $V_{GND} \leq V_{base} < V_{offset}$.

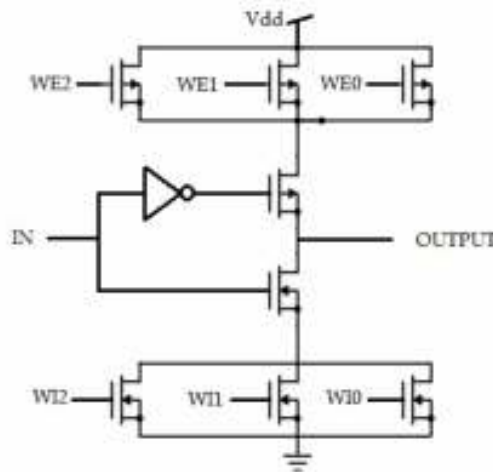


Figure 2 – Synaptic input circuit diagram [7]

To provide four voltage levels at the post-synaptic output node it is enough to use 2-bit numbers for digital weight control. Those numbers regulate the choice of one of two voltage levels applied to transistor gates acting as synaptic weight coefficients. In Fig. 3 it is shown the circuit diagram of a digital voltage control block with voltage switch blocks which provide digital control for voltage level applied to the gates [9].

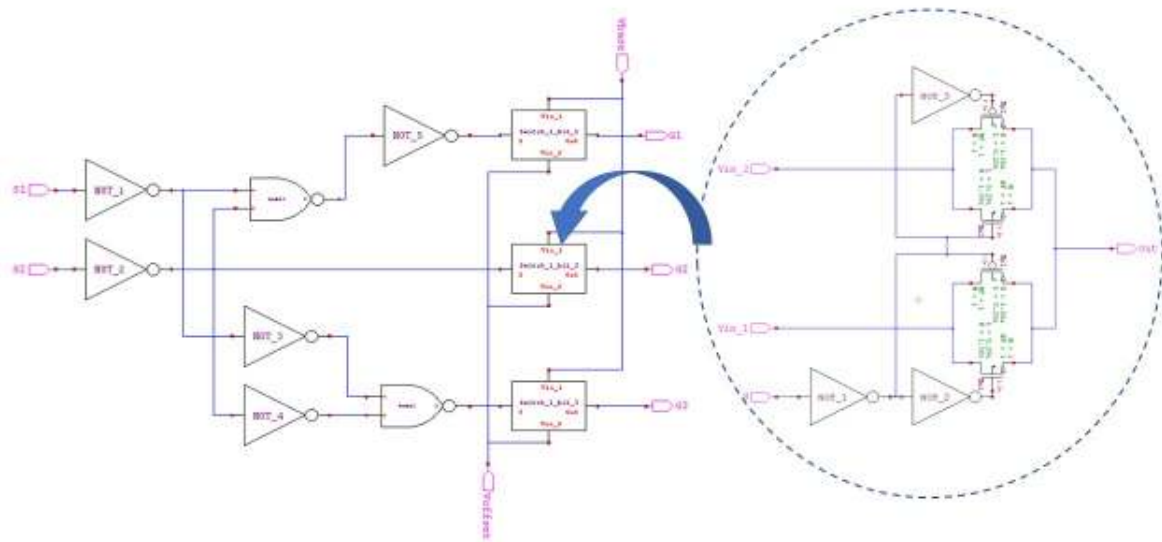


Figure 3 – Circuit diagram of a digital voltage control block

The most difficult stage of IC design flow is the layout or mask design which means the representation of an integrated circuit in terms of geometric shapes (polygons) which correspond to physical patterns of semiconductor, oxide, and metal layers required to prepare the integrated circuit for manufacture. Developing innovative layout designs is essential to produce small-sized, energy-effective digital devices.

Results of the layout design of the digital voltage control block is shown in Fig. 4. This block regulates voltages on the gates of three parallel connected MOS transistors in the excitatory or inhibitory circuit of a synaptic input.

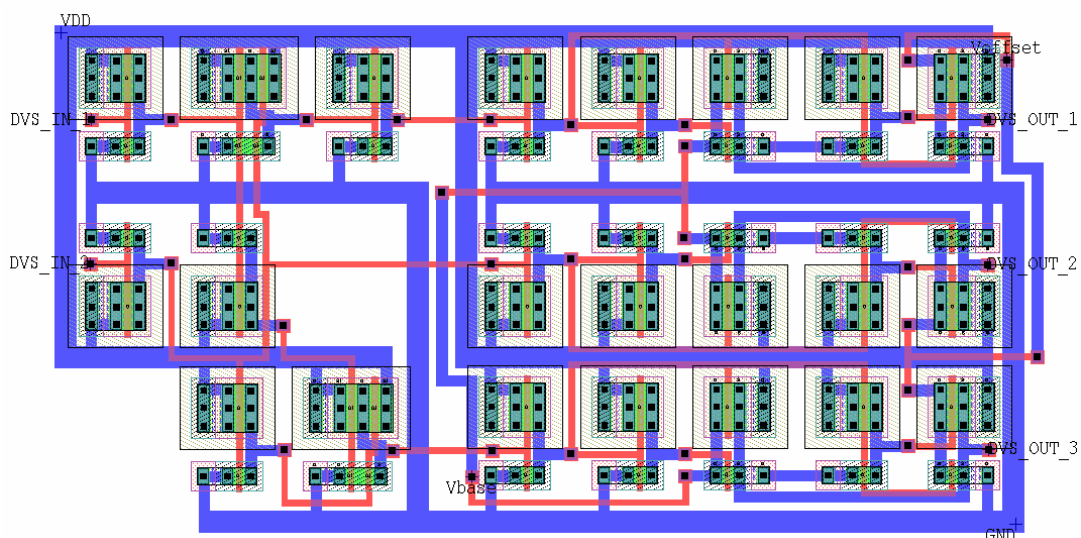


Figure 4 – Layout of the digital voltage control block

Combining this layout for excitatory and inhibitory circuit with the synaptic input circuit shown in Fig. 2 we can design the layout of a digitally controlled synaptic input. Then the topographies of two synaptic inputs are arranged and connected with each other and with power supply lines. The final layout design result for the synaptic input block is demonstrated in Fig. 5. This block weighs two pre-synaptic signals, add them and produce a post-synaptic potential of the neuron at the leaky integrator.

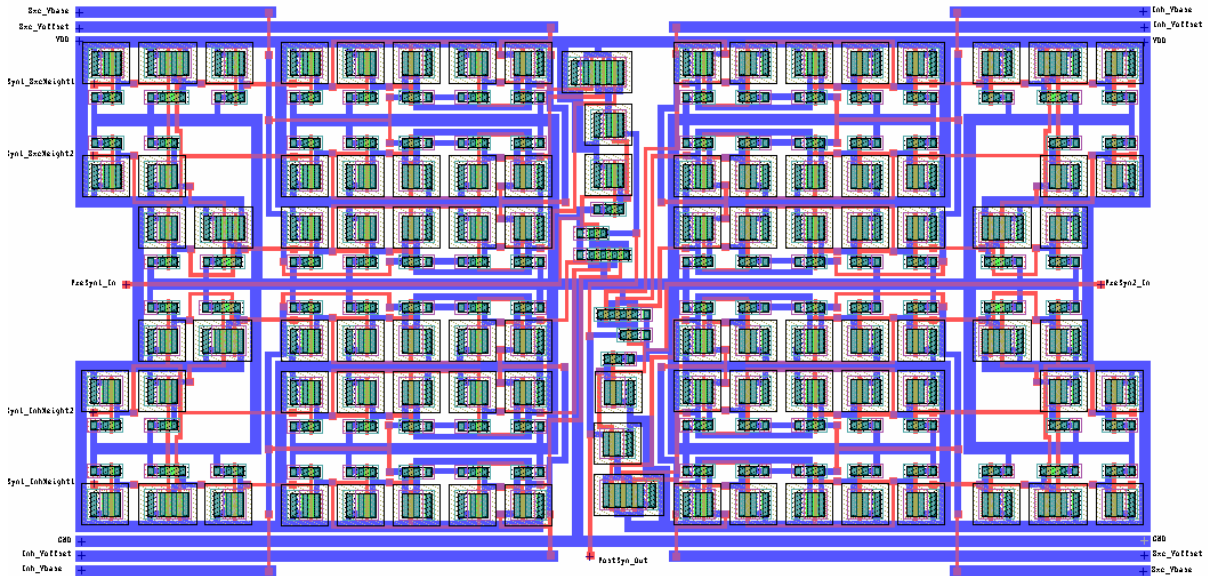


Figure 5 – Layout of the synaptic input block

At all stages of the design process physical verifications have been fulfilled in terms of design rule checking, electrical rule checking and parasitic extraction. The netlist has been extracted from the layout and layout versus schematic (LVS) check has been successfully performed. The netlist with the leaky integrator added has been used to obtain waveforms of signals at input and output ports and the results found a complete match with those demonstrated in [9] for the schematic level design.

Conclusions. The layout design of the digitally controlled synaptic input of an artificial neuron is carried out to reach as compact topography as possible fully satisfied to design rules accepted for a chosen technology level. Layout versus schematic check and all necessary physical verifications has been successfully performed. Waveforms of signals at ports have been simulated at every design stage and compared to those obtained at the schematic level to prove the correctness of the design.

REFERENCES

1. Indiveri G. Neuromorphic silicon neuron circuits / G. Indiveri, B. Linares-Barranco, T.J.Hamilton et al. // Neuromorphic silicon neuron circuits. Frontiers in neuroscience, 2011. – Vol. 5. Art. 73. – P. 1-23.
2. Sun J. CMOS and memristor technologies for neuromorphic computing applications / J.Sun // Technical Report No. UCB/EECS-2015-219, 2015. – [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2015/EECS-2015-219.html>.
3. Joubert A. Hardware spiking neurons design: analog or digital?/ A. Joubert, B. Belhadj, O. Temam, R. Héliot // International Joint Conference on Neural Networks, 2012. – P. 1-5.
4. Yammenavar B.D. Design and analog VLSI implementation of artificial neural network / B.D.Yammenavar, V.R.Gurunaik, R.N.Bevinagidad, V.U.Gandage // International Journal of Artificial Intelligence & Applications, 2011 – Vol. 2, No. 3. – P. 96-109.
5. Forssell M. Hardware Implementation of Artificial Neural Networks / M. Forssell // [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://users.ece.cmu.edu/~pgrover/teaching/files/NeuromorphicComputing.pdf>.
6. Shinde J.R. VLSI implementation of neural network / J.R. Shinde, S. Salankar // Current Trends in Techn. and Sci., 2015. – Vol. 4, No. 3. – P. 515-524.
7. Yellamraju S. Design of various logic gates in neural networks / S. Yellamraju, S. Kumari, S. Girolkar, S. Chourasia et al. //Annual IEEE India Conference, 2013.–P.1-5.
8. Liu B. Implementation of pulsed neural networks in CMOS VLSI technology / B. Liu, S. Konduri, R. Minnich, J. Frenzel // Proceedings of the 4th WSEAS International Conference on Signal Processing, Robotics and Automation, 2005.–Art.No.20.–P.1-8.
9. Gnilenko A.B. Hardware implementation design of a spiking neuron / A.B. Gnilenko // System Technology. – 2021. – Vol. 132, No. 1. – P. 116-123.

Received 25.01.2023.

Accepted 27.01.2023.

Проектування топографії синаптичного входу з цифровим керуванням ваговими коефіцієнтами для апаратної реалізації штучного імпульсного нейрона

Сучасні системи штучного інтелекту створюються з використанням обчислювальних алгоритмів глибоких нейронних мереж, що виконуються на центральних або графічних процесорах. Але такі апаратні засоби не оптимізовані для виконання паралельних обчислень за нейромережевими алгоритмами на рівні, достатньому для ефективного моделювання процесів навчання в людському мозку.

Рішенням цієї проблеми є перехід до нейроморфних обчислень, які безпосередньо надихаються процесами в біологічній нейронній мережі. Нейроморфний чіп, на відміну від звичайного процесора, складається з тисяч взаємопов'язаних простих обчислювальних елементів, які функціонально відповідають біологічним нейронам.

Метою роботи є проектування топографії синаптичного входу нейрона з цифровим керуванням ваговими коефіцієнтами, який є складовим елементом апаратної реалізації штучного імпульсного нейрона, спроектованого раніше на транзисторному рівні. При проектуванні використовувалась LIF (Leaky Integrate-and-Fire) модель штучного імпульсного нейрона. За допомогою системи автоматизованого проектування інтегральних схем створено компактну топографію синаптичного входу з використанням на кожному етапі проектування всіх належних методів фізичної верифікації. Для підтвердження достовірності проектування виконана перевірка відповідності топографічного та схематичного проектів на основі порівняння списків з'єднань та порівняння часових діаграм сигналів у портах.

Гниленко Олексій Борисович – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри електронних обчислювальних машин, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара.

Gnilenko Alexey Borisovich – candidate of science in physics and mathematics, associate professor, associate professor of the department of Electronic Computing Machinery, Oles Honchar Dnipro National University.

**ON APPLICATION OF FRAME-BASED APPROACH
FOR INFORMATION SYSTEMS DEVELOPMENT**

Annotation. The work is devoted to specific of frame-based approach application for information systems development. Three-layered generator provided to make the process of multi-layered information systems development more effective and robust. The results of its application in the context of building more flexible and robust, testable and maintainable software are also discussed.

Key words: frame-based, software development, code-generator.

Importance and relevance of the research topic. Decade-to-decade and even year-to-year the complexity of software keeps growing. Today's business requires more than just an information system that responds the immediate needs. It requires more flexible and agile, maintainable, and testable, robust and scalable IT infrastructure able to meet the challenges of the business. How to design, realize and maintain such systems? What principles, architecture and patterns should be used by the developers to tackle that overwhelming complexity? These questions are stated before developers, managers, scientists.

Multi-layered and service-oriented [4] software architectures, domain-driven design approach with its modifications [1-3], SOLID principles [5], TDD [6] and BDD [7] approaches can be seen as an answer to the question mentioned above. But the implementing of such approaches results in dozens of huge projects with hundreds and even thousands of classes and sophisticated testing infrastructure necessary to support continuous refactoring of the system. It complicates the process of development and maintenance, increases the level of mental load on personal.

To resolve the problem of software complexity, some authors propose to bet on the quality of the development process rather than on individuals and technologies. According to [8] the quality of the product depends on the quality of the process. The process can be defined as a set of defined, structured activities that will accomplish a specific organizational goal. The improvement of the process is based on applying of specific activities directed to identify, standardize and implement best practices,

project's lessons learned in the organization. From this point of view, the standards become the assets of the organization, which build a foundation for strategy to achieve the robustness of the process. Making the solutions standardized leads the organization to the condition when an incoming requirement (functional, system etc.) causes the retrieval of a set of typical tasks and solutions from, for example, a kind of ontology (e. g. terminological knowledge base). One of the issues to implement that approach is the dependency of the solution on a variety of details linked with the programming languages, technologies and frameworks which are used to realize the system components. These dependencies block the port of the solution to another platform, languages and technologies and make the solution difficult to understand, even when the code is well structured and self-documenting.

One way to overcome such problems is to represent the solution as a set of models going down from more abstract business-oriented models towards more detailed and platform-specific ones. It is the way of model-driven architecture (MDA) provided by OMG (Object Management Group) consortium. The key ideas of the approach are as follows: the description of the system by the models on different levels of abstraction connected to phases of a software development cycle; the producing of the low-level models from the high-level ones through a set of transformations leading by the defined transformation rules. According to MDA there are four levels of system description: computation independent model (CIM), also known as domain model, used to define business processes of the organization for which the information system (IS) will be developed; platform independent model (PIM) defines the system architecture and specification can be implemented in various platforms; platform specific model (PSM) offers detailed technical specification of the system and can be transformed to implementation model (code) according to transformation rules automatically or semi-automatically; implementation model (IM) – a set of artifacts represented using programming languages define the information needed to create IS. The main problems of MDA appeared in practice are as follows: the lack of CIM formal description; accordingly, inability to build effective CIM-PIM transformation; behavior description and the completeness of the generated code. Creation of CIM level is not unified but it is assumed that this level is represented by the model of business processes. For example, in [9] authors suggest using of DFD (data-flow diagrams) as the language to describe CIM model. Evaluation summary of the methods described in [10].

Taking in mind that the process of information system development is, in fact, the process of transformation of customer-level requirements and the quality attrib-

utes in a set of interacting software components structured and defined in accordance with the architecture, principles and technologies, operating in the operating environment, we face two main questions:

How the requirements and solution specific should be defined in order to be effectively transformed (regarding the previous experience) into a set of artifacts, helping developers to realize software components as quickly as possible.

What the origin is and how to build the transformation mechanism.

To answer the first question, we should define the minimal description able to represent all necessary information about the domain to build an effective transformation. Next, we should define what are the artifacts could help us to build the project rapidly. And last, how we can effectively reuse the experience acquired in previous projects and how to build the transformation engine (e.g., the unit responsible for transformation of the model into the set of artifacts).

Task definition. The results of previous research were published in [11-13]. The provided minimal description is based on domain description using high-level language and then can be transformed into a set of artifacts. For this purpose, we propose to use an extended frame-based language described in detail in [12]. This language can describe domain in a full, platform independent manner, considering all necessary information that could be effectively used by the transformation mechanism for system construction and maintenance. The expressiveness of the language is based on the descriptive power of facets used by both frame and slot structures. The model is used as a foundation for: component generation, allowing to speed up the development process; run-time model interpretation, allowing to exclude the necessity to build and test the classes.

We can think of the frame as a set of projections, some of which represent more abstract information that can be easily understood by the experts, some form more detailed view needed for generation of more complete and valuable assets. The frame described in that way as of the complete synthesis-oriented structure able to incorporate all necessary knowledge needed to produce the solution.

In general, the set of artifacts which could be acquired may include not only the set of fully/partially generated components (classes and interfaces, database scheme etc.), and tests, but also guidelines and recommendations, ordered set of prioritized and estimated tasks, probable risks, sketches of iteration plans and other process-oriented information [13].

How to construct the transformation engine, which is responsible for artifacts acquiring, how to build it rather flexible to be quickly adapted to new architectures and technologies. These are the questions the presented work is devoted to.

Main part. The experience of previous projects cannot be independent of the platform and technologies they use. Besides, as mentioned above, they relate to the selected architecture and technologies. Lessons learned bring a set of effective practices that can be generalized and standardized in the form of templates which can be used as a foundation by the transformation engine, a part of the system which is responsible for frame-based model interpretation. The process of training the engine comprises of creating of the transformation templates, creating or adaptation of the engine's logic to transform the model into artifacts using the templates, improving the descriptive power of the language which is used to describe the system (as a rule it considers adding new facets).

Let us look at the specific features of the frame-based language used to describe the system.

Frame is a data structure that is usually used to represent a single object or a class of related objects, or a general concept. Compared to the object-oriented approach, it is also the same as a class. There can be relations between frames as well as between classes in OOP: inheritance, aggregations, associations.

Slot is a part of a frame that describes an attribute or property of an object represented by the frame. It can also describe the relationship between its own frame and another frame. In addition to storing attribute values, slots can also have restrictions on allowed values. In comparison to the object-oriented approach, slots can be thought of as fields (structural slots), properties, and methods (functional slots).

Facet is a part of slot (for example, part of property description). It allows slots to define multiple attributes in addition to their value, such as data type, limits on allowed values. It is the main point where frame-based approach differs from the object-oriented approach. In modern languages, there exists a mechanism of attributes-annotations which is used to specify additional information about a property or a method of a class. But attributes-annotations are not related to classical OOP, they are related to metaprogramming, implementation of reflection mechanisms. But in case of frame-based approach, it is an organic and powerful mechanism used to represent the knowledge about entity or event in a compact form.

Simply put, a frame describes knowledge about a real-world object or event-scenario, a slot is a frame component, and a slot edge is a slot component. It is im-

portant to note that as the slot notion is not limited by the idea of attributes and methods representation, so a facet is not limited.

Thus, we can assume that due to the introduction of faces and the absence of restrictions on slots and facets, it is possible to obtain full and coherent description of the features of the system component becomes possible, and, accordingly, provide generation of software components with high-level of completeness.

The current variant of the frame-based language metamodel is shown in Fig. 1.

As we can see the language supports multiple inheritance, slots are divided into property slots, function slots (behavioral slots) and attribute slots (used to provide additional information, for example, the name package, assembly) without any restrictions on facets. The main difference from the classical frame-based model is the introduction of an additional unrestricted set of facets to the frame description (in the classic version, this task could be solved by the introduction of additional slot or slots).

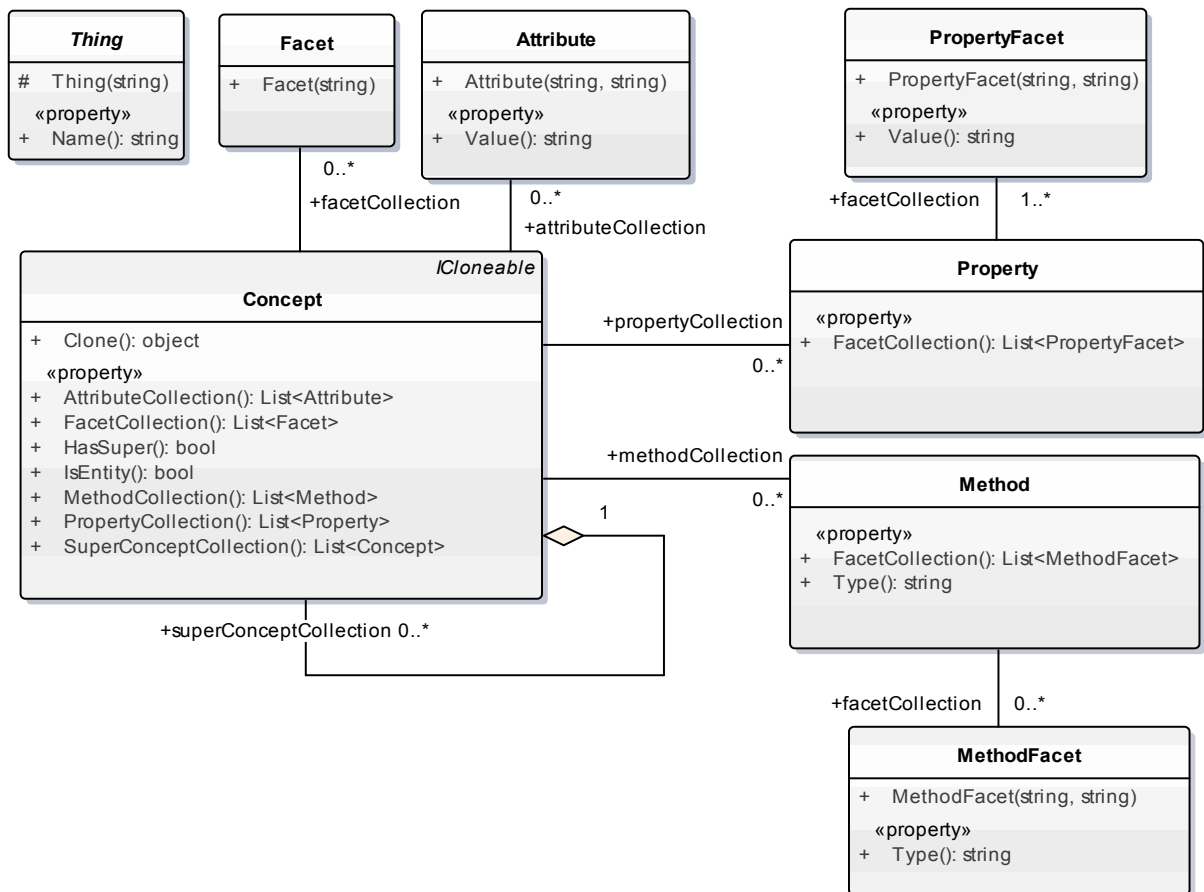


Figure 1 - Main concepts of XCore frame-based language

The Grammar in Antlr4 notation used to represent XCore script-language used is shown in Listing 1.

Listing 1

```
compileUnit : concept + EOF      ;
concept
  : ID (':' superconcept*)? ('facets' ':' facet*)? '{' prop-
erty* attribute* method*'}';
superconcept  : ID | (',' ID);
facet        : ID | (',' ID);
property     : ID ':' ID (',' parameters)* ';' ;
parameters: ID '=' value;
attribute: '(' ID ')' ATTRIBUTEVALUE ';' ;
value: number | ID;
number: MINUS? DIGIT (DIGIT)*;
method: ID ':' ID (',' method_parameters)* ';' ;
method_parameters: ID ID;

ID : (IDSYMBOL | DIGIT) (IDSYMBOL)*;
ATTRIBUTEVALUE: STRING | (STRING '.' STRING)*;
IDSYMBOL: LETTER | UNDERSCORE | MINUS | SquareBrackets ;
LETTER  : ('a'..'z') | ('A'..'Z');
STRING  : [a-zA-Z]+;
MINUS: '-';
SquareBrackets: '[' | ']';
DIGIT: ('0' .. '9');
UNDERSCORE: '_';
WS: [ \r \n \t ] + -> channel (HIDDEN);
```

An example of entities description using the script-language is shown in Listing 2.

Listing 2

```
Identifiable facets: interface
{
  Id:int;
  (ns) Common.Domain.Contract;
  (asm) Common.Domain.Contract;
}

ThingBase : Identifiable facets: abstract
{
```


«Системні технології» 1 (144) 2023 «System technologies»

```
Id:int, nrmin = 1, pk = 1 ;
```

```
(ns) Common.Domain;  
(asm) Common.Domain;
```

```
}
```

```
RegisterableEntityBase : ThingBase facets: abstract
```

```
{  
  IsActive:bool, nrmin = 1, defval = 1, needsProc = 1, in=1;  
  CreateDateTime:DateTime, nrmin = 1, defval = now;  
  FinishDateTime:DateTime, needsProc = 1;  
  ModifyTime:DateTime, nrmin = 1, defval = now;
```

```
(ns) Common.Domain;  
(asm) Common.Domain;
```

```
}
```

```
AddressableEntityBase : RegisterableEntityBase facets: abstract
```

```
{  
  Address:string, nrmin = 1, needsProc = 1, validate=1,  
    needsProc = 1, in=1;  
  Phone:string, nrmin = 1, validate=1, needsProc = 1, in=1;  
  Email:string, nrmin = 1, validate=1, needsProc = 1, in=1;
```

```
(ns) Common.Domain;  
(asm) Common.Domain;
```

```
}
```

```
Delivery: RegisterableEntityBase facets: entity-dto
```

```
{  
  ProviderId:int, nrmin = 1,needsGetCollection=1, check=1,  
    needsProc = 1;  
  Description:string, validate=1, in=1, needsProc = 1,  
    needsGet = 1;  
  DeliverStatusId: int, nrmin = 1, defval = 1, needsProc = 1,  
    check=1, in=1;
```

```
(ns) LMS.Core.Domain;  
(asm) LMS.Core.Domain;
```

```
}
```

To transform the description written in the XCore language into metalanguage objects we can use Antlr library (Fig. 1).

After that, the obtained model can be mapped to several specific representations which, in accordance with the MDA approach, can be associated with the PIM (platform independent model) level of system description. An example of a DSL that describes the application area is shown in Fig. 2. An important feature is that the class to which the Concept of the frame representation was mapped has a reference to the frame of which it was mapped.

The way of the transformation of the script into software components is shown in Fig. 3.

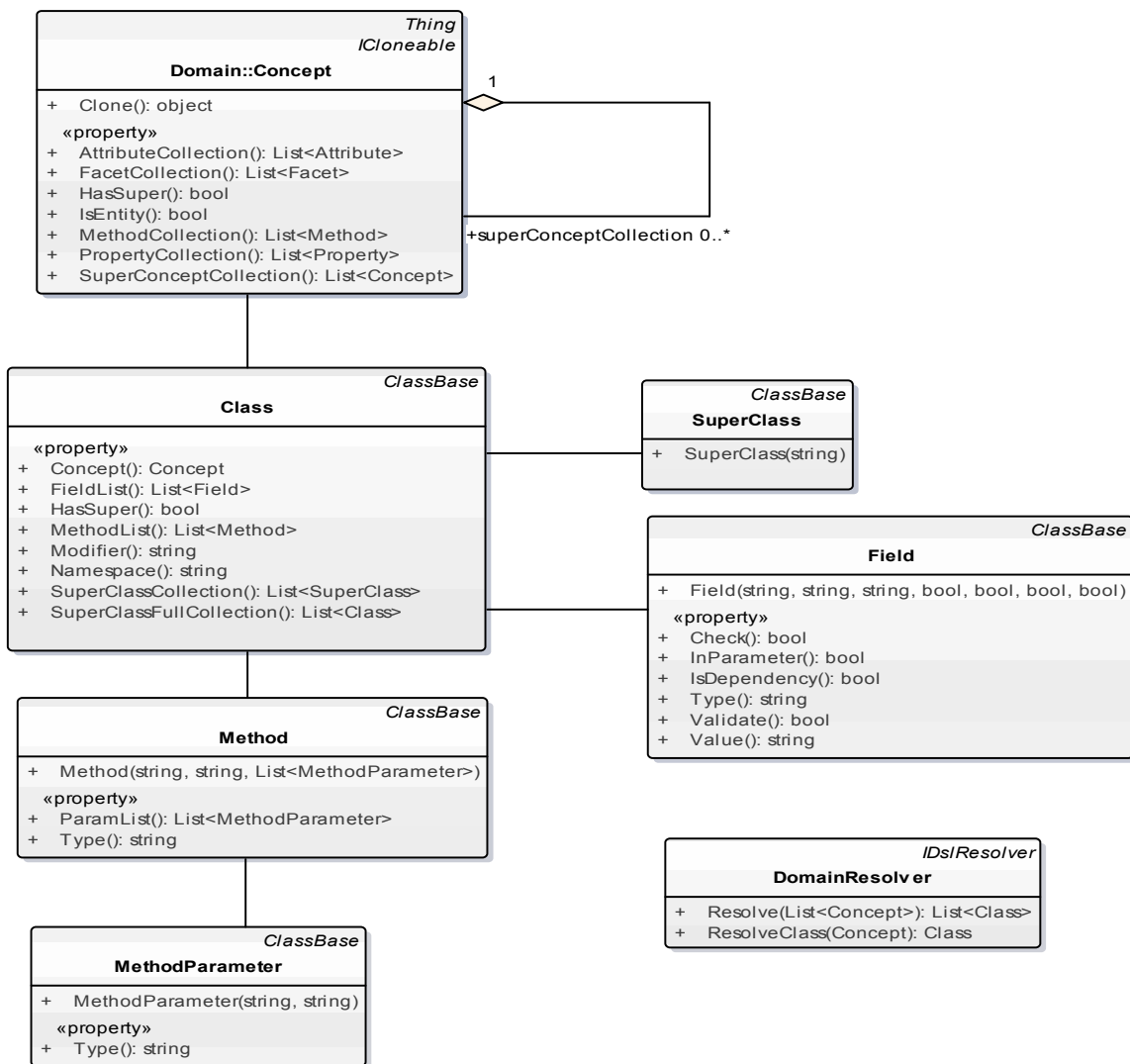


Figure 2 - The structure of DSL for application domain

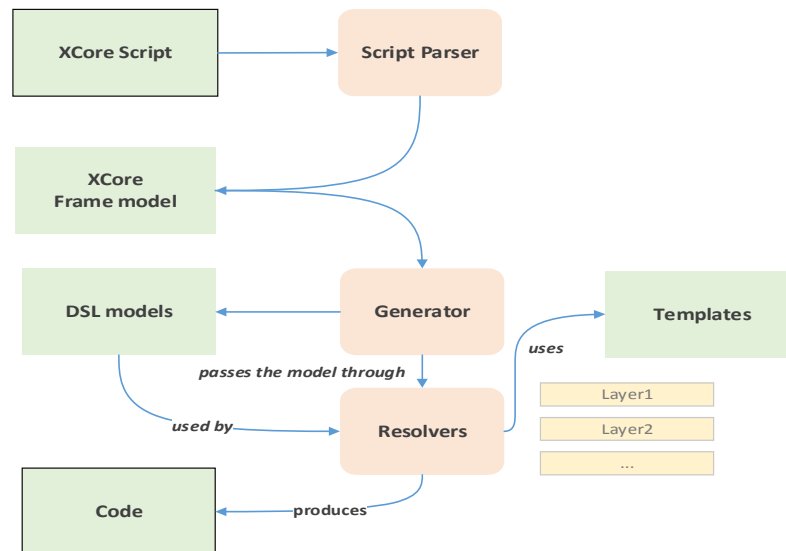


Figure 3 - The way of the transformation of the script into software components

As we can see, DSL models can be then transformed into the code using a set of resolvers which are responsible for DSL model interpretation. The result of interpretation can be associated with the PSM (platform specific model) level of system description according to the MDA approach. Since the components of the application are different from each other, separate Resolvers modules are used according to the parts. For example, C# and MySQL code use CSharpResolver and MySqlResolver respectively. Some of the resolvers are shown in Fig. 4.

The transformation of the model into code is based on templates. For example, C# generators have a template for individual class attributes and a template for the class as a whole. SQL generators have templates for defining tables and procedures, etc.

An example of the template responsible for the C# class representation is shown in Listing 3.

```

    ▶ [C#] XCore.Transform.CSharp
    ▶ [C#] XCore.Transform.Generator
    ▶ [C#] XCore.Transform.Java
    ▶ [C#] XCore.Transform.Javafx
    ▶ [C#] XCore.Transform.MSSQL
    ▶ [C#] XCore.Transform.MySql
    ▶ [C#] XCore.Transform.NHibernate
    ▶ [C#] XCore.Transform.Service
  
```

Figure 4 - The structure of generator unit

Listing 3

```
using Common.Domain;

namespace [namespace]
{ [using]
  /// <summary>
  /// The [ClassName]
  /// </summary>
  public[modifier] class [ClassName] [: Heirs]
  {
    #region Fields

    [Fields]
    #endregion

    public [ClassName] () {}

    #region Methods

    [Methods]
    #endregion
  }
}
```

Experiment. In order to estimate the effectiveness of the provided approach, the following experiment was set up.

Firstly, the typical project should be selected, and architecture and technologies should be defined, governing by the typical system requirements. We made that in accordance with the approach described in [14]. Briefly, we assume that the development should be guided by SOLID principles and flexible service-oriented architecture. After the architecture was defined typical functions was selected and implemented without the help of the frame-based approach and code generation (but taking in mind its further application, because the structure of the solution and coding style should be fit to effective application of the generator).

After the realization of typical functions and refactoring aimed to achieve the desired level of standardization, we started to train the generator to acquire the results we get earlier but without manual coding. At this point it should be evaluated which templates, or even resolvers (generator components responsible for converting the model into code) should be created or modified.

After the generator's training - which consists in creating the necessary changes, usually at the level of resolvers and templates, and obtaining positive results, we should try to build new system components for new functions similar to those that have been already implemented. If there is a need of the generated code modification, it is necessary to evaluate the time and effort spent on this modification. And after that, add the modifications to the templates to increase the quality of the generated code.

After the implementation of all functions, we should evaluate the effectiveness of the provided approach comparing the potential time and efforts expenses which would be required for solving the problem in the conventional way (without code generation) to the expenses with the use of the provided generator, considering the expenses spent on the generator's tuning etc.

Features of the test project. The project should be connected with the real application area, but it should be rather simple to avoid the complications connected with sophisticated business rules. Based on these principles, we have selected a typical coursework task that first year Master's Degree students are expected to realize for the discipline "Robustness of Information Technologies".

The set of functional requirements is shown in Fig. 5.

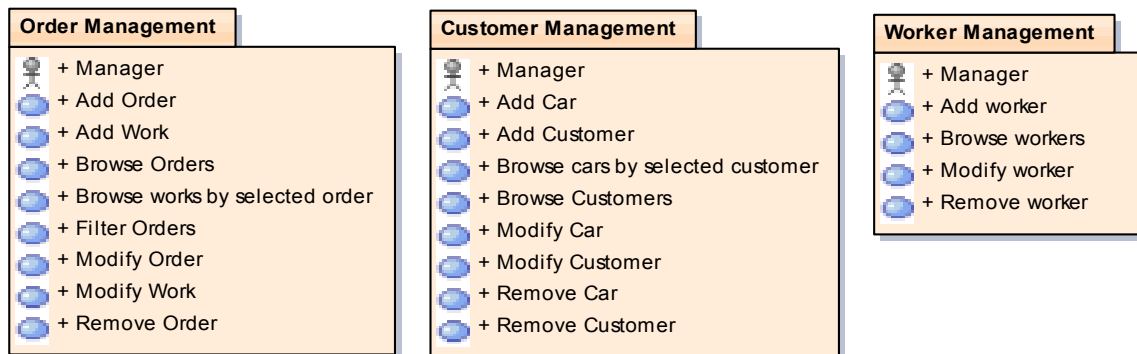


Figure 5 - Test project use cases

Analysis of the obtained results. Thus, in the case of implementation of the testing project with a new architecture (meaning the number of layers, and typical patterns and components used within these layers) and a new technology stack, the acquired results can be described as follows.

1. To achieve the maximum effectiveness we need to thoroughly analyze the project in order to discover the subset of the typical functions which would be considered as the foundation of the whole set of functions to be implemented. In the case of the testing project these are the functions related to orders and works (see

the interval from the start to “remove orders and works” use-cases at the “Function-time” chart shown in Fig. 6).

2. During the implementation of the functions, it is necessary to train the generator. In our opinion, an important point here is the synergy of the architecture and generator. That means that the generator relies on the prepared infrastructure consisting of basic and auxiliary classes that significantly simplify the construction of new code and, accordingly, its generation, because the generation relies on standardization of typical tasks' solutions. In our case, the peak time spent on training the generator fell in the middle of the implementation of the work order functions (Fig. 7). Tuning of the generator was carried out mainly due to the addition of new transformation templates, and the construction and improvement of model transformers in the code. Thus, platform independent layers of the system (frame representation and domain-specific languages) were not modified.

3. During new functions implementation with the use of the generator (see Fig. 6 starting with “browse customers and cars”), the generator's tuning is mostly connected with the modification of the existing templates and transformers. As we can see in Fig. 6, the effect achieved after the implementation of the first functions using the generator.

4. During the modification of already existing components, the use of the generator also proved to be effective (unfortunately, we cannot provide an adequate comparison of the time and effort required in the case of modification with and without the use of the generator). Updating the system is always associated with a greater effort on the part of the developer than with development, because it is necessary to focus more attention on the exclusion of damage to ready-made functions, which can be partially implemented thanks to the creation of tests (for the development of which, by the way, developers also need to spend a time and effort). Exclusion of syntactic and semantic errors, which usually occur during such modifications, with the help of a generator significantly reduces not only the time, but also the effort (mental stress) spent on solving problems.

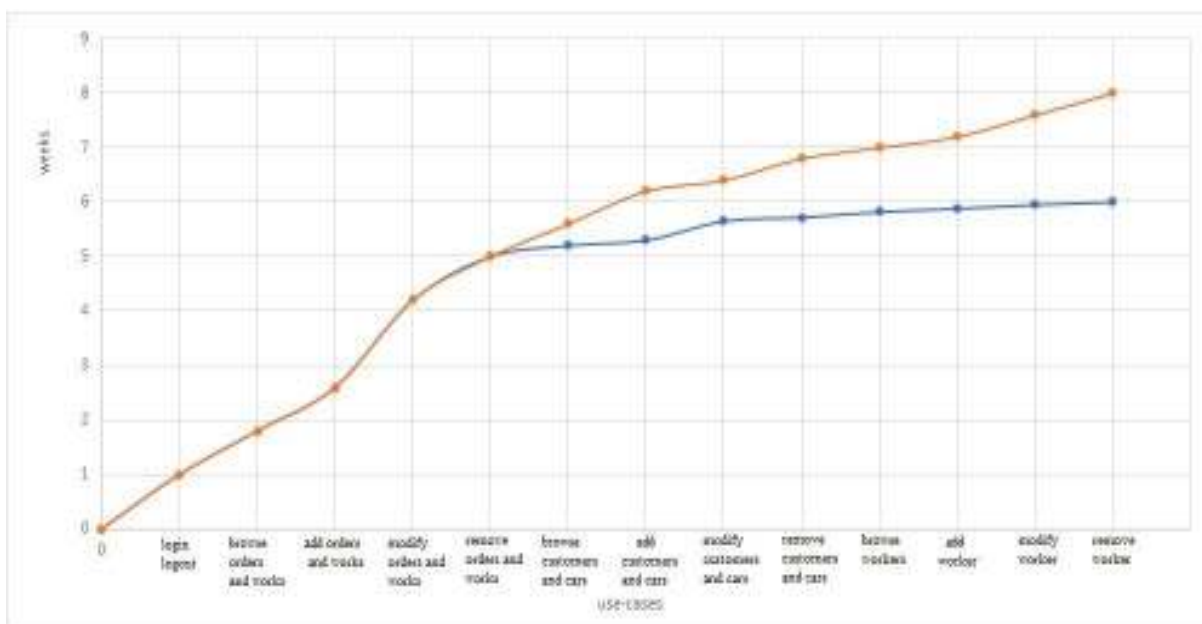


Figure 6 - "Function-time" chart

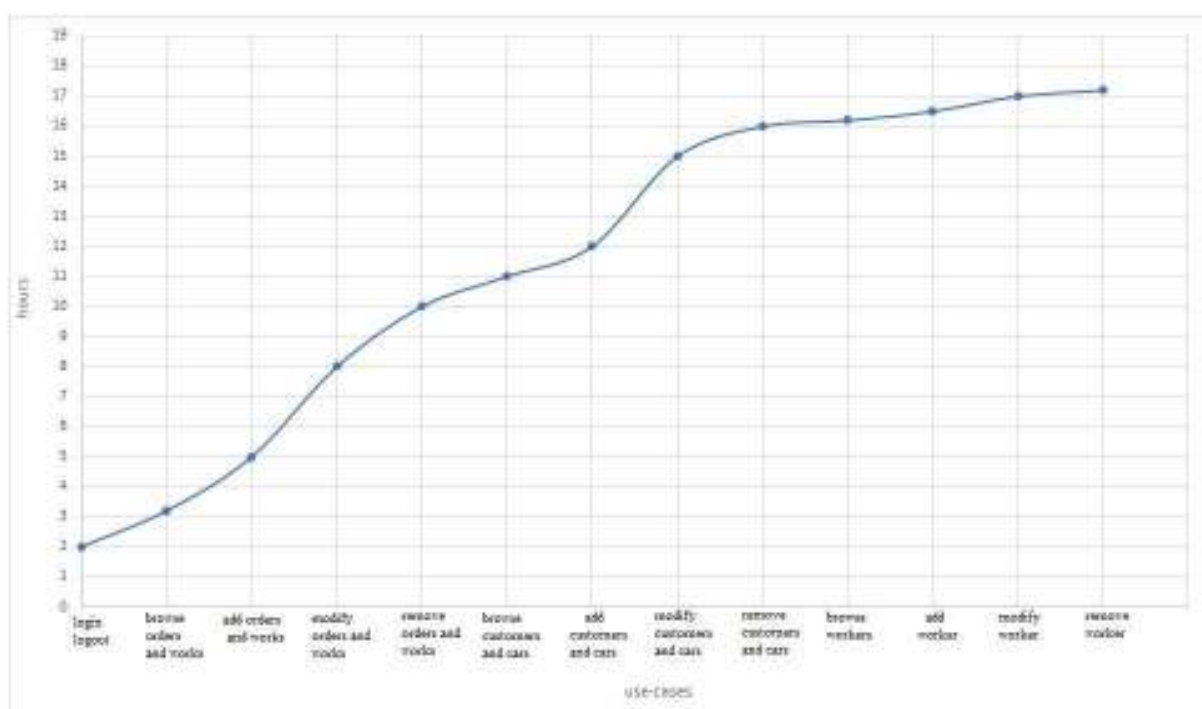


Figure 7 - "Generator tuning - time" chart

As for the estimating specific, it should be noted that the hypothetical time required to realize the project without the generator was calculated based on the minimum time required to develop functions without the use of the generator. Here we did not consider the time and effort spent on switching the focus of the developer's attention from one context to another (context means the connection with the specific of technologies used and features of application domain), errors which

appear in result of creating new code by copying existing code, time required for debugging, time required for formatting, commenting classes and functions, etc. We considered only the time required to create the necessary components (creating new files, writing code).

Summary. Thus, the use of the frame-based approach and the generator had a significant effect in the process of developing the information system. Due to the fact that the generator is built on a frame model, it makes it possible to fully describe and generate the necessary components and to obtain a more complete code.

In addition to this, the effectiveness of the generator has been proven not only during the system development, but also during its maintenance. As mentioned above, the generator is configured for a specific architecture, and in this regard, the architecture can help or hinder the use of the generator. Due to the fact that the system was built using a flexible architecture, the use of the generator was expedient.

REFERENCES

1. Eric Evans 2003 - Domain-Driven Design - Tackling Complexity in the Heart of Software. Addison-Wesley Professional, 2003. 560 p.
2. Vaughn Vernon. Implementing Domain-Driven Design. Addison-Wesley Professional; 1st edition. 2013. 656 p.
3. Robert C. Martin. Clean Architecture. A Craftsman's Guide to Software Structure and Design. 2018. Pearson, 1st edition. 432 p.
4. Thomas Erl. Service-Oriented Architecture: Concepts, Technology, and Design. Prentice Hall; 2016.
5. Martin C. Robert Agile Principles, Patterns, and Practices in C#. / C. Robert Martin, Micah Martin // Prentice Hall. – 2006. – 768 p.
6. Beck K. Test-Driven Development By Example. / K. Beck – Addison-Wesley. – 2002. – 240 p.
7. North Dan. Introducing BDD. [Електронний ресурс]. Режим доступа: <http://dannorth.net/introducing-bdd/> 2006 — Загл. с экрана.
8. Mary Beth Chrissis. CMMI® for Development Guidelines for Process Integration and Product Improvement, Addison-Wesley Professional; 3 edition (March 20, 2011). – 688 p.
9. M. Kardoš, and M. Drozdová, “Analytical method of CIM to PIM transformation in model driven architecture (MDA)”, JIOS, vol. 34, no. 1, (2010), pp. 89-99
10. A.Kriouile, T. Gadi, Y. Balouki, CIM to PIM Transformation: A criteria Based Evaluation, International Journal Computer Technology & Applications, vol. 4, no. 4, pp. 616-625, 2013.

11. Литвинов О.А., Грузін Д.Л., Гурєєв П.П. Особливості автоматизації розробки функцій в багат шарових інформаційних системах. // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(102). – Дніпро, 2016. – С.- 36-41
12. Litvinov A.A. On a frame-based language used for software modelling. // System technologies. – N.1(108). – Dnipro, 2017. – 55-63 p.
13. Litvinov A., S. Trotsenko, D. Ponomarenko, A. Sazonova. On improving the process of multi-layered information system development. II Всеукраїнська науково-практична конференція «ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ СУЧАСНОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ, ІНФОРМАЦІЙНИХ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ» MEICS-2017.
14. Litvinov A. A., Gerasimov V. V., Kovalchuk D. S., Krokhin V. V. On basic principles of minimum valuable information system development and preparation of professional software developers. System technologies. – N.1(120). – Dnipro, 2019. – 107-114 p.

Received 31.01.2023.

Accepted 08.02.2023.

Використання фреймового підходу для розробки інформаційних систем

Робота присвячена специфіці застосування фреймового підходу для розробки інформаційних систем. Даний підхід базується на описі прикладної області за допомогою скриптів на фреймовій мові, особливості якої детально описані в [12]. Важливою рисою такого опису є застосування концепції граней. Так, фрейм описує знання про об'єкт реального світу або сценарій події, слот є складовою частиною фрейму, а грань слота є компонентом слоту. При цьому у фреймовому підході як на слоти, так і на грані немає обмежень, які існують у класичному об'єктно-орієнтованому підході. Можна сказати, що завдяки саме введенню граней і відсутності обмежень на слоти стає можливим отримати повний і зв'язний опис усіх особливостей та рис об'єкту прикладної області і, відповідно, забезпечити генерацію програмних компонентів з високим рівнем повноти коду. Результати попередніх досліджень опубліковано в роботах [11-13]. Дана робота присвячена питанню впровадження та оцінці використання підходу для побудови інформаційних систем.

В роботі запропонована модель системи, що складається з трьох шарів: загальної моделі, у ролі якої вступає описання домену на фреймовій мові; декількох домено-специфічних моделей в які трансформується фреймова модель; платформо-специфічні перетворювачі, що відповідають за перетворення домено-специфічних моделей у відповідні програмні компоненти. При цьому для трансформації домено-специфічних моделей у відповідні програмні компоненти викорис-

товуються шаблони та програмні модулі, задачею яких є відображення моделі у код згідно шаблонам. Шаблони і компоненти, що відповідають за перетворення шаблонів у код, формуються на базі досвіду практичної розробки та залежать від архітектури та технологій. Можна казати, що процес навчання генератора програмних компонентів у даній системі складається в побудові та модифікації шаблонів та логіки трансформації.

У роботі розглядаються результати проведеного експерименту побудови навчального проекту (рівень магістерської курсової роботи) з застосуванням запропонованого підходу. Експеримент складався з двох фаз: вибір та реалізація типових функцій з навчанням генератора; реалізація решти функцій з застосуванням генератора.

В ході проведення експерименту було отримано наступні результати. Ефективність генератора залежить від структури проекту, стандартизації компонентів, принципів побудови (таких як SOLID). Тобто повинна існувати синергія між архітектурою проекту та генератором. З цього приводу дуже критичними є перші кроки, що складаються у виборі та реалізації типових функцій на яких буде навчатися генератор. Якщо функції для навчання вибрані вірно і далі не буде значних змін в архітектурі – час потрібний для налагодження генератора після його навчання буде мінімальний, реалізація нових функцій та адаптація вже існуючої системи під зміну вимог буде проводитися дуже швидко. У нашому випадку при налаштуванні генератора на нову архітектуру за найгрубішими оцінками випередження розробки на два тижні, при 17 годинах часу витрачених на навчання та налаштування генератора.

Литвинов Олександр Анатолійович - кандидат технічних наук, доцент кафедри електронних обчислювальних машин Дніпровського національного університету ім. О. Гончара.

Литвинов Михайло Олександрович – студент-магістр кафедри електронних обчислювальних машин Дніпровського національного університету ім. О. Гончара.

Lytvynov Oleksandr Anatoliyovych - candidate of technical Sciences, associate professor of the department of electronic computing machines of the Oles Honchar Dnipro National University.

Lytvynov Mykhailo Oleksandrovych – second year Master’s Degree student of the department of electronic computing machines of the Oles Honchar Dnipro National University.

Л.Г. Ахметшина, С.К. Митрофанов, В.К. Гайдара

ПОЛІПШЕННЯ СЛАБОКОНТРАСТНИХ ЗОБРАЖЕНЬ В ЧАСТОТНІЙ ОБЛАСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОЇ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ

Анотація. Представлені інформаційні можливості методу обробки напівтонових медичних зображень, спрямованого на поліпшення контрасту та підвищення деталізації об'єктів інтересу з метою збільшення достовірності діагностування на їх основі. Пропонований алгоритм заснований на процесі багатоетапної обробки, що включає використання двовимірного частотного перетворення Фур'є та методу нечіткої інтенсифікації в просторовій області. Застосування Фур'є-перетворення передбачає корекцію його коефіцієнтів і реконструкцію зображення зворотним перетворенням. Корегуванню піддаються тільки аргументи комплексних коефіцієнтів. Досліджено вплив параметрів частотного перетворення на деталізацію результуючого зображення. Метод нечіткої інтенсифікації використовується як передобробка для другого етапу частотного перетворення. Наведено результати обробки на прикладі реальних рентгенівських знімків.

Ключові слова: цифрове рентгенівське зображення, двовимірне Фур'є-перетворення, амплітуда Фур'є-перетворення, оцінка якості зображення, метод нечіткої інтенсифікації, перетворення яскравості.

Вступ. Близько 80% всієї інформації людина отримує з допомогою зору. Число областей, у яких вихідні дані надходять у вигляді зображень, постійно зростають. До них відносяться системи спостереження, моніторингу, поліграфія, медицина та багато інших напрямків. Зростає роль систем комп'ютерного зору, що реалізують методи обробки цифрових зображень для подальшого зорового або автоматичного аналізу з метою вибору наступної реакції.

Важливо відзначити, що адекватно оцінити якість зображення є досить складним завданням, оскільки характеристики в цілому по зображенню і в локальних областях (областях інтересу) можуть істотно відрізнятися. Це ускладнює автоматичний розрахунок кількісного значення загальної оцінки якості як вихідних даних, так і результату обробки і на практиці для цього зазвичай використовуються експертні якісні оцінки.

Зокрема, цифрова обробка медичних зображень дозволяє істотно підвищити їхню якість: контрастність, роздільну здатність, виявити дрібні деталі,

які важко розрізнити неозброєним оком та ін. Однак, через величезну різноманітність типів зображень в теперішній час відсутні універсальні методи, які забезпечують гарантований результат рішення цього завдання. Наприклад, рентгенівські знімки, які характеризуються низькою інтенсивністю, нерівномірним фоном, високим рівнем шуму, поганим контрастом та слабко вираженими межами структур є особливо складними для аналізу та вибору ефективного методу обробки.

Постановка задачі. Стаття присвячена розгляду інформаційних можливостей методу обробки напівтонових медичних (рентгенівських) зображень, спрямованого на поліпшення контрасту та підвищення деталізації об'єктів інтересу, який використовує багатоетапну обробку, що включає модифікацію характеристик двовимірного частотного перетворення Фур'є та метод нечіткої інтенсифікації.

Аналіз публікацій. Підходи до поліпшення цифрових зображень звичайно поділяють на дві категорії: методи обробки в просторовій області (ПО) та методи обробки в частотній області [1]. Поняття просторові перетворення поєднує підходи, які засновані на безпосередньої зміни значень яскравості пікселів растрових зображень [2]. Частотні методи, зокрема, використання двовимірного дискретного перетворення Фур'є (ДДПФ), змінюють не зображення, а форму його уявлення, переводячи вихідний сигнал у його компоненти різної частоти і амплітуди. У такій формі буває значно простіше проводити фільтрацію чи посилення окремих складових сигналу, виділяти важливі параметри, виявлення яких іншими методами є менш ефективним або неможливим [3, 4]. Цей математичний інструмент широко використовувався, наприклад, у медичній візуалізації при формуванні КТ, МРТ та ультразвукових зображень анатомії людини [5].

Крім цього, новим підходом при обробці зображень, який набув широкого застосування останнім часом, є теорія нечітких множин. Вона має здатність кількісно та якісно моделювати проблеми, пов'язані з невизначеністю та неточністю, які завжди присутні у цифрових зображеннях. Їх наявність обумовлена як особливостями фізичних процесів систем формування зображень, так і етапом створення цифрового уявлення [6].

Основна відмінність нечітких методів від інших методології обробки полягає в тому, що вхідні дані (рівні сірого, гістограми, особливості, ...) перетворюються в площину належності. Перехід в нечіткий простір (фазифікація), може бути інтерпретований як специфічний тип кодування вхідних даних, який

залежить як від поставленої мети, так і від характеристик вихідного зображення.

Зображення G розміру $M \times N$ з L рівнями сірого яскравості може бути представлено у вигляді масиву нечітких множин щодо аналізованої властивості зі значенням функції належності μ_{xy} , яка змінюється в інтервалі $[0,1]$ для кожного пікселя:

$$G = \bigcup_{m=1}^M \bigcup_{n=1}^N \frac{\mu_{mn}}{X_{mn}} \quad (1)$$

Використання нечіткого підходу дозволяє отримувати нові ефективні алгоритми обробки цифрових зображень. В [7, 6] показано ефективність методу нечіткої інтенсифікації при поліпшенні слабо-контрастних зображень.

Основна частина. Для зображення розміру $M \times N$, яке описується дійсною двовимірною дискретною функцією $f(x,y)$ ДДПФ забезпечує створення комплексної двовимірної функції, заданої в частотній координатній системі (u,v) , яка описується виразом:

$$F(u,v) = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x,y) e^{i2\pi \left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N} \right)} \quad (2)$$

Базисні функції являють собою синусоїдальні та косинусоїдальні хвилі зі зростаючими частотами. $F(0,0)$ представляє постійну складову зображення, яка відповідає середній яскравості, а $F(M-1,N-1)$ представляє найвищу частоту.

ДДПФ являє собою вибіркове перетворення Фур'є і, отже, містить не всі частоти, що формують зображення, а тільки набір вибірок, який досить великий, щоб повністю описати зображення в просторовій області. Кількість частот відповідає кількості пікселів зображення у ПО, тобто, зображення в обох випадках мають однаковий розмір. ДДПФ дозволяє отримати доступ до геометричних характеристик зображення в просторовій області.

Аналогічним чином, зображення Фур'є може бути повторно перетворено в ПО. Зворотне двовимірне дискретне перетворення Фур'є (ЗДДПФ) має вигляд:

$$f(x,y) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u,v) e^{-i2\pi \left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N} \right)} \quad (3)$$

Діапазони зміни просторових координат $x=0,1,2,\dots,M-1$, та $y=0,1,2,\dots,N-1$ та частотних $u=0,1,2,\dots,M-1$, і $v=0,1,2,\dots,N-1$ однакові. Прямокутна область розміру $M \times N$ зветься частотним прямокутником.

Перетворення Фур'є створює вихідне зображення зі значенням комплексного числа

$$F(u, v) = R(u, v) + i \cdot I(u, v) \quad (4)$$

де $R(u, v)$ та $I(u, v)$ позначають дійсну та уявну компоненти $F(u, v)$.

Основний метод використання цього перетворення для аналізу та перетворення зображень полягає в обчисленні та візуалізації спектра

$$|F(u, v)| = \sqrt{R^2(u, v) + I^2(u, v)} \quad (5)$$

Значення

$$\phi(u, v) = \arctan \left[\frac{I(u, v)}{R(u, v)} \right] \quad (6)$$

називаються фазовим спектром зображення.

На рис. 1 представлена візуалізація двовимірного Фур'є-спектру – набір всіх $|F(u, v)|$. Чим вище значення $|F(u, v)|$, тим світліша точка з координатами (u, v) . Світлий центр спектру - вихідне зображення містить в основному однорідні області, без перепадів яскравості. Світла периферія – багато локальних перепадів яскравості. При обробці зображень зазвичай використовується саме амплітуда перетворення Фур'є, так як вона містить більшу частину до інформації зображення в просторовій області.

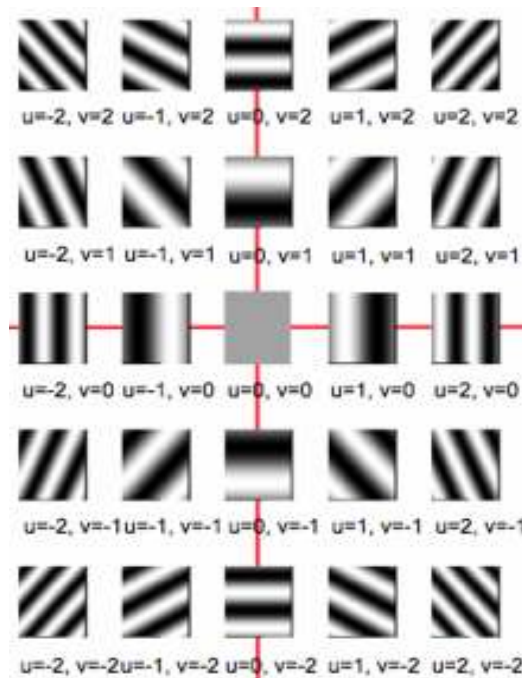


Рисунок 1 - Двовимірний Фур'є- спектр

У фазовому спектрі значення кожної точки визначає фазу відповідної частоти. Він дозволяє ідентифікувати вертикальні та горизонтальні лінії, що відповідають зразкам вихідного зображення, однак спотворене до невпізнанності.

Для правильного виконання ЗДДФ в просторову область після деякої обробки в частотній області, інформація про фазу має вирішальне значення. Якщо для двох різних зображень поміняти місцями їх фазові компоненти в частотній області, зберігаючи незмінними їх амплітудні компоненти, то перетворення Фур'є їх спектрів назад у просторову область, загальне зовнішній вигляд результату буде майже взаємозамінним (рис. 2).

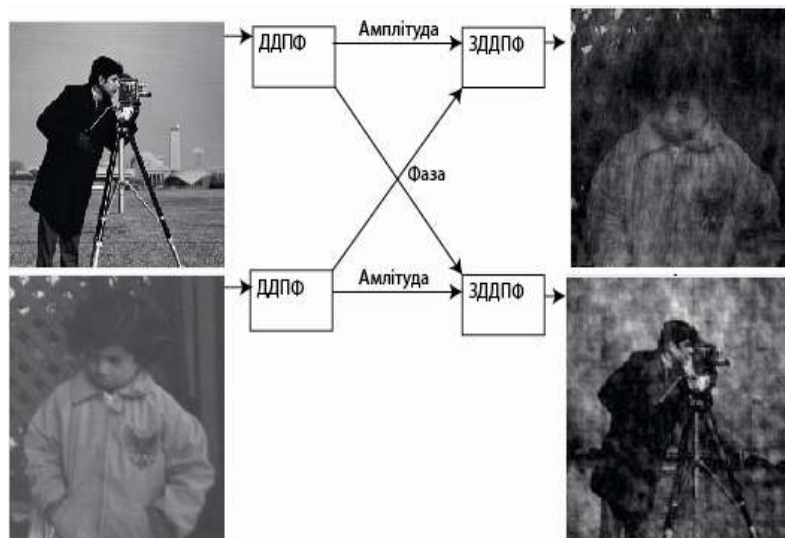


Рисунок 2 - Обмін компонентів фази зображень

Важливість фаз особливо помітна в деяких конкретних областях, таких як оптична метрологія, фізика матеріалів, адаптивна оптика, рентгенівська дифракційна оптика, електронна мікроскопія і біомедична візуалізація. Найбільш цікаві зразки відносяться до фазових об'єктів з дуже малим поглинанням, але з неоднорідним просторовим розподілом їх показника заломлення або товщини. Це призводить до того, що вони мають невеликі варіації амплітуди, але значні варіації фазових складових.

В даній роботі досліджено вплив на якість медичного зображення, а саме, рентгенограми, з процедури перетворення амплітудної складової ДДФз використанням виразу:

$$F(u, v) = |F(u, v)|^r \cdot e^{(j|F(u, v)|)}. \quad (7)$$

Експериментальні результати.

На рис. 3 а представлено рентгенівський знімок, аналіз якого необхідний для виявлення у пацієнтів ступеня травми хребта та спинного мозку шийного відділу в практиці медико-соціальної експертизи. Для цього розраховуються дані нормальних показників рентгенівської планіметрії (приклад вказано

стрілками). Розмиті межі об'єктів інтересу та відсутня деталізація їх структури ускладнює вирішення цього завдання.

На рис. 3 б, наведено результат застосування обробки у просторовій області (алгоритм адаптивної еквалізації гистограми) та в частотній області відповідно до формули (7) для коефіцієнта $r=0.8$. Результат свідчить про те, що поліпшення зображення полягає в підвищенні контрастності для цих двох методів приблизно однаковою мірою.

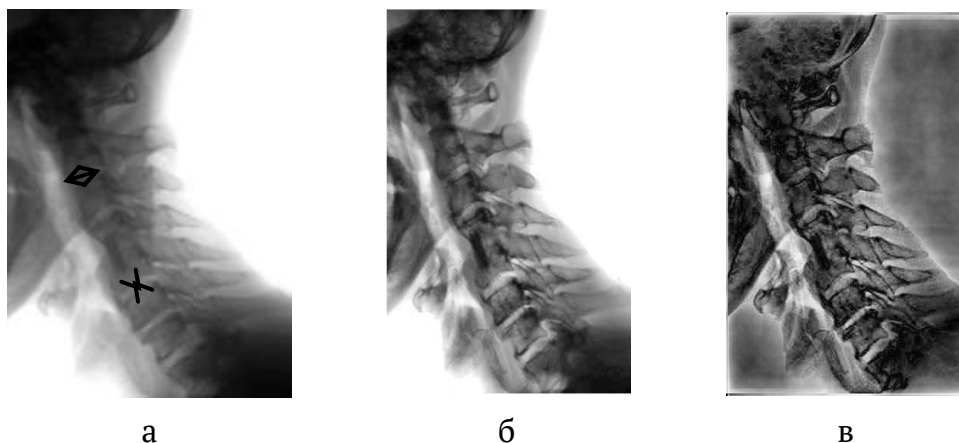


Рисунок 3 - Обробка рентгенограми: а) вхідне зображення; б) еквалізація гистограми; в) перетворення фази ДДПФ (п. 1- п. 4)

Запропонований у цій роботі алгоритм включає такі кроки:

1. ДДПФ (2) вхідного нормалізованого зображення I (рис. 3 а);
2. перетворення у частотній області на основі формули (7) з коефіцієнтом $r=0.8$;
3. ЗДДПФ (3) з наступною адаптивною еквалізацією гистограми - результат зображення $I1$ (рис. 3 в);
4. формування зображення $I2$ (рис. 4 а) за рахунок застосування операторів нечіткої інтенсифікації [6] к зображенню $I1$ з віддаленим середнім;
5. кроки 1 -3 для $I2$ (рис. 4 б).

На рис. 4 наведено результат обробки рентгенограми на різних етапах виконання представленого алгоритму, що демонструє значне підвищення контрасту та роздільної здатності. Дослідження впливу величині коефіцієнта r показує, що його зміна дозволяє виявити структуру об'єктів і регулювати ступінь їх деталізації, що підтверджує порівняння результатів, наведених на рис. 4 б, в.

Висновки.

- застосування алгоритму багатоетапної обробки напівтонових медичних зображень, який включає перетворення амплітудних амплітудних характеристик двовимірною частотною перетворення Фур'є та методу нечіткої інтенсифікації, забезпечує поліпшення контрасту та підвищення деталізації об'єктів інтересу, що підвищення достовірності діагностики на основі їх візуального аналізу;

- алгоритм має параметр, зміна якого дозволяє впливати на ступінь деталізації структури об'єктів;

- використання різних методів нечіткого перетворення представляється перспективним напрямом подальших досліджень.

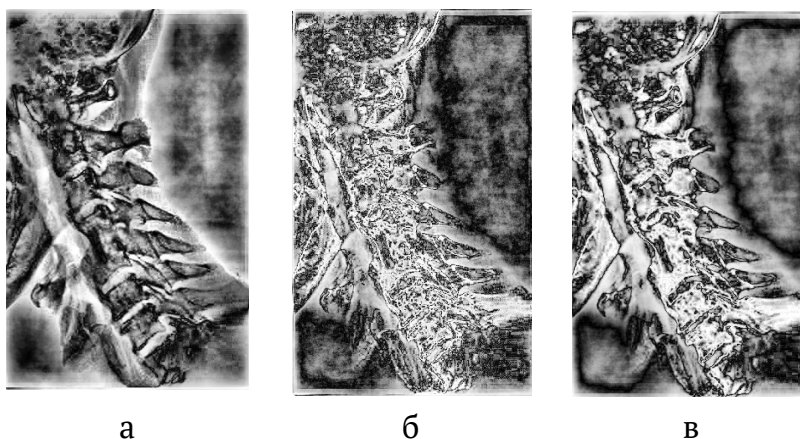


Рисунок 4 - Результати роботи алгоритму:

а) кроки 1 - 5; б) кроки 1 – 6 $r=0.8$; в) $r=0.9$

ЛІТЕРАТУРА

1. Pratt W.K. Digital Image Processing / W.K. Pratt – New York; – Chichester; Weinheim; Brisbane: John Wiley and Sons Inc., 2001. – 723 p.
2. Журавель И.М. Краткий курс теории обработки изображений [Электронный ресурс] /И.М. Журавель – М., -1999.
<http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book2/48>.
3. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс; [пер. с англ. под ред. П.А.Чочиа]. – М.: Техносфера, 2006. – 1070 с].
4. An Introduction to Digital Image Processing with Matlab Notes for SCM2511 Image Processing 1 Semester 1, 2004 Alasdair McAndrew School of Computer Science and Mathematics Victoria University of Technology 233 с.
5. An Analysis of X-Ray Image Enhancement Methods

6. Horst Haußecker. Fuzzy Image Processing/Horst Haußecker,Hamid R. Tizhoosh. Handbook of computer vision and applications.-Vol.2. Signal processing and pattern recognition By Academic press, -1999. –722 с.
7. А. Егоров, Л. Ахметшина. Оптимизация яркости изображений на основе нейро-фаззи технологий / Монография. Изд. Lambert. –2015. –139 с.
8. M. S. V Sokashe, “Computer assisted method for cervical vertebrae segmentation from x-ray images,” Int. J. Adv. Res. Comput. Commun. Eng., vol. 2, no. 11, 2013, pp. 4387–4389.

REFERENCES

1. Pratt W.K. Digital Image Processing / W.K. Pratt – New York; – Chichester; Weinheim; Brisbane: John Wiley and Sons Inc., 2001. – 723 p.
2. Zhuravel' Y.M. Kratky kurs teoryy obrabotky yzobrazhenyy [Elektronnyy re-surs] /Y.M. Zhuravel' M., -1999. <http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book2/4>
3. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс; [пер. с англ. под ред. П.А.Чочиа]. – М.: Техносфера, 2006. – 1070 с].
4. An Introduction to Digital Image Processing with Matlab Notes for SCM2511 Image Processing 1 Semester 1, 2004 Alasdair McAndrew School of Computer Science and Mathematics Victoria University of Technology 233 с.
5. An Analysis of X-Ray Image Enhancement Methods
6. Horst Haußecker. Fuzzy Image Processing/Horst Haußecker,Hamid R. Tizhoosh. Handbook of computer vision and applications.-Vol.2. Signal processing and pattern recognition By Academic press, -1999. –722 с.
7. А. Егоров, Л. Ахметшина. Оптимизация яркости изображений на основе нейро-фаззи технологий / Монография. Изд. Lambert. –2015 г. –139 с.<http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book2/48>.
8. M. S. V Sokashe, “Computer assisted method for cervical vertebrae segmentation from x-ray images,” Int. J. Adv. Res. Comput. Commun. Eng., vol. 2, no. 11, 2013, pp. 4387–4389.

Received 04.02.2023.
Accepted 14.02.2023.

Improvement of low contrast images in the frequency domain using fuzzy intensification

Due to the variety of types of images, there are currently no universal methods that provide a guaranteed result of solving the problem of improving the quality of low-contrast digital images. Medical systems often produce images of insufficient quality for reliable visual analysis. In particular, X-ray images, characterized by low intensity, uneven background, high level of noise, poor contrast and weakly defined boundaries of

structures, are particularly difficult to analyze and choose an effective processing method.

The paper presents the information possibilities of the method of processing half-tone medical images aimed at improving the contrast and increasing the detail of objects of interest in order to increase the reliability of diagnosis based on them. The proposed algorithm is based on a multi-stage processing process, which includes the use of two-dimensional frequency Fourier transformation and the method of fuzzy intensification in the spatial domain.

The use of two-dimensional discrete Fourier transformation changes not the image, but the form of its representation, converting the output signal into its components of different frequencies and amplitudes. In this form, it is much easier to carry out filtering or amplification of individual components of the signal. Fuzzy set theory has the ability to quantitatively and qualitatively model problems related to uncertainty and imprecision, which are always present in digital images. Their presence is determined both by the features of the physical processes of image forming systems and by the stage of creating a digital image.

The application of the proposed method provides improved contrast and increased detailing of objects of interest and affects the reliability of visual analysis. Only the arguments of complex Fourier transform coefficients can be corrected. The method of fuzzy intensification is used as a refinement for the second stage of frequency conversion. The effect of frequency conversion parameters on the detail of the resulting image was studied. The results of the algorithm are presented on the example of real X-ray images.

Ахметшина Людмила Георгіївна – доктор технічних наук, професор, професор кафедри електронних обчислювальних машин, Дніпровський національний університет ім. О. Гончара.

Мітрофанов Станіслав Костянтинович - магістр за спеціальністю комп'ютерна інженерія, Дніпровський національний університет ім.О.Гончара.

Гайдара Володимир Кирилович - студент за спеціальністю комп'ютерна інженерія, Дніпровський національний університет ім. О. Гончара.

Akhmetshina Liudmyla - Doctor of Technical Sciences, professor, professor of the department of electronic computers, Oles Honchar Dnipro National University.

Mitrofanov Stanislav - Master of Science in Computer Engineering, Oles Honchar Dnipro National University.

Haidara Volodymyr – student in Computer Engineering, Oles Honchar Dnipro National University.

АСИНХРОННА КОМУНІКАЦІЯ МІКРОСЕРВІСІВ

Анотація. У зв'язку зі зростаючим попитом мікросервісної архітектури гостро стоїть питання асинхронної комунікації між сервісами. В роботі розглянуті особливості асинхронної комунікації, типи та патерни асинхронної комунікації та основні можливі виклики при проектуванні комунікації між сервісами. Наведені відмінності асинхронної від синхронної комунікації. Дано опис деяких популярних засобів, які застосовуються при комунікації мікросервісів, зроблено висновки щодо найбільш ефективних областей їх застосування.

Ключові слова: мікросервіс, асинхронна комунікація, брокер повідомлень, черга повідомлень, публікації/підписки, HTTP, AMQP, Kafka, Scala, RabbitMQ.

Постановка проблеми. Все більше і більше бізнес-проектів використовують мікросервісну архітектуру, де очікується широке масштабування і довга еволюція проекту з залученням великої кількості розробників. Це пов'язано із гнучкістю масштабування, можливістю безперервного розгортання і полегшенням обслуговування. За такої архітектури різні команди можуть працювати над сервісами, не впливаючи на робочі процеси в цілому, що неможливо за інших архітектурних стилів. Однією з найбільших проблем при переході на архітектуру на основі мікросервісів є зміна механізму зв'язку. Оскільки мікросервіси розподілені, вони взаємодіють один з одним за допомогою міжсервісної взаємодії на рівні мережі. Кожен мікросервіс має свій власний екземпляр та процес. Отже, служби повинні взаємодіяти з використанням протоколів міжсервісного зв'язку, таких як HTTP, gRPC або протоколу брокерів повідомлень AMQP.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Спектр питань, які стосуються публікацій, присвячених питанням комунікації мікросервісів та забезпечення його якості, досить широкий. Так, у [1] наведено результати дослідження патернів комунікації в мікросервісній архітектурі щодо їх особливостей, переваг і недоліків, продуктивності, зроблено висновки щодо сфер їх застосування.

У роботі [2] наведено результати дослідження синхронної та асинхронної комунікації мікросервісної архітектури.

Основна частина. Клієнт і служби можуть спілкуватися за допомогою багатьох різних типів спілкування, кожен з яких націлений на різні сценарії та цілі. Ці типи комунікацій можна розділити на дві осі.

Перша вісь визначає, є протокол синхронним чи асинхронним.

Синхронний протокол [3]. HTTP — це синхронний протокол. Клієнт відправляє запит і чекає відповіді від сервісу. Цей протокол не залежить від виконання коду клієнта, який може бути синхронним (потік заблоковано) або асинхронним (потік не заблоковано) і відповідь зрештою досягне зворотного виклику. Важливим моментом тут є те, що протокол (HTTP/HTTPS) є синхронним і код клієнта може продовжувати виконання завдання лише тоді, коли він отримує відповідь сервера HTTP.

Асинхронний протокол [4]. Інші протоколи, такі як AMQP (протокол, який підтримується багатьма операційними системами та хмарними середовищами), використовують асинхронні повідомлення. Код клієнта або відправник повідомлення зазвичай не чекає на відповідь. Він просто надсилає повідомлення.

Синхронна комунікація підходить, якщо ваш зв'язок здійснюється лише між кількома мікросервісами. Але у випадку, коли кілька мікросервісів повинні викликати один одного та чекати довгих блокуючих операцій, повинен використовуватись асинхронний зв'язок. Інакше ця залежність і сполучення мікросервісів створить вузьке місце та серйозні проблеми архітектури. Оскільки мікросервіси — це розподілена система, яка працює на кількох процесах, сервіси повинні бути ізольовані один від одного якомога більше і взаємодіяти між собою за допомогою мережевих протоколів зв'язку, таких як синхронні протоколи HTTP, gRPC або асинхронні AMQP.

Якщо у вас є кілька мікросервісів, які повинні взаємодіяти між собою, і ви хочете взаємодіяти з ними без будь-якої залежності, повинен використовуватись асинхронний зв'язок на основі повідомлень. Клієнтська мікрослужба надсилає повідомлення до систем посередника повідомлень і не чекає відповіді. Повідомлення містять дані і надсилаються через асинхронні протоколи, такі як AMQP та через системи брокерів повідомлень, такі як Kafka та RabbitMQ.

Типи асинхронного обміну повідомленнями [5]. Існує два типи асинхронного обміну повідомленнями. Комунікація на основі повідомлень з одним

приймачем, яку назвали моделлю «брокер повідомлень» або «черга повідомлень», та комунікація на основі повідомлень із кількома приймачами, яку назвали моделлю «публікації/підписки».

Брокер повідомлень або черга повідомлень. Цей зв'язок в основному призначений для здійснення зв'язку «один-на-один» або «точка-точка». Якщо ми надсилаємо по одному запиту конкретному сервісу, і ця операція займає багато часу, тоді добре використовувати цей асинхронний зв'язок з одним отримувачем.

Зв'язок на основі моделі публікації/підписки. Ця комунікація в основному призначена для виконання механізмів публікації/підписки, які мають кілька отримувачів. Таким чином, у цій комунікації видавець публікує повідомлення, котре обробляється кількома сервісами, які підписалися на це повідомлення в системі посередника повідомлень. Ці операції публікації/підписки повинні вимагати наявності інтерфейсу шини подій для публікації подій для будь-якого підписника. Завдяки цій комунікації видавець не залежить від підписників.

Ці шаблони публікації/підписки реалізуються за допомогою шини подій. І шина подій також може мати реалізацію з системами посередників обміну повідомленнями, які підтримують асинхронну комунікацію та модель публікації/підписки, як Kafka та RabbitMQ.

Різниця між чергою повідомлень і системою обміну повідомленнями публікації/підписки. Брокери повідомлень — це програмні модулі, які дозволяють програмам, службам і системам спілкуватися та обмінюватися інформацією. Брокери повідомлень роблять це шляхом відправки повідомлень формальними протоколами обміну повідомленнями, дозволяючи взаємозалежним службам безпосередньо «розмовляти» одна з одною, навіть якщо вони написані різними мовами або працюють на інших платформах.

Посередники повідомлень перевіряють, маршрутизують, зберігають і доставляють повідомлення визначеним одержувачам. Брокери діють як посередники між іншими додатками, дозволяючи відправникам надсилати повідомлення, не знаючи місцезнаходження підписників, чи активні вони чи ні, чи навіть скільки їх існує.

В свою чергу публікація/підписка — це шаблон розповсюдження повідомлень, який дозволяє видавцям публікувати кожне повідомлення, яке вони хочуть.

Kafka [6] — це платформа розподіленої потокової передачі подій із відкритим вихідним кодом, яка забезпечує високу пропускну здатність. Написана на Java та Scala Kafka — це шина повідомлень публікації/підписки, орієнтована на потоки та передачі великого масиву даних. Замість того, щоб покладатися на чергу повідомлень, Kafka додає повідомлення до журналу та не видаляє їх, доки підписник не прочитає їх або не буде досягнуто ліміту збереження.

Архітектурні терміни та внутрішні операції Kafka:

- **Mirror Maker**: одним із найважливіших елементів Kafka є реплікація, яка гарантує, що повідомлення публікуються та обробляються навіть у випадку, якщо брокер стикається з проблемою.

- **ZooKeeper** [7]: діє як зв'язок між підписниками та брокером Kafka і зберігає такі дані про координацію, як конфігурація, розташування та деталі стану.

- Видавці надсилають або публікують повідомлення до Kafka topic, створеної на брокері Kafka, в синхронному або асинхронному режимі.

- Kafka topic — це категорії, які використовуються для групування повідомлень і мають назви, унікальні для всього кластеру Kafka.

- Підписники: сервіси, які підписалися на Kafka topic і витягують з неї повідомлення. За замовчуванням підписники зберігають повідомлення в ZooKeeper. Однак Kafka також дозволяє зберігати дані на додаткових платформах зберігання, які використовуються програмами для обробки онлайн-транзакцій (OLTP).

Kafka використовує підхід “pull-based”, дозволяючи користувачам запитувати пакети повідомлень із певних вибірок. Користувачі можуть групувати повідомлення для підвищення пропускну здатності та ефективної доставки повідомлень.

Хоча Kafka поставляється лише з клієнтом Java, він пропонує адаптер SDK, що дозволяє програмістам використовувати свою унікальну системну інтеграцію. Також зростає каталог проектів екосистем спільноти та клієнтів із відкритим кодом.

Kafka найкраще використовувати для потокової передачі від пункту А до В, не вдаючись до складної маршрутизації, але з максимальною пропускну здатністю. Він також ідеально підходить для визначення джерела подій, обробки потоку та виконання моделювання змін у системі як послідовності подій. Kafka також підходить для обробки даних у багатоступеневих конвеєрах.

RabbitMQ [8] — це розподілений брокер повідомлень із відкритим кодом, який забезпечує ефективну доставку повідомлень у складних сценаріях маршрутизації. Його називають «розподіленим», тому що RabbitMQ зазвичай працює як кластер вузлів, де черги розподілені між вузлами — тиражуються для високої доступності та відмовостійкості.

Архітектурні терміни та внутрішні операції RabbitMQ:

- Підписник: він підписується на чергу та підключається до сервера брокера.
- Посередник: програми можуть обмінюватися інформацією та спілкуватися одна з одною через посередника.
- Прив'язка: повідомляє посереднику, які черги розповсюджують повідомлення. Крім того, прив'язка вказує посереднику фільтрувати повідомлення, які дозволено додавати до черги для певних типів посередника.

RabbitMQ використовує модель push-повідомлень і контролює навантаження користувачів через налаштований ліміт вибірки повідомлень. Ця модель є ідеальним підходом для обміну повідомленнями з малою затримкою між відправкою повідомлення та обробкою. Він також добре працює з архітектурою на основі черги повідомлень.

RabbitMQ використовує AMQP 0.9.1 і використовує плагіни, щоб запропонувати додаткові протоколи, такі як AMQP 1.0, HTTP, STOMP і MQTT. RabbitMQ офіційно підтримує Elixir, Go, Java, JavaScript, .NET, PHP, Python, Ruby, Objective-C, Spring і Swift. Він також підтримує різні інструменти для розробників і клієнти за допомогою плагінів спільноти.

Розробники використовують RabbitMQ для обробки високонавантажених і надійних фонових завдань, а також інтеграції та взаємодії між мікросервісами та всередині них. Програмісти також використовують RabbitMQ для виконання складної маршрутизації до підписників та інтеграції кількох програм і служб за допомогою нетривіальної логіки маршрутизації.

Відмінності між RabbitMQ і Kafka. Ці структури обміну повідомленнями підходять до обміну повідомленнями з абсолютно різних точок зору, і їхні можливості надзвичайно відрізняються.

Потік даних. RabbitMQ використовує окремий, обмежений потік даних. Повідомлення створюються та надсилаються видавцем і отримуються підписником. Apache Kafka використовує необмежений потік даних, при цьому пари ключ-значення безперервно надходять у призначений топік.

Використання даних. RabbitMQ найкраще підходить для транзакційних

даних, таких як формування та розміщення замовлень, а також запити користувачів. Kafka найкраще працює з оперативними даними, такими як операції процесу, статистика аудиту та журналювання, а також активність системи.

Обмін повідомленнями. RabbitMQ надсилає повідомлення користувачам. Ці повідомлення видаляються з черги після їх успішної обробки. Kafka використовує повідомлення, які залишаються в черзі до закінчення часу зберігання.

Модель дизайну. RabbitMQ використовує модель розумного брокера/примітивного підписника. Брокер постійно доставляє повідомлення підписникам і відстежує їхній статус. Kafka використовує модель примітивного брокера/розумного підписника. Kafka не відстежує повідомлення, які прочитав кожен користувач та зберігає всі повідомлення протягом встановленого періоду часу.

Топологія. RabbitMQ використовує топологію черги обміну — повідомлення направляються до різних прив'язок черги для використання підписником. Kafka використовує топологію публікації/підписки, надсилаючи повідомлення через потік до Kafka topics.

Масштабованість і резервування. RabbitMQ використовує циклічну чергу для повторення повідомлень. Щоб збільшити пропускну здатність і збалансувати навантаження, повідомлення розподіляються між чергами. Крім того, це дозволяє багатьом користувачам одночасно читати повідомлення з різних черг.

Масштабованість і резервування забезпечуються розділами Kafka. Розділ продубльований у багатьох брокерів. У випадку, якщо один із брокерів виходить з ладу, клієнта все одно може обслуговувати інший брокер.

Якщо ми зберігаємо всі розділи в одному посереднику, наша залежність від цього посередника зростатиме, що є небезпечним і збільшує ймовірність його збою. Крім того, розподіл розділів значно покращує пропускну здатність.

Відмінності між RabbitMQ і Kafka

Параметр	RabbitMQ	Kafka
Продуктивність	4 000 ÷ 10 000 повідомлень в секунду	1 мільйон повідомлень в секунду
Зберігання повідомлень	На основі підтвердження	На основі політики (наприклад, 30 днів)
Тип даних	Транзакційний	Оперативний
Споживчий режим	Розумний брокер/примітивний підписник	Примітивний брокер/розумний підписник
Топологія	Тип обміну: прямий, розгорнутий, тематичний, на основі заголовка	На основі публікації/підписки
Розмір корисного навантаження	Жодних обмежень	Обмеження за умовчанням 1 Мб
Випадки використання	Прості варіанти використання	Великі дані/висока пропускна здатність

Видалення повідомлення. Щоб видалити повідомлення з черги, RabbitMQ повинен надати підтвердження успішного отримання. Повідомлення повертаються до черги після неуспішної обробки і зберігаються підписником після успішної обробки.

Kafka зберігає повідомлення протягом визначеного часу.

Пріоритет повідомлень. У RabbitMQ повідомленням можна надати пріоритет. У Kafka всі повідомлення мають однаковий пріоритет.

Бібліотеки та підтримка мовами програмування. RabbitMQ підтримує Python, Ruby, Elixir, PHP, Swift, Go, Java, C, Spring, .Net і JavaScript.

Kafka підтримує Node js, Python, Ruby та Java.

Порядок повідомлень. RabbitMQ не підтримує порядок повідомлень. Kafka використовує topics для розрізнення повідомлень, а ZooKeeper відстежує зсув, щоб його міг використовувати будь-який підписник, який бажає прочитати topic.

Обробка повідомлень з RabbitMQ та Kafka

Параметр	RabbitMQ	Kafka
Гарантія доставки	Так	Так
Упорядкування повідомлень	Ні	Так
Пріоритети повідомлень	Так	Ні
Тривалість життя повідомлення	Повідомлення видаляються після обробки.	Повідомлення зберігаються протягом визначеного часу

Безпека та операції. І RabbitMQ, і Kafka надають вбудовані інструменти для керування безпекою та операціями. Крім того, обидві платформи пропонують інструменти сторонніх розробників для моніторингу. І Kafka, і RabbitMQ підтримують керування доступом на основі ролей (RBAC) і автентифікацію на рівні простої автентифікації та безпеки (SASL). У Kafka навіть можна керувати політиками безпеки через інтерфейс командного рядка (CLI).

Продуктивність. Може бути важко кількісно оцінити продуктивність через великий вплив коду, який взаємодіє з цими службами, та наявного апаратного забезпечення. Навіть такі речі, як швидкість мережі, пам'яті та диска, можуть значно вплинути на продуктивність служби. Незважаючи на це, RabbitMQ і Kafka оптимізовані для максимальної ефективності.

Висновок. У зв'язку зі зростаючим попитом мікросервісної архітектури дуже гостро стоїть питання асинхронної комунікації між сервісами. Оскільки мікросервіси є складною структурою, яка складається з незалежно розроблених і розгорнутих сервісів, комунікація між ними може стати вузьким місцем, тому розробники повинні бути обережними, обираючи інструменти асинхронного зв'язку.

Розглянуто найпопулярніші open source інструменти для асинхронного зв'язку між сервісами — **RabbitMQ** та Kafka. Хоча RabbitMQ і Kafka іноді взаємозамінні, їх реалізації дуже відрізняються одна від одної. Як результат, ми не можемо розглядати їх як члени однієї категорії інструментів; один — брокер повідомлень, а інший — розподілена потокова платформа.

RabbitMQ краще використовувати, коли нам потрібно: розширені та гнучкі правила маршрутизації, контроль часу повідомлень (керування закінченням

терміну дії повідомлення або затримкою повідомлення). Розширені можливості обробки помилок у випадках, коли підписники не можуть обробити повідомлення.

Kafka використовується, коли потрібне суворе впорядкування повідомлень, зберігання повідомлень протягом тривалого часу, включаючи можливість повторного відтворення минулих повідомлень та масштабування, коли традиційних рішень недостатньо.

Ми можемо реалізувати більшість варіантів використання, використовуючи обидві платформи. Однак архітектор проекту повинен вибрати найбільш підходящий інструмент для роботи. В окремих випадках під час розробки складних програмних систем може виникнути спокуса реалізувати всі необхідні варіанти використання повідомлень, використовуючи одну платформу, в той час як використання обох платформ може надати багато переваг.

ЛІТЕРАТУРА

1. Karabey Aksakalli, Işıl; Çelik, Turgay; Can, Ahmet Burak; Tekinerdoğan, Bedir. Deployment and communication patterns in microservice architectures : A systematic literature review. The Journal of Systems & Software. Volume 180, October 2021, 111014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jss.2021.111014>
2. Benyamin Shafabakhsha, Robert Lagerströmb and Simon Hacksb. Evaluating the Impact of Inter Process Communication in Microservice Architectures. 8th International Workshop on Quantitative Approaches to Software Quality (QuASoQ 2020). URL: <https://ceur-ws.org/Vol-2767/07-QuASoQ-2020.pdf>
3. Design interservice communication for microservices. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/architecture/microservices/design/interservice-communication>
4. Communication in a microservice architecture. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/architecture/microservices/architect-microservice-container-applications/communication-in-microservice-architecture>
5. Mehmet Ozkaya. Microservices Communications. URL: <https://medium.com/design-microservices-architecture-with-patterns/microservices-communications-f319f8d76b71>
6. Apache Kafka. URL: <https://kafka.apache.org>
7. Apache ZooKeeper. URL: <https://zookeeper.apache.org>
8. Messaging that just works — RabbitMQ. URL: <https://www.rabbitmq.com>

REFERENCES

1. Karabey Aksakalli, Işıl; Çelik, Turgay; Can, Ahmet Burak; Tekinerdoğan, Bedir. Deployment and communication patterns in microservice architectures : A systematic literature review. The Journal of Systems & Software. Volume 180, October 2021, 111014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jss.2021.111014>
2. Benyamin Shafabakhsha, Robert Lagerströmb and Simon Hacksb. Evaluating the Impact of Inter Process Communication in Microservice Architectures. 8th International Workshop on Quantitative Approaches to Software Quality (QuASoQ 2020). URL: <https://ceur-ws.org/Vol-2767/07-QuASoQ-2020.pdf>
3. Design interservice communication for microservices. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/architecture/microservices/design/interservice-communication>
4. Communication in a microservice architecture. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/architecture/microservices/architect-microservice-container-applications/communication-in-microservice-architecture>
5. Mehmet Ozkaya. Microservices Communications. URL: <https://medium.com/design-microservices-architecture-with-patterns/microservices-communications-f319f8d76b71>
6. Apache Kafka. URL: <https://kafka.apache.org>
7. Apache ZooKeeper. URL: <https://zookeeper.apache.org>
8. Messaging that just works — RabbitMQ. URL: <https://www.rabbitmq.com>

Received 16.02.2023.
Accepted 20.02.2023.

Asynchronous communication of microservices

More and more business projects use microservice architecture, where large scale and long evolution of the project with the involvement of many developers are expected. This is due to the flexibility of scaling, the possibility of continuous deployment, ease of maintenance, and different teams can work on services without affecting the work processes as a whole, which is impossible with other architectural styles. Since microservices are a complex structure consisting of independently designed and deployed services, communication between them can become a bottleneck, so we must be careful when considering asynchronous communication tools.

The most popular open-source tools for asynchronous communication between RabbitMQ and Kafka services are considered. Although RabbitMQ and Kafka are sometimes used interchangeably, their implementations are very different from each other. As

a result, we cannot consider them as members of the same instrument category; one is a message broker, and the other is a distributed streaming platform.

RabbitMQ is best used when we need: advanced and flexible routing rules, message timing control (managing message expiration or message delay). Advanced fault handling capabilities in cases where consumers are likely to be unable to process messages (temporarily or permanently), simple implementations for consumers.

Kafka is used when strict ordering of messages is required, the storage of messages for long periods of time, including the ability to replay past messages, and the ability to achieve high scale when traditional solutions are insufficient.

We can implement most use cases using both platforms. However, the project architect must choose the most appropriate tool for the job. In making this choice, we must consider differences, as noted above. In other cases, when developing complex software systems, it may be tempting to implement all of the necessary messaging use cases using one platform when there are many advantages to using both platforms.

Keywords: microservice, asynchronous communication, message broker, message queue, publish/subscribe, HTTP, AMQP, Kafka, Scala, RabbitMQ.

Герасимов Володимир Володимирович – доцент кафедри електронних обчислювальних машин ДНУ.

Дружинін Денис Ігорович – аспірант кафедри електронних обчислювальних машин ДНУ.

Gerasymov Volodymyr Volodymyrovych – Associate Professor of Computer Systems Engineering Department of DNU

Druzhynin Denys Igorovych – PhD Student of Computer Systems Engineering Department of DNU.

ЗМІСТ

CONTENTS

Каштан В.Ю., Гнатушенко В.В. Інформаційна технологія визначення контурів лісових пожеж за даними оптичної спутникової зйомки	3	Kashtan V.Yu., Hnatushenko V.V. Information technology for detecting forest fire contours using optical satellite data	3
Івон О.І., Істушкин В.Ф., Белугина В.О. Програмне забезпечення для сканування яскравості пікселів растрових зображень	13	Ivon A.I., Istushkin V.F., Belugina V.O. Software for scanning the brightness of the raster images pixels	13
Івон О.І., Істушкин В.Ф., Любимкін В.В. Програмне забезпечення для вимірювання коефіцієнту нелінійності вольтамперних характеристик по растровому зображенню осцилограми	20	Ivon A.I., Istushkin V.F., Lubimkin V.V. Software for measuring the nonlinearity coefficient of volt- ampere characteristic from raster image of oscillogram	20
Тонкошкур О.С., Лозовський А.С. Алгоритм обробки даних кінетики відгуку газового сенсору з застосуванням розтягнутої експоненційної функції без численного диференціювання	26	Tonkoshkur A.S., Lozovskyi A.S. Algorithm for processing gas sensor's response kinetics data using extended exponential function without numerical differentiation	26
Хандецький В.С. Оптимізація роботи комп'ютерних мереж IEEE 802.11 при значних рівнях бітових помилوک	36	Khandetskyi V.S. Optimizing the action of IEEE 802.11 computer networks at significant levels of bit error rate	36
Матвеева Н.О., Мохов К.В. Використання Spring Framework для розробки веб-додатків	44	Matveeva N.O., Mokhov K.V. Using Spring Framework to develop web applications	44

Пономарьов І.В. Можливості фреймворку .NET MAUI зі створення кросплатформових додатків	51	Ponomarev I.V. Features of the .NET MAUI framework for creating a cross-platform applications	51
Спірінцев В.В., Садиченко Д.В., Спірінцева О.В. Кросплатформний Unity додаток для відображення 3D-моделей доповненої реальності засобами ARCore	58	Spiritsev V.V., Sadychenko D.V., Spirintseva O.V. Cross-platform Unity application for displaying 3D models of augmented reality using ARCore	58
Кравець О.В., Духневич К.Л. Верифікація пакету автоматизованого проектування ELCUT на прикладі задачі нагрівання індуктора з двошаровим футеруванням	67	Kravets O.V., Dukhnevich K.L. Verification of the computer design package ELCUT on the example of the problem of heating an inductor with a two-layer inwall	67
Гниленко О.Б. Проектування топографії синаптичного входу з цифровим керуванням ваговими коефіцієнтами для апаратної реалізації штучного імпульсного нейрона	76	Gnilenko A.B. Layout design of a synaptic input with digitally controlled weight coefficients for a hardware implementation of an artificial spiking neuron	76
Литвинов О.А., Литвинов М.О. Використання фреймового підходу для розробки інформаційних систем	83	Lytvynov O.A., Lytvynov M.O. On application of frame-based approach for information systems development	83
Ахметшина Л.Г., Мітрофанов С.К., Гайдара В.К. Поліпшення слабкоконтрастних зображень в частотній області з використанням нечіткої інтенсифікації	99	Akhmetshina L. G., Mitrofanov S.K., Haidara V.K. Improvement of low contrast images in the frequency domain using fuzzy intensification	99
Дружинін Д.І., Герасимов В.В. Асинхронна комунікація мікросервісів	108	Druzhynin D. I., Gerasymov V.V. Asynchronous communication of microservices	108

РЕФЕРАТИ

УДК 528.88:551.510.4

Каштан В.Ю., Гнатушенко В.В. **Інформаційна технологія визначення контурів лісових пожеж за даними оптичної супутникової зйомки** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 1(144). – Дніпро, 2023. – С.3 – 12.

Кількість лісових пожеж протягом останніх десяти років істотно збільшилась. Це вказує на те, що оцінка площі та розташування територій, пройдених лісовими пожежами, є дуже актуальною задачею сьогодення. Використання даних супутникової зйомки значно спрощує процес оцінки лісових пожеж. Мета досліджень полягає в розробці інформаційної технології автоматизованого визначення контурів лісових пожеж на цифрових оптичних супутникових знімках в умовах нестаціонарності та невизначеності на основі згорткових нейронних мереж. Для визначення контурів лісових пожеж запропоновано використати точки теплових аномалій для ідентифікації пікселів вогню та диму. Це дозволило отримати полігони відповідних областей з різними атрибутами: положенням, розміром, тощо. Результати протестовані на супутникових оптичних знімках Sentinel 2 регіону Авіла. Запропонований метод має загальну точність виділення лісових пожеж 94,3%.

Бібл. 9, іл. 5.

УДК 004.42

Івон О.І., Істушкин В.Ф., Белугина В.О. **Програмне забезпечення для сканування яскравості пікселів растрових зображень** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 1(144). – Дніпро, 2023. – С.13 – 19.

Описано веб-застосунок для програмного сканування растрових зображень аналогових осцилограм при вимірюванні параметрів імпульсних сигналів. Як критерій обрання точок сканування використана максимальна яскравість пікселів на лініях сигналів растрового зображення осцилограми. Веб-застосунок створено засобами мов HTML5, CSS3, JavaScript та технології Canvas. Програмним середовищем для його використання є браузері мережі Інтернет.

Бібл. 4, іл. 4.

УДК 004.42:621.317.351

Івон О.І., Істушкин В.Ф., Любимкін В.В. **Програмне забезпечення для вимірювання коефіцієнту нелінійності вольтамперних характеристик по растровому зображенню осцилограми** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 1(144). – Дніпро, 2023. – С.20 – 25.

Описано прикладний веб-застосунок, який дозволяє на підставі даних сканування растрових зображень аналогових осцилограм імпульсних сигналів, зареєстрованих в області сильних електричних струмів, виміряти коефіцієнт нелінійності вольтамперної характеристики і його залежність від напруги та струму. Веб-застосунок створено засобами мов HTML5, CSS3, JavaScript та технології Canvas. Програмним середовищем для його використання є браузері мережі Інтернет.

Бібл. 3, іл. 2.

УДК 680.179:681.513

Тонкошкур О.С., Лозовський А.С. **Алгоритм обробки даних кінетики відгуку газового сенсору з застосуванням розтягнутої експоненційної функції без численного диференціювання** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 1(144). – Дніпро, 2023. – С.26 – 35.

Розглядаються особливості використання комп'ютерних технологій обробки експериментальних даних для вирішення задач автоматизації досліджень матеріалів для газочутливих сенсорів. Запропоновано алгоритм обробки кінетичної залежності на основі моделі розтягнутої експоненційної функції, який не використовує операції чисельного диференціювання при знаходженні параметрів даної моделі. Це дозволяє знизити вплив наявності розкиду даних в координатах апроксимуючих діаграм, які використовуються при розрахунку параметрів моделі, збільшити точність та сприяє реалізації автоматизованої інформаційної вимірювальної системи.

Бібл. 18, іл. 4, табл. 1

УДК 681.3.07

Хандецький В.С. **Оптимізація роботи комп'ютерних мереж IEEE 802.11 при значних рівнях бітових помилок** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 1(144). – Дніпро, 2023. – С.36 – 43.

Для заданого рівня шуму фрагментація поля даних фрейму збільшує імовірність передачі кожного окремого фрагменту. Але це супроводжується збільшенням відносної ваги накладних втрат. Ми пропонуємо визначити оптимум фрагментації в умовах підвищеної інтенсивності шуму по максимуму добутку імовірності успішної передачі фрагментованого фрейму на відносну вагу накладних втрат. Представлені результати розрахунків залежності критерія оптимальності від коефіцієнту фрагментації при різних рівнях шуму, які дозволяють оптимізувати процес фрагментації поля даних передаваних фреймів.

Бібл. 4, іл. 2.

УДК 004.021; 004.383

Матвєєва Н.О., Мохов К.В. **Використання Spring Framework для розробки веб-додатків** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 1(144). – Дніпро, 2023. – С.44 – 50.

Стек технологій Spring Boot, Spring Data JPA, Bootstrap, бібліотека jQuery та база даних PostgreSQL використовуються для розробки веб-додатку. Створений додаток можна використовувати для отримання відповідей на власні питання, допомога в вирішенні чужих питань або пошуку нових знайомих.

Бібл. 6, іл. 2.

УДК 004.4

Пономарьов І.В. **Можливості фреймворку .NET MAUI зі створення кросплатформових додатків** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 1(144). – Дніпро, 2023. – С.51 – 57.

Розглядаються можливості та особливості фреймворку .NET MAUI щодо створення кросплатформових додатків. Створення єдиного проекту із загальним кодом для всіх платформ, гаряче перезавантаження .NET прискорює розробку додатків. .NET MAUI надає спільні

файли ресурсів проекту, підтримку прив'язки даних, використання тригерів. Графічний інтерфейс створюється окремо від логіки програми, що підвищує ефективність роботи. Описані основні групи управління інтерфейсу програми, такі як сторінки, макети та уявлення.

Бібл. 2.

УДК 004.946

Спірінцев В.В., Садиченко Д.В., Спірінцева О.В. **Кросплатформний Unity додаток для відображення 3D-моделей доповненої реальності засобами ARCore** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 1(144). – Дніпро, 2023. – С.58 – 66.

За останній час технологія доповненої реальності зробила якісний крок у розвитку, що дало їй змогу бути корисною у багатьох сферах життя. Додатки доповненої реальності унікальні тим, що анотують або доповнюють реальність користувача. Практика показала, що технологія доповненої реальності має необмежений потенціал та потребує подальших досліджень в напрямку створення інноваційних іммерсивних додатків. В даній роботі запропоновано кросплатформний Unity додаток для відображення 3D-моделей доповненої реальності засобами ARCore.

Бібл.4, іл.7.

УДК 534.075.8

Кравець О.В., Духневич К.Л. **Верифікація пакету автоматизованого проєктування ELCUT на прикладі задачі нагрівання індуктора з двошаровим футеруванням** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 1(144). – Дніпро, 2023. – С.67 – 75.

За допомогою програмного комплексу ELCUT розраховано поля температур індукційного нагрівача для чотирьох пар матеріалів футерування; побудовано картини полів температур та ізотерм для досліджуваних випадків матеріалів футерування індукційного нагрівача, створено діаграму порівняння середньої температури футерівки в зовнішньому та внутрішньому шарах з використанням пакету ELCUT. Проведена верифікація отриманих числових результатів шляхом порівняння їх з існуючими аналітичними розв'язками.

Бібл. 10, іл. 5, табл. 1.

УДК 004.383.8.032.26

Гниленко О.Б. **Проектування топографії синаптичного входу з цифровим керуванням ваговими коефіцієнтами для апаратної реалізації штучного імпульсного нейрона** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 1(144). – Дніпро, 2023. – С.76 – 82.

Презентовано результати топографічного проектування синаптичного входу з цифровим керуванням ваговими коефіцієнтами, який є складовим елементом апаратної реалізації штучного імпульсного нейрона. При проектуванні використовувалась LIF (Leaky Integrate-and-Fire) модель штучного імпульсного нейрона. За допомогою системи автоматизованого проектування інтегральних схем створено компактну топографію синаптичного входу з використанням на кожному етапі проектування всіх належних методів фізичної верифікації. Для підтвердження достовірності проектування виконана перевірка відповідності топографічного

та схематичного проектів на основі порівняння списків з'єднань та порівняння часових діаграм сигналів у портах.

Бібл. 9, іл. 5.

УДК 614.2+574/578+004.38

Литвинов О.А., Литвинов М.О. **Використання фреймового підходу для розробки інформаційних систем** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 1(144). – Дніпро, 2023. – С.83 – 98.

Робота присвячена особливостям застосування фреймового підходу для розробки інформаційних систем. Розглядається варіант генератору, що складається з трьох шарів, специфіка та результати його застосування для побудови гнучкого та надійного програмного забезпечення, адаптованого для зручного тестування та підтримки.

Бібл. 13. іл.7.

УДК 004-93

Ахметшина Л.Г., Мітрофанов С.К., Гайдара В.К. **Поліпшення слабконтрастних зображень в частотній області з використанням нечіткої інтенсифікації** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 1(144). – Дніпро, 2023. – С.99 – 107.

У роботі представлені інформаційні можливості методу обробки напівтонових медичних зображень, спрямованого на поліпшення контрасту та підвищення деталізації об'єктів інтересу з метою збільшення достовірності діагностування на їх основі. Пропонований алгоритм заснований на процесі багатоетапної обробки, що включає використання двовимірного частотного перетворення Фур'є та методу нечіткої інтенсифікації в просторовій області. Застосування Фур'є-перетворення передбачає корекцію його коефіцієнтів і реконструкцію зображення зворотним перетворенням. Корегуванню піддаються тільки аргументи комплексних коефіцієнтів. Досліджено вплив параметрів частотного перетворення на деталізацію результуючого зображення. Метод нечіткої інтенсифікації використовується як передобробка для другого етапу частотного перетворення. Наведено результати обробки на прикладі реальних рентгенівських знімків.

Бібл.8, іл. 8.

УДК 004.75

Дружинін Д.І., Герасимов В.В. **Асинхронна комунікація мікросервісів** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 1(144). – Дніпро, 2023. – С.108 – 118.

У зв'язку зі зростаючим попитом мікросервісної архітектури гостро стоїть питання асинхронної комунікації між сервісами. В роботі розглянуті особливості асинхронної комунікації, типи та патерни асинхронної комунікації та основні можливі виклики при проектуванні комунікації між сервісами. Наведені відмінності асинхронної від синхронної комунікації. Дано опис деяких популярних засобів, які застосовуються при комунікації мікросервісів, зроблено висновки щодо найбільш ефективних областей їх застосування.

Бібл. 8, табл. 2.

UDC 528.88: 004.9

Kashtan V.Yu., Hnatushenko V.V. **Information technology for detecting forest fire contours using optical satellite data** // System technologies. N 1(144) - Dnipro, 2023.- P.3 – 12.

The number of forest fires has increased significantly over the past ten years. It indicates that forest area estimates fires are a very urgent task today. The use of satellite-based data simplifies the process of assessing forest fires. The aim is to develop an information technology for automated forest fire contours detection on digital optical satellite datas in conditions of non-stationarity and uncertainty based on convolutional neural networks. The most popular tools for forest fire analysis are considered. This work proposed using hotspots to identify all fire and smoke pixels for automated forest fire contour detection. It made it possible to obtain contour polygons of the corresponding areas with various attributes: position, size, etc. The results are tested on Sentinel 2 satellite images of the Бвила region. The proposed method has an overall accuracy of 94.3% for the selection of forest fires.

Bibl. 9, ill. 5.

UDC 004.42:621.317.351

Ivon A.I., Istushkin V.F., Belugina V.O. **Software for scanning the brightness of the raster images pixels** // System technologies. N 1(144) - Dnipro, 2023.- P.13 – 19.

Web application for programmatically scanning of the analog oscillograms raster images when measuring parameters of pulse signals is described. The maximum brightness of the pixels on the signal lines of the oscillogram raster image, as a criterion for selecting of scan points, was used. The web application was created using the languages HTML5, CSS3, JavaScript and the Canvas technology. Internet browsers are the software environment for its use.

Bibl. 4, ill. 4.

UDC 004.42:621.317.351

Ivon A.I., Istushkin V.F., Lubimkin V.V. **Software for measuring the nonlinearity coefficient of volt-ampere characteristic from raster image of oscillogram** // System technologies. N 1(144) - Dnipro, 2023.- P.20 – 25.

An applied web application allowing to measure the nonlinearity coefficient of volt-ampere characteristic and its dependence on voltage and current based on the scanning data of raster images of the pulse signals analog oscillograms registered at the high electric currents is described. The web application was created using the languages HTML5, CSS3, JavaScript and the Canvas technology. Internet browsers are the software environment for its use.

Bibl. 3, ill. 2.

UDC 680.179:681.513

Tonkoshkur A.S., Lozovskyi A.S. **Algorithm for processing gas sensor's response kinetics data using extended exponential function without numerical differentiation** // System technologies. N 1(144) - Dnipro, 2023.- P.26 – 35.

Features of the use of computer technologies for processing experimental data to solve the problems of automating the research of materials for gas-sensitive sensors are considered. An algorithm for processing kinetic dependence based on the stretched exponential function model that is proposed, which does not use numerical differentiation operations when finding the parameters of this model. This makes it possible to reduce the influence of the presence of data scatter in the coordinates of approximating charts, which is used in the calculation of model parameters, to increase accuracy and contributes to the implementation of an automated information measurement system.

Bible 18, ill. 4, tab.1.

UDC 681.3.07

Khandetskyi V.S. **Optimizing the action of IEEE 802.11 computer networks at significant levels of bit error rate** // System technologies. N 1(144) - Dnipro, 2023.- P.36 – 43.

For a given level of noise, fragmentation of the frame's data field increases the probability of transmitting each individual fragment. But this is accompanied by an increase in the relative weight of overhead costs. We propose to determine the fragmentation optimum under condition of increased noise intensity by the maximum value of the product of fragmented frame successful transmission probability by the relative weight of overhead costs. The article presents results of calculations of the optimality criterion dependence on the fragmentation coefficient at different levels of noise, which allow optimizing the process of frames fragmentation.

Ref. 4, fig. 2.

UDC 004.021; 004.383

Matveeva N.O., Mokhov K.V. **Using Spring Framework to develop web applications** // System technologies. N 1(144) - Dnipro, 2023.- P.44 – 50.

The technology stack of Spring Boot framework, Spring Data JPA, Bootstrap, jQuery library and PostgreSQL database is used to develop a web application. The created application can be used to get answers to your own questions, help in solving other people's questions or find new acquaintances.

Bibl. 6., ill. 2

UDC 004.4

Ponomarev I.V. **Features of the .NET MAUI framework for creating a cross-platform applications** // System technologies. N 1(144) - Dnipro, 2023.- P.51 – 57.

The possibilities and features of the .NET MAUI framework for creating cross-platform applications are considered. Creating a single project with common code for all platforms, .NET hot reload speeds up application development. .NET MAUI provides shared project resource files, data binding support, use of triggers. The graphical interface is created separately from the program logic, which increases the efficiency of work. The main groups management application user interface, such as pages, layouts, and views.

Bibl. 2.

UDC 004.946

Sprintsev V.V., Sadychenko D.V., Spiritseva O.V. **Cross-platform Unity application for displaying 3D models of augmented reality using ARCore** // System technologies. N 1(144) - Dnipro, 2023.- P.58 – 66.

Recently, augmented reality technology has taken a qualitative step in development, which has enabled it to be useful in many areas of life. Augmented reality applications are unique in that they annotate or augment the user's reality. Practice has shown that augmented reality technology has unlimited potential and requires further research in the direction of creating innovative immersive applications. This work proposes a cross-platform Unity application for displaying 3D models of augmented reality using ARCore.

Ref. 4, fig. 7.

UDK 534.075.8

Kravets O.V., Dukhnevich K.L. **Verification of the computer design package ELCUT on the example of the problem of heating an inductor with a two-layer inwall** // System technologies. N 1(144) - Dnipro, 2023.- P.67 – 75.

The temperature fields of the induction heater for four pairs of inwall materials using the ELCUT software package were calculated; the patterns of temperature fields and isotherms for the studied cases of inwall materials of the induction heater are constructed, a diagram of comparison of the inwall average temperature in the outer and inner layers using the ELCUT package is constructed. The obtained numerical results were verified by comparing them with existing analytical solutions.

Bibl. 10, il. 5, tabl. 1.

UDC 004.383.8.032.26

Gnilenko A.B. **Layout design of a synaptic input with digitally controlled weight coefficients for a hardware implementation of an artificial spiking neuron** // System technologies. N 1(144) - Dnipro, 2023.- P.76 – 82.

The layout design of a synaptic input with digitally controlled synaptic weight coefficients is presented as a building component of a spiking neuron hardware implementation. The design is based on Leaky Integrate-and-Fire model of an artificial spiking neuron. The compact-sized layout is obtained using EDA tool with all necessary physical verifications fulfilled at every design stage. Layout versus schematic check and the simulation of signal waveforms at ports are performed based on the extracted netlist to validate the design.

Bibl. 9, fig. 5.

UDC 614.2+574/578+004.38

Lytvynov O.A., Lytvynov M.O. **On application of frame-based approach for information systems development** // System technologies. N 1(144) - Dnipro, 2023.- P.83 – 98.

The work is devoted to specific of frame-based approach application for information systems development. Three-layered generator provided to make the process of multi-layered information systems development more effective and robust. The results of its application in

the context of building more flexible and robust, testable and maintainable software are also discussed.

Bibl. 13, ill. 7.

УДК 004-93

Akhmetshina L. G., Mitrofanov S.K., Haidara V.K. **Improvement of low contrast images in the frequency domain using fuzzy intensification** // System technologies. N 1(144) - Dnipro, 2023.- P.99 – 107.

The paper presents the information possibilities of the method of processing halftone medical images aimed at improving the contrast and increasing the detail of objects of interest in order to increase the reliability of diagnosis based on them. The proposed algorithm is based on the process of multi-stage processing, which includes the use of two-dimensional frequency Fourier transformation and the method of fuzzy intensification in the spatial domain. The application of the Fourier transformation involves the correction of the TDDFT coefficients and the reconstruction of the image by the inverse ITDDFT. Only the arguments of complex coefficients of TDDFT can be adjusted. The effect of frequency conversion parameters on the detail of the resulting image was studied. The method of fuzzy intensification is used as a preprocessing for the second stage of frequency conversion. The results of processing are presented on the example of real X-ray images.

Bibl. 8, fig. 8.

UDC 004.75

Druzhynin D. I., Gerasymov V. V. **Asynchronous communication of microservices** // System technologies. N 1(144) - Dnipro, 2023.- P.108 – 118.

In connection with the growing demand for microservice architecture, the issue of asynchronous communication between services is acute. The paper examines the features of asynchronous communication, types and patterns of asynchronous communication, and the main possible challenges when designing communication between services. The differences between asynchronous and synchronous communication are given. A description of some popular tools used in the communication of microservices is given, and conclusions are drawn regarding the most effective areas of their application.

Bibl. 8, tab. 2.

Системні технології

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Випуск 1 (144)

Головний редактор: к.т.н., доц. Т.В. Селівьорстова

Технічний редактор та секретар збірки: к.т.н., доц. К.Ю. Островська

Здано до набору 31.01.2023. Підписано до друку 28.02.2023.

Формат 60x84 1/16. Друк - різнограф. Папір типограф.

Умов. друк арк. – 9,143. Обл.–видавн. арк. – 8,0.

Тираж 300 прим. Замовл. – 01/23

Український державний університет науки і технологій,
ННІ «Інститут промислових та бізнес технологій»,
кафедра Інформаційних технологій та систем: ІВК «Системні технології»
49600, Дніпро, а/с 493

<http://journals.nmetau.edu.ua/index.php/st>

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації:

Серія КВ № 8684 від 23 квітня 2004 рік

Редакційна колегія

Селівьорстова Тетяна Віталіївна
(*головний редактор*)

доцент, кандидат технічних наук

Алпатов Анатолій Петрович

Член-кореспондент НАН України,
професор, доктор технічних наук

Архипов Олександр Євгенійович

професор, доктор технічних наук

Бабічев Сергій Анатолійович

доцент, доктор технічних наук

Білозьоров Василь Євгенович

професор,

доктор фізико-математичних наук

Гече Федір Елемирович

професор, доктор технічних наук

Гуда Антон Ігорович

(*заст. головного редактора*)

професор, доктор технічних наук

Гнатюшенко Вікторія Володимирівна

(*вчений секретар*)

професор, доктор технічних наук

Гнатюшенко Володимир Володимирович

професор, доктор технічних наук

Гожий Олександр Петрович

професор, доктор технічних наук

Єрьомін Олександр Олегович

професор, доктор технічних наук

Кіріченко Людмила Олегівна

професор, доктор технічних наук

Світличний Дмитро Святозарович

професор, доктор технічних наук

Скалозуб Владислав Васильович

професор, доктор технічних наук

Хандецький Володимир Сергійович

професор, доктор технічних наук

Український державний університет науки і технологій, ННІ «Інститут промислових та бізнес технологій», Україна

Інститут технічної механіки

НАНУ і ДКАУ, Україна

Національний технічний університет

України «Київський політехнічний інститут» імені Ігоря Сікорського», Україна

Jan Evangelista Purkyně University
in Ústí nad Labem

Університет імені Яна Євангеліста Пуркіне,
Усті над Лабем, Чеська Республіка

Дніпровський національний університет
імені Олеся Гончара, Україна

Ужгородський національний університет,
Україна

Український державний університет науки і технологій, ННІ «Інститут промислових та бізнес технологій», Україна

Український державний університет науки і технологій, ННІ «Інститут промислових та бізнес технологій», Україна

Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка», Україна

Чорноморський національний університет
імені П.Могили, Україна

Український державний університет науки і технологій, ННІ «Інститут промислових та бізнес технологій», Україна

Харківський національний університет
радіоелектроніки, Україна

Akademia Górniczo-Hutnicza

Краківська гірничо-металургійна академія
ім. С. Сташціа, Польща

Український державний університет науки і технологій, ННІ «Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту»Україна

Дніпровський національний університет
імені Олеся Гончара, Україна