

ISSN 3083-6573 Print
ISSN 3083-6581 Online

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СИСТЕМИ

IT&S INFORMATION TECHNOLOGIES SYSTEMS

1 (1)
2025

TOPICS

- MOBILE PHONE TO CONTROL REMOTELY OF SMART HOME
- AUTOMATED SENTENCE ALIGNMENT IN PARALLEL TEXTS
- DETERMINING THE FEATURES OF A PERSON'S UNDER STRESSFUL CONDITIONS

Editor-in-Chief: O.M. KHIMICH, (Kyiv, Ukraine)

Deputies Editor-in-Chief: O.Ye. VOLKOV, (Kyiv, Ukraine),
YE.A. SAVCHENKO-SYNIKOVA, (Kyiv, Ukraine)

Editorial Board: Ali Abbasov Mammad oglu (Baku, Azerbaijan); O.Yu. Azarkhov (Dnipro, Ukraine); I.Ye. Andrushchak (Luts'k, Ukraine); A.V. Anisimov (Kyiv, Ukraine); I. Vlahavas (Thessaloniki, Greece); W. Wojcik (Lublin, Poland); D.O. Volosheniuk (Kyiv, Ukraine); A.M. Hlibovets (Kyiv, Ukraine), O. Gorbunovs (Riga, Latvia); V.F. Gubarev (Kyiv, Ukraine); L.F. Gulyanytskyi (Kyiv, Ukraine); A.M. Gupal (Kyiv, Ukraine); V.V. Zosimov (Odesa, Ukraine); P.I. Kohut (Dnipro, Ukraine); L.M. Kozak (Kyiv, Ukraine); S.L. Kryvyy (Kyiv, Ukraine); V.I. Lytvynenko (Kherson, Ukraine); R. Martínez Béjar (Murcia, Spain); S.V. Pavlova, (Kyiv, Ukraine); O.V. Palagin (Kyiv, Ukraine); S.L. Pogorilyy (Kyiv, Ukraine); N. Prokofyeva (Riga, Latvia); B. Savchynskyy (Heidelberg, Germany); A.-B. M. Salem (Cairo, Egypt); K.M. Synytsa (Kyiv, Ukraine); V.S. Stepashko (Kyiv, Ukraine); I.V. Surovtsev (Kyiv, Ukraine); L.S. Fainzilberg (Kyiv, Ukraine); Chen Huafeng (Zhejiang, China); A.O. Chykriy (Kyiv, Ukraine); M.I. Schlesinger (Kyiv, Ukraine)

Responsible Executor: H.O. Pezentsali

Editors: N.A. Charchiyan, A.Yu. Vitchenko, O.O. Lysenko

Computer Group: O.V. Tupalskiy, N.S. Stashkova

Media ID R30-05899

Editorial address: Institute of Information Technologies and Systems
of the National Academy of Sciences of Ukraine,
40, Hlushkova Akd. ave., Kyiv, 03187
phone: +380 (44) 526-00-09, e-mail: its.journal.ua@gmail.com,
<https://nasu-periodicals.org.ua/index.php/its>

Головний редактор: О.М. ХІМІЧ (Київ, Україна)

Заступники головного редактора: О.Є. ВОЛКОВ (Київ, Україна),
Є.А. САВЧЕНКО-СИНЯКОВА (Київ, Україна)

Редакційна колегія: Алі Аббасов Маммед огли (Баку, Азербайджан); О.Ю. Азархов (Дніпро, Україна); І.Є. Андрушчак (Луцьк, Україна); А.В. Анісімов (Київ, Україна); І. Влахавас (Салоніки, Греція); В. Войчик (Люблін, Польща); Д.О. Волошенюк (Київ, Україна); А.М. Глібовець (Київ, Україна); О. Горбуновс (Рига, Латвія); В.Ф. Губарев (Київ, Україна); Л.Ф. Гуляницький (Київ, Україна); А.М. Гупал (Київ, Україна); В.В. Зосімов (Одеса, Україна); П.І. Когут (Дніпро, Україна); Л.М. Козак (Київ, Україна); С.Л. Кривий (Київ, Україна); В.І. Литвиненко (Херсон, Україна); Р. Мартінес Бежар (Мурсія, Іспанія); С.В. Павлова (Київ, Україна); О.В. Палагін (Київ, Україна); С.Л. Погорілий (Київ, Україна); Н. Прокоф'єва (Рига, Латвія); Б. Савчинський (Гейдельберг, Німеччина); А.-Б. М. Салем (Каїр, Єгипет); К.М. Синиця (Київ, Україна); В.С. Степашко (Київ, Україна); І.В. Суровцев (Київ, Україна); Л.С. Файнзільберг (Київ, Україна); Чень Хуафен (Чжецзян, Китай); А.О. Чикрій (Київ, Україна); М.І. Шлезінгер (Київ, Україна)

Відповідальний виконавець: Г.О. Пезенцалі

Редактори: Н.А. Чарчян, А.Ю. Вітченко, О.О. Лисенко

Комп'ютерна група: О.В. Тупальський, Н.С. Сташкова

Ідентифікатор медіа: R30-05899

Адреса: Інститут інформаційних технологій та систем НАН України, м. Київ,
Просп. Акад. Глушкова, 40, 03187
Телефон: 526-00-09, e-mail: its.journal.ua@gmail.com,
Сайт: <https://nasu-periodicals.org.ua/index.php/its/>

Підп. до друку 30.06.2025 р. Формат 70 × 108/16. Гарн. Book Antiqua.
Ум. друк. арк. 7,31. Обл.-вид. арк. 7,99. Тираж 80 пр. Зам. № 7709

Видавець і виготовлювач ВД «Академперіодика» НАН України
01024, Київ, вул. Терещенківська, 4

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи серії ДК № 544 від 27.07.2001



NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE
INSTITUTE OF INFORMATION TECHNOLOGIES AND SYSTEMS
OF THE NAS OF UKRAINE

INFORMATION TECHNOLOGIES & SYSTEMS

1 (1)
2025

ACADEMIC AND RESEARCH JOURNAL
FOUNDED IN JANUARY 2025
PUBLISHED 6 TIMES PER YEAR
KYIV

CONTENTS

Theory of Information Technologies and Systems Construction

- Goltsev A.D., Holtsev O.O., Surovtsev I.V.* Algorithm for Calculating the Similarity between Histograms for Texture Segmentation 3
- Barkalov O.O., Titarenko L.O., Golovin O.M., Matviienko O.V., Saburova S.O.* Optimization of the Two-Level Mealy Machine Circuit in the FPGA Basis 24

Intellectual Information Technologies

- AL-Rawi M.* Using Mobile Phone to Control Remotely Electronic Devices in Smart Home System 39
- Korotiuk M.I., Rybachok N.A.* Automated Sentence Alignment in Ukrainian-German Parallel Texts 50

Digital Technologies in Learning

- [Manako A.F.], Manako V.V., Manako D.V.* Paradigmatic Model of Understanding and Using Artificial Intelligence in Learning 59

Digital Medicine

- Kobzar T.A., Kriachok T.V., Semikhova O.S., Chaliy P.V.* Algorithm for Determining the Features of a Person's Psycho-Emotional and Functional State under Stressful Conditions 77

- Author Guidelines** 89

ЗМІСТ

Теорія побудови інформаційних технологій та системи

Goltsev A.D., Holtsev O.O., Surovtsev I.V. Algorithm for Calculating the Similarity between Histograms for Texture Segmentation 3

Баркалов О.О., Титаренко Л.О., Головін О.М., Матвієнко О.В., Сабурова С.О. Оптимізація дворівневої схеми Автомата Мілі у базисі *FPGA* 24

Інтелектуальні інформаційні технології

AL-Rawi M. Using Mobile Phone to Control Remotely Electronic Devices in Smart Home System 39

Korotiuk M.I., Rybachok N.A. Automated Sentence Alignment in Ukrainian-German Parallel Texts 50

Цифрові технології в навчанні

Манако А.Ф., *Манако В.В., Манако Д.В.* Парадигматична модель розуміння і використання штучного інтелекту в навчанні 59

Цифрова медицина

Kobzar T.A., Kriachok T.V., Semikhova O.S., Chaliy P.V. Algorithm for Determining the Features of a Person's Psycho-Emotional and Functional State under Stressful Conditions 77

Керівництво для авторів 89

THEORY OF INFORMATION TECHNOLOGIES AND SYSTEMS CONSTRUCTION

ТЕОРІЯ ПОБУДОВИ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА СИСТЕМ

<https://doi.org/10.15407/intechsys.2025.01.003>

UDC 004.8 + 004.032.26

O.D. GOLTSEV, PhD (Engineering), Senior Researcher, Head of the Department,
Institute of Information Technologies and Systems of the NAS of Ukraine,
40, Hlushkova Akad. ave., Kyiv, 03187, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-2961-0908>

root@adg.kiev.ua

O.O. HOLTSEV, PhD Student,

Institute of Information Technologies and Systems of the NAS of Ukraine,
40, Hlushkova Akad. ave., Kyiv, 03187, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-1846-6648>

rcwolf@adg.kiev.ua

I.V. SUROVTSEV, DSc (Engineering), Senior Researcher, Head of the Department,
Institute of Information Technologies and Systems of the NAS of Ukraine,
40, Hlushkova Akad. ave., Kyiv, 03187, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0003-1133-6207>

igorsur52@gmail.com

ALGORITHM FOR CALCULATING THE SIMILARITY BETWEEN HISTOGRAMS FOR TEXTURE SEGMENTATION

Introduction. An algorithm for calculating the similarity degree between multidimensional histograms is presented. The proposed algorithm was intended for texture segmentation of images using histograms as texture features. The need to develop such a special algorithm is justified by the fact that the methods for estimating the similarity/difference measure between multidimensional vectors described in the literature provide such measures that are not very suitable for solving the texture segmentation task. The main peculiarity of the proposed algorithm is that when calculating the similarity value, it considers not only the corresponding histogram components, but also takes into account their nearest neighboring components. Due to this, the algorithm more adequately evaluates the similarity of histograms. The proposed

Cite: Goltsev O.D., Holtsev O.O., Surovtsev I.V. Algorithm for Calculating the Similarity Between Histograms for Texture Segmentation. *Information Technologies and Systems*, Kyiv, 2025, Vol. 1 (1), 03 – 23. <https://doi.org/10.15407/intechsys.2025.01.003>

© Publisher PH «Akademperiodyka» of the NAS of Ukraine, 2025. The article is published under an open access license CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

algorithm was implemented as a computer program as an integral part of the image segmentation model. The effectiveness of the histogram comparison algorithm was indirectly confirmed by the results of texture segmentation of the image segmentation model in experiments on processing various images, including natural landscapes.

Methods. The task of calculating the similarity between histograms is considered. A special algorithm is proposed because the analogical methods described in the literature are not very suitable for solving the texture segmentation task. The main peculiarity of the algorithm is that it takes into account as the corresponding histogram components as their nearest neighboring components. Due to this, the algorithm more adequately evaluates the similarity of histograms. The algorithm was implemented as a computer program. The effectiveness of the algorithm is indirectly confirmed by the results of texture segmentation of the image segmentation model in experiments on processing various images, including natural landscapes.

Purpose. The goal of this work is to develop an efficient algorithm for assessing the similarity of histograms, such as brightness histograms and orientation histograms of the texture windows. The algorithm is based on the idea of taking into account not only the corresponding components of both histograms, but also the components of their immediate environment.

Results. The main advantage of the proposed algorithm, compared to popular methods of calculating similarity/difference between objects (vectors), is that the range of similarity between the compared histograms (from complete similarity to complete difference) is 100%, while popular methods can offer several times smaller ranges of similarity percentage.

Conclusions. The proposed algorithm provides a wide range of similarity between the compared histograms which is 100% (from complete similarity to complete difference), while popular methods can offer several times smaller ranges of similarity percentage. The algorithm was implemented as a computer program as a component of a model that solves the problem of segmenting a visual image into homogeneous texture areas. It is worth noting that the proposed histogram comparison algorithm calculates the similarity measure between histograms very quickly, since it uses only simple operations.

The effectiveness of the algorithm for texture segmentation of images into homogeneous texture areas is confirmed by the results in the experiments on natural image processing. The results obtained in the experiments demonstrate the effectiveness of the algorithm and show that the algorithm performs correct (from a human point of view) texture segmentation of a wide range of images. Thus, the effectiveness of the key operation of the segmentation algorithm, the histogram comparison algorithm, is indirectly confirmed.

Keywords: Image processing, Similarity of histograms, Texture features, Texture segmentation.

Introduction

This paper considers the problem of evaluating the similarity between histograms, that are used as texture features for the task of dividing an image into texture segments. The problem of texture segmentation of images is a key one for the analysis of natural visual scenes of various natures such as landscapes, satellite photographs, medical images etc.

The problem of texture segmentation of images has different complexity depending on the amount of available information about the image being processed. For example, solving this problem is greatly simplified if the number of texture segments present in the image is known. The task is also significantly simplified if samples of texture fragments that need to be extracted from the image are provided. Using this information, the parameters of the segmentation algorithm can be adjusted accordingly by means of training, for example. This approach belongs to the category of supervised learning, is currently dominant, and presented in a significant number of publications [1–10].

Another approach to the texture segmentation problem implies that neither the number of texture segments nor the texture fragment samples of these segments are given. Instead, the segmentation algorithm extracts texture regions without any additional information or training, but using some universal texture features. This approach falls to unsupervised texture segmentation, [11–21].

Textures may be divided into fine-grained and coarse-grained [13]. Image areas representing objects with discontinuities in depth, material, illumination etc., correspond to coarse texture segments, while fine-grained textures are characterized by a smooth change in image brightness and fine granularity. Texture segmentation of images can be performed both by selecting areas of coarse texture and by selecting homogeneous segments of fine-grained texture. The presented approach belongs to the latter one. It is worth noting that the discrimination of textures to “coarse” or “fine-grained” is, to a large extent, rather relative. Indeed, by increasing the degree of image resolution, fine-grained segments may turn into coarse ones. In the presented work, the size and image resolution are fixed.

The ability to assess the similarity between objects is one of the foundations of both natural and artificial intelligence. However, the concept of “similarity” is an intuitive concept that does not have a strict formal definition. Nevertheless, the literature describes a variety of mathematical methods and algorithms designed to determine the measure of similarity between objects.

Calculation of a similarity measure between objects was used to solve the similarity search (proximity search, best match retrieval) problem, the purpose of which is to identify database objects that are similar to a query object. Also such search is called the nearest neighbor search or the nearest neighbor problem. Similarity measures also are used in many data analysis, statistics, machine learning and other problems related to artificial intelligence. Many methods have been developed to measure the similarity between such objects as vectors, sequences, trees, and graphs [23–28].

The closest to the topic of this work are methods for determining the similarity/dissimilarity of vectors of large dimensions. Distance is a measure of the “dissimilarity” or “difference” of vectors – for example, the Euclidean distance, Manhattan distance, Hamming distance, Minkowski distance, Mahalanobis distance, Bulldozer’s distance (earth mover’s distance, EMD [22–28]). There are also direct measures of vector similarity, the larger values of which correspond to more similar vectors (for example, the cosine of an angle or the scalar product of vectors [24–28]).

Among the various variations of component-wise comparison methods described in the literature, the simplest measure of vector difference is the Euclidean distance [22, 24, 25]. The Euclidean distance does not take into account the dependencies between all vector components: only corresponding components (i.e., components with the same serial numbers (indices)) are compared. The cross-component distance of quadratic form, also known as the Mahalanobis distance, allows one to determine the similarity between all vector components [14].

However, all mentioned above methods are difficult to use for comparing histograms when solving the problem of texture segmentation.

At the first glance, the concept of a histogram is identical to the concept of a vector. However, this is not entirely true. The fact is that the values of the vector components are generally independent of each other and can take any values. Unlike a vector, the values of the histogram components are interconnected in such a way that the sum of the values of all the histogram components (with any changes in its shape) remains constant. This means that if the height of some histogram column (due to changes in external conditions) increases, this is necessarily accompanied by a decrease in the heights of other histogram columns (always neighboring ones), so that the sum of the heights of all its columns remains unchanged. Such interdependence of the histogram components provides an opportunity for some improvement of the method for calculating the similarity between histograms, compared to the methods for calculating such similarity between arbitrary vectors.

In accordance with the title of the paper, the goal of this work is to develop an efficient algorithm for assessing the similarity of histograms, such as brightness histograms and orientation histograms of the texture windows. The algorithm is based on the idea of taking into account not only the corresponding components of both histograms, but also the components of their immediate environment.

This paper is a continuation, development and revision of the paper [29], which was devoted to solving the same problem. The main difference between this work and [29] is a significant change in the algorithm for calculating the similarity of the corresponding components of histograms. The similarity of the corresponding components was determined by measuring the size of the intersection of the compared histogram columns [29]. The disadvantage of this approach is the uneven calculation of the similarity measure when comparing pairs of histogram columns with significantly different heights. In the present paper, this disadvantage is eliminated by introducing a method for determining the similarity of the corresponding histogram columns by calculating the ratio of their heights, which does not depend on the absolute values of the column heights.

The paper is organized as follows. Section 1 Introduction. Section 2 provides descriptions of such texture features as brightness and orientation histograms. Section 3 gives an overview of the whole segmentation procedure. In Section 4 we try to substantiate the relevance of the paper task. Section 5 contains the actual description of the histogram comparison algorithm. Section 6 shows a comparison between some experimental histograms. Section 7 is devoted to discussion and conclusions.

Histograms as Texture Features

In the field of pattern recognition, it is well known that the choice of features used for recognition has a decisive effect on the recognition results. Accordingly, the results of texture segmentation also strongly depend on how well the selected set of features describes the textures.

In this work, grayscale photographs of some physical objects or natural scenes, such as landscapes, are used as images. The main type of features used in our work is the brightness histogram for the following reasons. The brightness histogram adequately represents the distinctive texture features of a homogeneous segment of fine-grained texture, providing an ambiguous, but very informative description of it. The histogram remains invariant when changing the coordinates of the texture window inside the homogeneous texture segment. At the same time, in all natural images, the histograms of different texture segments differ significantly from each other.

The brightness histogram adequately represents the distinctive peculiarities of the texture of a homogeneous fine-grained segment, remaining invariant when changing the coordinates of the texture window inside the segment. The histogram provides, although not entirely unambiguous, but very informative description of the texture of a homogeneous segment. Of course, it is possible to artificially construct different texture regions with the same brightness histograms. However, in natural images, the histograms of different texture segments differ significantly from each other, and it is almost impossible to find adjacent texture segments with the same histograms in natural images.

Any grayscale image is actually an integer matrix, each element of which represents the brightness value of the corresponding pixel of the image. In such images, brightness values range from 0 to 255.

To evaluate the texture characteristics of different areas of an image, texture windows of the same size are used, which cover the entire image (with overlaps). Currently, the use of texture windows to evaluate texture characteristics is the most common method. Texture characteristics measured in texture windows serve to evaluate the similarity and/or difference between the corresponding areas of the image.

The histogram of brightness of all pixels of the texture window consists of 256 columns, in accordance with the range of brightness of the grayscale image. The height of each column of the histogram represents the number of pixels of the texture window that have the corresponding brightness values. The maximum height of the columns is equal to the number of pixels in the texture window. In the experiments, texture windows of 15×15 pixels in size are used. Accordingly, the maximum height of the column of the brightness histogram is 225.

The second histogram, used in the texture segmentation algorithm as a texture feature is the orientation histogram of all pixels in the texture window. This histogram is calculated based on filtering the image using

the Scharr filter [30]. The orientation histogram is necessary to distinguish between texture segments that contain differently oriented strokes. In the experiments, the orientation histogram consists of eight columns.

General Description of the Texture Segmentation Algorithm

In [15–18], a texture segmentation algorithm is described that extracts all homogeneous fine-grained texture segments sequentially, in an iterative process, starting with the more homogeneous and ending with the less homogeneous segments. In each iteration, first of all, the starting point (grain) is detected, which belongs to the most homogeneous texture segment present in the image. Subsequently, this grain is expanded by successively adding to it the surrounding image pixels.

A set of texture features is extracted from the initial point and its immediate surroundings and stored to perform the procedure of extracting this homogeneous texture segment. This set of features is considered as characteristic (typical, representative) for this segment and is used for successive comparison with the surrounding areas of the image. If the set of features extracted from the surrounding area (pixel) coincides with the characteristic one, then this area is attached to the initial point of the extracted texture segment. The process of such successive comparison (with subsequent attachment of pixels) continues until the boundaries of the homogeneous texture segment are reached. Thus, the segmentation procedure is performed based on the region growing method [19–21].

Algorithm for Comparing Low-dimensional Histograms

According to the above description of the segmentation algorithm, the most important procedure of the algorithm is the comparison between the characteristic (representative) texture features extracted from the initial points of the segment with the texture features extracted from the texture windows surrounding the initial point.

Since the main texture features used in this work to solve the segmentation problem are the brightness histogram and the orientation histogram, the key operation of the segmentation algorithm is to calculate the similarity value between these histograms extracted from two adjacent texture windows.

As mentioned above, the algorithm presented in [29] is revised in this work. In [29], the similarity of the corresponding components of the compared histograms was performed by measuring the intersection size of their values. Let us consider an example of two pairs of histogram columns: in one pair the columns have values of 100 and 80 units, and in the other pair they have values of 10 and 8 units. It should be evident that the similarity between considered pairs of columns is the same. However,

when comparing a pair of histogram columns by measuring the size of their intersection, the intersection size of the first pair is 80 units, while the second pair is 8. Therefore, if we calculate the similarity of these pairs by measuring the intersection sizes, we should normalize the sizes 80 and 8, if we want to determine the similarity of all corresponding histogram columns by the same algorithm. Thus, the disadvantage of this approach is the uneven calculation of the similarity measure when comparing pairs of histogram columns with different heights. In this paper this disadvantage is eliminated by introducing a method for determining the similarity of two corresponding histogram columns by calculating the ratio of their heights, which does not depend on the absolute values of their heights.

The main subject of this work is the algorithm for calculating the measure of similarity of multidimensional histograms, which is presented below. However, let us first consider the algorithm for comparing histograms consisting of a small number of components. Such, in particular, is the orientation histogram, consisting in this work of 8 components.

Let two histograms P and D be given, each consisting of the same number of components (columns) ($i = 1, 2, \dots, N$). The task is to determine the value of their similarity. Let us denote the height of the i -th column of the histogram P by P_i , and the height of the i -th column of the histogram D by D_i . Let us denote the ratio of the corresponding heights of the columns with index i by R_i . These designations refer to both low-dimensional and multidimensional histograms.

The algorithm for calculating the similarity measure of low-dimensional histograms is as follows.

Let us assume that all components of both compared histograms have non-zero values. The simplest and the most obvious algorithm for calculating the similarity measure of two such histograms is based on a component-wise comparison of the corresponding histogram columns, i.e. columns with the same indices i . For each such component-wise comparison, the maximum and minimum heights of the corresponding columns H_i^{\max} and H_i^{\min} are first determined. Namely, if $P_i > D_i$, then $H_i^{\max} = P_i$ and $H_i^{\min} = D_i$; if $D_i > P_i$, then $H_i^{\max} = D_i$ and $H_i^{\min} = P_i$. Then, the ratio $R_i = H_i^{\min} / H_i^{\max}$ is calculated, which is expressed as a number in the range 0–1. Let us denote the similarity between the histograms, calculated on the basis of a component-wise comparison of their columns, by R^0 , it is calculated by the formula

$$R^0 = \sum_{i=0}^N (H_i^{\min} / H_i^{\max}), \quad (1)$$

where $i = 0, 1, 2, \dots, N$.

Thus, the degree of similarity between histograms is determined by the sum of the ratios of the heights of the corresponding components of the histograms.

However, in reality, many components of histograms may have zero values. In this case, the calculation of the similarity measure is performed by a slightly more complex procedure, which is described by **Algorithm 1** in a (C++ like) the pseudo-code format.

Algorithm 1. Calculation of the similarity between two histograms based on component-wise comparison

```
float R0 = 0;
int Q = 0;
for (i = 0; i < N; i++)
{
  if (Himax == 0)
    continue;
  else
  {
    Q++;
    R0 = R0 + float Himin/Himax;
  }
}
R0 = R0/Q.
```

The similarity value R^0 , calculated according to **Algorithm 1**, is a number in the range 0–1. When multiplied by 100, this number turns into a percentage of similarity, in the range 0–100%, where 100% means complete similarity.

As follows from **Algorithm 1**, when calculating the similarity of histograms, only such pairs of corresponding columns are taken into account in which at least one of the columns has a non-zero height. Let us note that with an increase in the number of pairs of columns in which only one of them has a non-zero height, the value of the Q parameter increases, which ultimately leads to a decrease in the similarity value.

Also, from **Algorithm 1** it follows that if both compared components of the histogram have zero values, then these components are not taken into account at all when calculating the similarity. The rationale for ignoring paired zero components of histograms is as follows.

The maximum difference between the brightness histograms of two texture windows occurs when one texture window is located on the black area of the image $RGB = \{0, 0, 0\}$, and the second window is on the white: $RGB = \{255, 255, 255\}$. In this case, in the histogram of the black texture window, only one component with index $i = 0$ has a non-zero (maximum) value. And in the histogram of the white texture window, the only non-zero column (of maximum height) corresponds to the component with index $i = 255$. These two histogram columns have the same height, equal to the number of pixels in the texture window. At the same time, the similarity between such histograms should obviously be zero. At the same time, all the other 254 corresponding components of both histograms (excluding components with indices $i = 0$ and $i = 255$) have the same zero

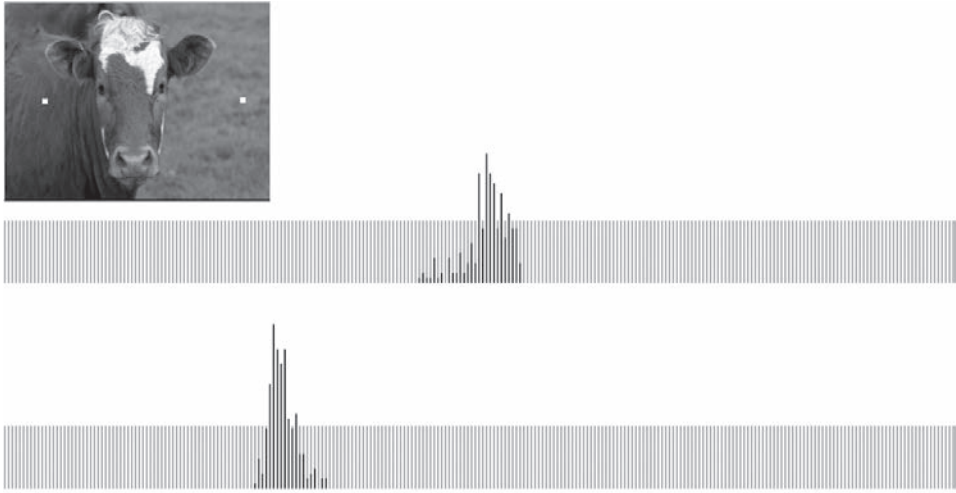


Fig. 1. Brightness histograms of two texture windows, one of which belongs to the “grass” texture (the upper one), and the other – to the “cow” texture (the lower one)

value. So, if we take into account the similarity of these 254 corresponding zero components in any way, even the most minimal way, and add it to the total similarity value, then the degree of similarity of the histograms under consideration will no longer be equal to 0%, which contradicts the initial intuitive assessment of their similarity.

In the experiments conducted in this paper, texture windows of $15 \times 15 = 225$ pixels were used. The brightness histogram of each such texture window (in contrast to the low-dimensional orientation histogram), which, in the case of a grayscale image, consists of 256 components (0–255), is quite variable. This paper presents an algorithm designed to calculate the similarity value between multidimensional variable histograms, which is somewhat more complex than the one described above. The need to develop such an algorithm is argued as follows.

Figure 1 shows an example of two brightness histograms belonging to different textures. These are histograms of two texture windows measuring 15×15 pixels, the centers of which are marked with white squares in the original image. Namely, the upper histogram (No. 1) belongs to the texture window located on the “grass” texture, and the lower histogram (No. 2) corresponds to the texture window related to the “cow” texture segment.

As can be seen from Figure 1, the histograms of these texture windows differ significantly from each other. They differ both in amplitude and, above all, in that the non-zero components of both histograms do not intersect, but are located in different positions within the histograms. From the point of view of common sense, similar histograms should have significant intersections between corresponding columns, and dissimilar ones should have small intersections, in the limiting case equal to zero. In Fig. 1, there is no such intersections at all. For the purposes of texture segmentation, the histograms presented in Fig. 1 should prefe-

rably be considered completely different, with a similarity measure equal to zero.

However, popular methods for calculating similarity/difference between vectors, such as, for example, the Euclidean distance ([22], [24], [25]), the Bulldozer distance (earth mover's distance, EMD [23], [24]), the Mahalanobis distance [14], give not zero, but significant values of similarity between such histograms.

Among the various variants for component-wise comparison of vectors, the Euclidean distance is the simplest measure of similarity/dissimilarity between them. The Euclidean distance – *Dist*, between multi-component vectors is calculated by the formula:

$$Dist = \sqrt{\sum_{i=0}^N (P_i - D_i)^2}, \quad (2)$$

where $i = 0, 1, 2, \dots, N$.

In particular, the Euclidean distance between the histograms shown (Fig. 1) is 89.24. To convert this number into a percentage of similarity between the histograms, we use the reasoning considered above.

As mentioned above, the maximum difference (distance) between the brightness histograms of two texture windows occurs when one texture window is located on the black area of the image $RGB = \{0, 0, 0\}$, and the second window is on the white area $RGB = \{255, 255, 255\}$. In this case, for texture windows of $15 \times 15 = 225$ pixels, the maximum Euclidean distance (i.e., the maximum difference value) between these vectors according to Eq. (2) is $\sqrt{(225^2 + 225^2)} = 318.2$. The minimum Euclidean distance, naturally, is zero, i.e., this is a complete, 100% similarity. Accordingly, the intermediate percentages of similarity between the histograms are calculated as follows.

If the Euclidean distance between the histograms (Fig. 1) is 89.24, then the percentage difference between them is determined by the value $(89.24/318.2)100\% = 28.05\%$. Accordingly, the percentage similarity between the histograms is $(100 - 28.05) = 71.95\%$. Thus, there is a significant difference between the desired percentage similarity – 0% and the percentage similarity calculated based on the Euclidean distance – 71.95%.

As mentioned above, the process of texture segmentation involves a sequential expansion of the area occupied by a homogeneous texture segment. Such expansion is performed based on the results of comparison of texture features, the main of which is the brightness histogram. If, in the process of texture segmentation, the percentage of similarity calculated based on the Euclidean distance (i.e. 71.95%) is used to compare the histograms shown (Fig. 1), then with such a large value of the percentage of similarity, the segmentation algorithm would have difficulties while separating the areas occupied by the "cow" and "grass" textures (Fig. 1). A completely different situation occurs if the percentage of similarity

between these histograms is 0%. It should be obvious that in this case it will be easier for the segmentation algorithm to find the boundary between the indicated texture areas.

The above considerations justify the relevance of developing a specialized algorithm for measuring the similarity between multi-component histograms for the task of texture segmentation, presented in this paper.

The main advantage of this algorithm is that the range of similarity values between the compared histograms (from complete similarity to absolute difference) is 100%, while the popular methods of measuring similarity between vectors mentioned above provide a much smaller range of similarity percentage values. In particular, in the example considered above, the range of similarity measure variation for the Euclidean distance is $100 - 72 = 28\%$. In practice, the range of similarity percentage values from 0 to 100% of the proposed algorithm allows for more accurate detection of boundaries between adjacent texture segments.

The Algorithm of the Histogram Comparison

When comparing histograms that consist of a small number of components and, therefore, are not variable, it is quite sufficient to use Algorithm 1 to determine the similarity between them. However, for multi-component histograms, such as texture window brightness histograms, the sum of the ratios of the heights of the corresponding histogram columns does not adequately reflect the similarity between the histograms. The fact is that the texture window brightness histogram is very susceptible to changing its shape with small fluctuations in the environment. That is, the values of some of the brightness histogram components can change with minor local illumination fluctuations, small shifts or rotations of the image. Accordingly, the similarity between the compared texture window histograms will also change.

When comparing such histograms in the process of solving the texture segmentation task, it would be highly desirable to have a degree of similarity between the histograms that is weakly dependent on small changes in their shape. The algorithm presented below, which is insensitive (robust) to small changes in their shape, is intended precisely for comparing such variable histograms. The algorithm is based on the obvious idea of taking into account not only the corresponding components of both histograms, but also the components of their immediate surroundings. The meaning of taking into account the immediate surroundings of each histogram component can be explained by the following reasoning.

In case of local changes in the illumination of any object zone in the image within the texture window, the brightness histogram of this window will change. Let us consider two texture windows with histograms P and D . Let the value of the i -th component $P_i > 0$ in the histogram P . Let us assume that in case of a small local change in the illumination of

the window P (while the window D remains in the same lighting conditions), some change in the value of the i -th component of the histogram P occurs, i.e. the height of the P_i column changes. In this case, since the heights of all the columns in each histogram are interconnected, the heights of the columns of the immediate environment of the i -th component of the histogram P necessarily change. Moreover, the changes in the heights of the P_i column and the columns of its immediate environment will be oppositely directed. Namely, if the height of P_i increases, the height of the P_{i-1} and P_{i+1} columns will decrease and vice versa.

Then, when calculating the similarity of the histograms P and D , if we compare only the corresponding columns P_i and D_i , then due to the fluctuation of illumination the size of the similarity between the histograms also changes. If, however, when calculating the similarity of the histograms, we take into account the components of the immediate environment of the components of both histograms, then the change in the value of similarity between the histograms will be compensated, at least to some extent.

The algorithm for calculating the similarity of histograms taking into account their immediate environment is as follows.

Let M denote the radius of the nearest neighborhood of each i -th component of the histograms. In the process of calculating the similarity of histograms taking into account their nearest neighborhood, the operations described below are performed between each i -th component of the histogram P (i.e., P_i) with each of the $(2M + 1)$ components of the histogram D . That is, to perform the operations described below, the i -th component of the histogram P is related to the component of the histogram D shifted by a certain number of columns to the right or left relative to the value of i . If we denote the shift value by m , then the component P_i is successively related to the components D_j , where $j = i + (-) m$, $m = 0, 1, 2, 3, \dots, M$.

The mentioned above operations performed between each component P_i and component D_j are as follows. First of all, the height of the column D_j is multiplied by some reduction factor K_m , $K_m < 1$. Let us denote the height of the j -th column of the histogram D after such multiplication as D_j^m , then $D_j^m = K_m D_j$. If a local fluctuation in the illumination of the texture window P occurs, which leads to a change in the height of the column P_i , a change in the heights of the columns of its immediate environment P_j , $j = i + (-) m$, necessarily occurs. The greater the difference $m = |i - j|$, the smaller the change in the height of the column P_j . By introducing the reduction factors K_m , we tried to introduce the same relationship between the columns P_i and D_j^m . That is, the larger $m = |i - j|$, the less influence the component D_j^m should have on the degree of similarity between the histograms.

The reducing factors $K_0, K_1, K_2, \dots, K_m, \dots, K_M$ are related to each other as follows: $K_0 > K_1 > K_2 > K_3 > \dots > K_m > \dots > K_M$, where $K_0 = 1$.

Then, between the considered components P_i and D_j^m , the maximum and minimum values H_i^{\max} and H_i^{\min} , are determined, namely, if $P_i > D_j^m$, then $H_i^{\max} = P_i$ and $H_i^{\min} = D_j^m$; if $D_j^m > P_i$, then $H_i^{\max} = D_j^m$ and $H_i^{\min} = P_i$.

The ratio $R_i^j = H_i^{\min}/H_i^{\max}$ is calculated, which determines the measure of similarity between the heights of the considered columns P_i and D_j^m .

For each index i , the values of R_i^j are calculated for all j : from $j = i - M$, to $j = i + M$. Then, among all calculated $(2M + 1)$ values of R_i^j , the maximum is determined – $R_i^j(\max)$:

$$R_i^j(\max) = \text{MAX} (R_i^j), \quad (3)$$

$$j = i + 2M,$$

$$j = i - 2M.$$

Let us denote the similarity value between the histograms P and D , calculated taking into account the immediate surroundings of the histogram columns, by R^M , which is determined by summing the values of $R_i^j(\max)$ over all indices i , similar to **Algorithm 1**. The procedure is described below by **Algorithm 2** also a (C++ like) the pseudo-code format.

Algorithm 2. Calculation of the similarity between two histograms taking into account the immediate neighborhood of the histogram columns

```
float RM = 0;
int Q = 0;
for (i = 0; i < N; i++)
{
    if (Pi == 0)
        continue;
    else
    {
        Q++;
        RM = RM + Rij(max);
    }
}
RM = RM/Q.
```

The radius of the nearest environment of the histogram components M depends on the size of the histograms N and on the initially specified tendency of the algorithm. The larger the radius M , the more pronounced the tendency of the algorithm to consider the compared histograms similar. Conversely, with a decrease in M , the tendency to consider the histograms dissimilar increases.

For the task of texture segmentation, it is advisable to express the similarity between the histograms of texture windows as a percentage. That is, if the similarity percentage is close to 0%, then the compared texture windows should obviously be classified as different textures. Conversely, if the similarity percentage approaches 100%, then these texture windows should be classified as belonging to the same texture. Let us denote the similarity percentage of histograms by S , $S = R^M \cdot 100\%$. So, the measure of similarity of histograms S is expressed by a number lying in the range 0–100%.

When assessing the similarity of texture characteristics of different image areas (texture windows), an important texture characteristic is the

average illumination level of the texture window. If the compared texture windows have the same average illumination level, the algorithm described above adequately assesses the degree of their texture similarity based on the similarity of the histograms. However, if the compared windows belonging to the same texture have significantly different average illumination levels, the algorithm can assess their similarity as zero. The fact is that the histograms of texture windows with different average illumination are shifted relative to each other by the value of the difference in their illumination. And, therefore, there may be no intersections between their columns.

Thus, if the task is to evaluate the level of texture similarity of two texture windows regardless of their illumination, then, obviously, the histograms should be shifted relative to each other by the difference between their average illuminations.

Experimental Comparison of Similarity Measures of Brightness Histograms

To illustrate the properties of the proposed algorithm for measuring the percentage of similarity between histograms, the following experiments were conducted.

In the first series of experiments, pairs of texture windows belonging to different textures were considered. Figure 1 shows an example of two such texture windows located on different textures, the centers of which are shown as white squares in the figure. As can be seen from Figure 1, the histograms of these texture windows differ significantly from each other, mainly because the non-zero components of both histograms are located in inappropriate positions within the histograms. From the point of view of common sense and from the functional point of view (for solving the problem of texture segmentation), these histograms should be classified as completely different. And, accordingly, the algorithm proposed in this paper gives an estimate of the percentage of similarity between them equal to zero.

At the same time, the Euclidean distance calculated by Eq. (2) is 89.24. According to the reasoning given in Section 4, the percentage of similarity between the histograms under consideration, determined based on the Euclidean distance, is 71.95%.

In the second series of experiments, pairs of texture windows belonging to the same texture were considered. In Figure 2, the centers of two such texture windows are also marked with white squares. The corresponding brightness histograms were built, which are also shown (Fig. 2). As can be seen from Figure 2, the non-zero components of both histograms occupy approximately the same position inside the histograms, and the corresponding columns have significant intersections.

The Euclidean distance between the histograms calculated by Eq. (2) is 40.64. Since the maximum Euclidean distance between the brightness histograms (in this work) is 318.2 (see Section 4), the percentage of dif-

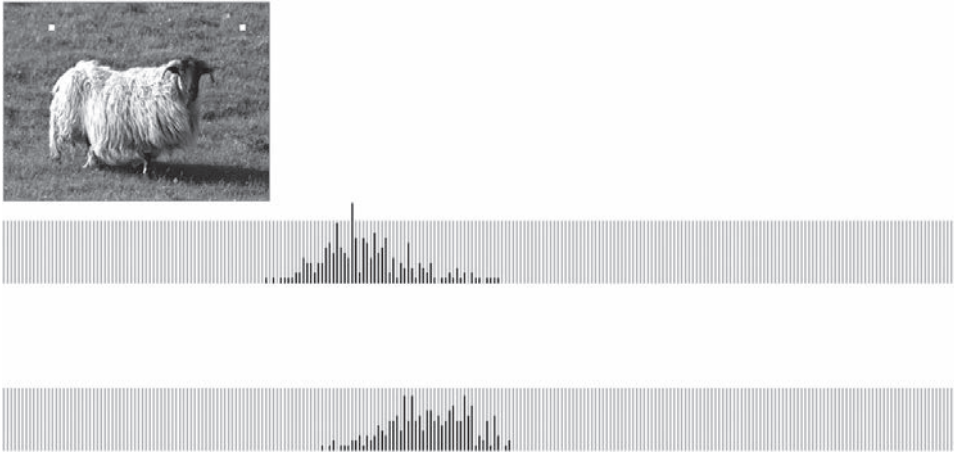


Fig. 2. Histograms of two texture windows belonging to the same “grass” texture

ference between the histograms based on the Euclidean distance is determined by the value $(40.64 / 318.2) 100\% = 12.77\%$. Accordingly, the percentage of similarity is $100 - 12.77 \approx 87\%$.

The similarity value of the histograms presented in Figure 2, calculated by means of a component-wise comparison R^0 according to **Algorithm 1** (without taking into account the immediate surroundings of the histogram components) is 37%.

Then, the similarity value of the histograms was calculated taking into account the immediate surroundings of the histogram components. In the process of such calculating, the reducing coefficients $K_1, K_2, K_3, \dots, K_m, \dots, K_M$ were used (Section 5). The radius of the immediate surroundings of each column M was limited by 7. The coefficients $K_1, K_2, K_3, \dots, K_m, \dots, K_7$ were calculated using the formula $K_m = (1 - 0.1 m)$. Using such coefficients led to the following result. The percentage of similarity of the histograms turned out to be equal to 67%.

Thus, compared to R^0 , the percentage of similarity R^M calculated using the algorithm proposed in this paper increases by approximately 45%. (This percentage was obtained as a result of averaging in a series of similar experiments.)

This result is predictable. Indeed, in accordance with **Algorithm 2**, taking into account neighboring components of the compared histograms leads only to an increase in the degree of similarity between them, but in no case to a decrease. Moreover, with an increase in the radius of the nearest environment M , the percentage of similarity between the histograms only grows.

The following conclusion can be drawn from the experiments. For the algorithm proposed in this paper, the percentage of similarity between the histograms of different textures (such as “cow” and “grass”) is 0%, and the percentage of similarity between the histograms of the same textures (such as “grass” and “grass”) is 67%. That is, the range of change in the percentage of similarity from different to the same textures is approx-

ximately 70%. At the same time, for the algorithm based on the Euclidean distance, the percentage of similarity between the histograms of different textures (such as “cow” and “grass”) is 72%. And the percentage of similarity for the same textures (such as “grass” and “grass”) is 87%. That is, the range of change in the percentage of similarity from different to the same textures is only 15%. So, the advantage of the proposed algorithm is obvious for solving the problem of texture segmentation of images.

Discussion

A simple algorithm for measuring the similarity between histograms is presented. The proposed algorithm is intended for application, first of all, to texture segmentation of images using brightness histograms of texture windows as texture features. This algorithm was used in the texture segmentation models described in [15–18].

The texture segmentation algorithm sequentially extracts all areas of homogeneous fine-grained texture present in any image. As the main features characterizing the texture features of different areas of the image, the algorithm uses a brightness histogram and an orientation histogram built in texture windows covering the entire analyzed image. The texture similarity of different areas of the image is determined by comparing their histograms, using the algorithm described above.

In order to correctly estimate the similarity value of histograms used as texture features and characterizing the texture peculiarities of different areas of an image, it turned out to be appropriate to develop a special algorithm, presented in this paper. The need to develop such a special algorithm is justified by the fact that the methods for estimating the similarity/difference measure described in the literature provide such similarity/difference measures of histograms that are not very suitable for solving the problem of texture segmentation (Section 4).

The main advantage of the proposed algorithm, compared to popular methods of calculating similarity/difference between objects (vectors), is that the range of similarity between the compared histograms (from complete similarity to complete difference) is 100%, while popular methods can offer several times smaller ranges of similarity percentage.

It should be noted that, in contrast to the component-wise comparison of histograms, a characteristic feature of the proposed algorithm is the fact that this algorithm gives, in general, higher percentages of similarity.

It is well known that “texture” is an intuitive concept that does not have a formal or generally accepted definition [31]. Thus, the problem of texture segmentation belongs to the category of fuzzy problems, these statements are also true for the concept of “similarity”. It follows that all methods and algorithms proposed for solving the problem of texture segmentation and the problem of calculating similarity are heuristic. Accordingly, the algorithm for determining the similarity measure between histograms proposed in the article is also heuristic.



Fig. 3. Results of texture segmentation of a grayscale image (left part of the figure). The right part of the figure shows the 5 largest texture segments extracted by the model (in different colors)

The algorithm for calculating the similarity measure between histograms was implemented as a computer program as a component of a model that solves the problem of segmenting a visual image into homogeneous texture areas. It is worth noting that the proposed histogram comparison algorithm calculates the similarity measure between histograms very quickly, since it uses only simple operations.

Currently, such algorithm parameters as the texture window size, the similarity threshold by which similar texture windows are distinguished from dissimilar ones, and the radius of the nearest neighbor M are selected heuristically, and the correctness of their choice is verified experimentally — by comparing the results of image segmentation with human common sense.

The effectiveness of the algorithm for texture segmentation of images into homogeneous texture areas is confirmed by the results in the experiments on natural image processing. The results obtained in the experiments demonstrate the effectiveness of the algorithm and show that the algorithm performs correct (from a human point of view) texture segmentation of a wide range of images [15–18]. Thus, the effectiveness of the key operation of the segmentation algorithm, the histogram comparison algorithm, is indirectly confirmed.

Figure 3 is presented as an example, which demonstrates the results of the texture segmentation of a landscape image (upper part of the figure).

The lower part of the figure shows the five largest homogeneous texture segments extracted by the algorithm.

Conclusions

An algorithm for calculating the similarity between histograms for texture segmentation is proposed. A characteristic feature of the proposed algorithm is the fact that this algorithm gives high percentages of similarity. The algorithm implemented as a computer program as a component of a model that solves the problem of segmenting a visual image into homogeneous texture areas. The effectiveness of the algorithm is confirmed by the results in the experiments on natural image processing.

REFERENCES

1. Kussul E.M., Rachkovskij D.A., Baidyk T.N. On image texture recognition by associativeprojective neurocomputer. *ANNIE'91 Conf., Intelligent Engineering Systems through Artificial Neural Networks*, St. Louis, 1991, 453–458.
2. Kussul E.M., Baidyk T.N., Lukovitch V.V., Rachkovskij D.A. Adaptive neural network classifier with multfloat input coding. *6th Int. Conf. "Neuro-Ni mes 93"*, Nimes, 1993, 209–216.
3. Kussul E.M., Baidyk T.N., Wunsch D.C. *Neural Networks and Micro Mechanics*. Springer, New York, 2010, 210 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-02535-8>
4. Goltsev A. An assembly neural network for texture segmentation. *Neural Networks*, 1996, Vol. 9 (4), 643–653. [https://doi.org/10.1016/0893-6080\(95\)00136-0](https://doi.org/10.1016/0893-6080(95)00136-0)
5. Goltsev A., Wunsch D.C. Inhibitory connections in the assembly neural network for texture segmentation. *Neural Networks*, 1998, Vol. 11 (5), 951–962. [https://doi.org/10.1016/S0893-6080\(98\)00053-7](https://doi.org/10.1016/S0893-6080(98)00053-7)
6. Goltsev A.D. *Neural networks with the assembly organization*. Naukova Dumka, Kyiv, 2005, 200 p. [In Russian]
7. Melendez J., Puig D., Garcia M.A. Multi-level pixel-based texture classification through efficient prototype selection via normalized cut. *Pattern Recognition*, 2010, Vol. 43 (12), 4113–4123. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2010.06.014>
8. Freixenet J., Munoz X., Raba D., Marti J., Cuff X. Yet another survey on image segmentation. *7th European Conf. on Computer Vision (ECCV)*, Copenhagen, 2002, 408–422. https://doi.org/10.1007/3-540-47977-5_27
9. Rousson M., Brox T., Deriche R. Active unsupervised texture segmentation on a diffusion based feature space. *IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'03): June 16 – June 22 2003*, Madison, 2003, Vol. 2, 699–704. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2003.1211535>
10. Clausi D.A., Deng H. Design-based texture feature fusion using Gabor filters and cooccurrence probabilities. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2005, Vol. 14 (7), 925–936. <https://doi.org/10.1109/TIP.2005.849319>
11. Wei H, Bartels M. Unsupervised segmentation using Gabor wavelets and statistical features in LIDAR data analysis. *18th Int. Conf. on Pattern Recognition (ICPR'06): August 20 – August 24 2006*, Hong Kong, 2006, Vol. 1, 667–670. <https://doi.org/10.1109/ICPR.2006.1145>
12. Yang A.Y., Wright J., Ma Y., Sastry S.S. Unsupervised segmentation of natural images via lossy data compression. *Computer Vision and Image Understanding*, 2008, Vol. 110 (2), 212–225. <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2007.07.005>
13. Sebe N., Lew M.S. Texture features for content-based retrieval. In: M.S. Lew (Ed.), *Principles of Visual Information Retrieval*. Advances in Computer Vision and Pattern Recognition: Springer, 2001, 51–85. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-3702-3_3
14. Hafner J.L., Sawhney H.S., Equitz W., Flickner M., Niblack W. Efficient color histogram indexing for quadratic form distance functions. *IEEE Trans. PAMI*, 1995, Vol. 17 (7), 729–736. <https://doi.org/10.1109/34.391417>
15. Goltsev A., Gritsenko V. Algorithm of sequential finding the characteristic features of homogeneous texture regions for the problem of image segmentation. *Cybernetics and Computer Engineering*, 2013, Vol. 173, 25–34. [In Russian]
16. Goltsev A., Gritsenko V., Kussul E., Baidyk T. Finding the texture features characterizing the most homogeneous texture segment in the image. *Lecture Notes in Computer Science*, Springer, 2015, Vol. 9094, Part I, 287–300. https://doi.org/10.1007/978-3-319-19258-1_25
17. Goltsev A., Gritsenko V., Husek D. Extraction of homogeneous fine-grained texture segments in visual images. *Neural Network World*, 2017, Vol. 27, 447–477. <https://doi.org/10.14311/NNW.2017.27.024>
18. Goltsev A., Gritsenko I.V., Husek D. Segmentation of visual images by sequential extracting homogeneous texture areas. *Journal of Signal and Information Processing*, 2020, Vol. 11, 75–102. <https://doi.org/10.4236/jsip.2020.114005>

19. Fan J.P., Zeng G.H., Body M., Hacid M.S. Seeded region growing: an extensive and comparative study. *Pattern Recognition Letters*, 2005, Vol. 26, 1139–1156. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2004.10.010>
20. Kamdi S., Krishna, R.K. Image segmentation and region growing algorithm. *International Journal of Computer Technology and Electronics Engineering*, 2012, Vol. 2, 103–107.
21. Peng Q. An image segmentation algorithm research based on region growth. *Journal of Software Engineering*, 2015, Vol. 9, 673–679. <https://doi.org/10.3923/jse.2015.673.679>
22. Cleary J.G. Analysis of an algorithm for finding nearest neighbors in Euclidean space. *ACM Trans. on Math. Softw.*, 1979, Vol. 5 (2), 183–192. <https://doi.org/10.1145/355826.355832>
23. Rubner Y., Tomasi C., Guibas L.J. The earth mover's distance as a metric for image retrieval. *Int. J. Comput. Vision.*, 2000, Vol. 40 (2), 99–121.
24. Deza M., Deza E. *Encyclopedia of Distances*. Berlin, Heidelberg, Springer, 2014, 733 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-44342-2>
25. Rachkovskij D.A. *Introduction to Fast Similarity Search*. Kyiv, Interservice, 2019, 294 p. [In Russian]
26. Gricenko V.I., Rachkovskij D.A. *Methods of Vector Representation of Objects for Fast Similarity Assessment*. Naukova Dumka, Kyiv, 2019, 312 p. [In Russian]
27. Rachkovskij D.A. *Codevectors: Sparse Binary Distributed Representations of Numerical Data*. Interservice, Kyiv, 2019, 200 p. [In Russian]
28. Rachkovskij D.A. Representation of spatial objects by shift-equivariant similarity-preserving hypervectors. *Neural Computing and Applications*, 2022, Vol. 34 (24), 22387–22403. <https://doi.org/10.1007/s00521-022-07619-1>
29. Goltsev A., Holtsev O. An algorithm for measuring the similarity of histograms for texture image segmentation. *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*, 2024, Vol. 21, 107–115. <https://doi.org/10.37394/23209.2024.21.11>
30. Jahne B., Schar H., Korkel S. Principles of Filter Design. In: B. Jahne, H. Schar, S. Korkel, B. Jahne, H. Haussecker, P. Geissler (Eds.), *Handbook of Computer Vision and Applications*, Vol. 2: Signal Processing and Pattern Recognition, Academic Press, San Diego, 2000, 125–152.
31. Ruiz-Del-Solar J. Neural-based architectures for the segmentation of textures. *Proceedings of the 15th International Conference on Pattern Recognition*, Barcelona, Spain, 2000, Vol. 3, 1080–1083. <https://doi.org/10.1109/ICPR.2000.903733>

Received 30.09.2024

О.Д. ГОЛЬЦЕВ, канд. техн. наук, старш. наук. співроб., зав. відділу,
Інститут інформаційних технологій та систем НАН України,
просп. Акад. Глушкова, 40, м. Київ, 03187, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-2961-0908>
root@adg.kiev.ua

О.О. ГОЛЬЦЕВ, аспірант,
Інститут інформаційних технологій та систем НАН України,
просп. Акад. Глушкова, 40, м. Київ, 03187, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-1846-6648>
rcwolf@adg.kiev.ua

І.В. СУРОВЦЕВ, д-р техн. наук, старш. наук. співроб., зав. відділу,
Інститут інформаційних технологій та систем НАН України,
просп. Акад. Глушкова, 40, м. Київ, 03187, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-1133-6207>
igorsur52@gmail.com

АЛГОРИТМ ОБЧИСЛЕННЯ ПОДІБНОСТІ МІЖ ГІСТОГРАМАМИ ДЛЯ СЕГМЕНТАЦІЇ ТЕКСТУРИ

Вступ. Наведено алгоритм обчислення ступеня подібності між багатовимірними гістограмами. Запропонований алгоритм призначений для текстурної сегментації зображень з використанням гістограм як текстурних ознак. Необхідність розробки такого спеціального алгоритму обґрунтована тим фактом, що методи оцінки міри подібності / відмінності між багатовимірними векторами, описані в літературі, надають такі міри, які не дуже підходять для вирішення задачі текстурної сегментації. Основною особливістю запропонованого алгоритму є те, що під час обчислення значення подібності він враховує не лише відповідні компоненти гістограм, а й їхні найближчі сусідні компоненти. Завдяки цьому алгоритм більш адекватно оцінює подібність гістограм. Запропонований алгоритм реалізовано у вигляді комп'ютерної програми як складової частини моделі сегментації зображення. Ефективність алгоритму порівняння гістограм опосередковано підтверджується результатами текстурної сегментації моделі сегментації зображення в експериментах з оброблення різноманітних зображень, у тому числі природних ландшафтів.

Методи. Розглянуто задачу обчислення подібності гістограм. Запропоновано спеціальний алгоритм, оскільки аналогічні методи, описані в літературі, не дуже підходять для вирішення задачі текстурної сегментації. Основною особливістю алгоритму є те, що він враховує як відповідні компоненти гістограм, так і їхні найближчі сусідні компоненти. Завдяки цьому алгоритм більш адекватно оцінює подібність гістограм. Алгоритм реалізовано у вигляді комп'ютерної програми. Ефективність алгоритму опосередковано підтверджується результатами текстурної сегментації моделі сегментації зображення в експериментах з обробки різноманітних зображень, у тому числі природних ландшафтів.

Мета. Метою цієї роботи є розробка ефективного алгоритму для оцінки подібності гістограм, таких як гістограми яскравості та гістограми орієнтації вікон текстури. Алгоритм засновано на ідеї врахування не тільки відповідних компонентів обох гістограм, а й компонентів їхнього найближчого оточення.

Результати. Основною перевагою запропонованого алгоритму, порівняно з популярними методами обчислення подібності / відмінності між об'єктами (векторами) є те, що діапазон подібності між порівнюваними гістограмами (від повної подібності до повної відмінності) становить 100%, тоді як популярні методи можуть запропонувати в кілька разів менші діапазони відсотка подібності.

Висновки. Запропонований алгоритм забезпечує широкий діапазон подібності порівнюваних гістограм, який становить 100% (від повної подібності до повної відмінності), тоді як популярні методи можуть запропонувати в кілька разів мен-

ші діапазони відсотка подібності. Алгоритм реалізовано у вигляді комп'ютерної програми як складової моделі, що розв'язує задачу сегментації візуального зображення на однорідні текстурні ділянки. Варто зазначити, що запропонований алгоритм порівняння гістограм дуже швидко обчислює міру подібності між гістограмами, оскільки використовує лише прості операції.

Ефективність алгоритму текстурної сегментації зображень на однорідні текстурні області підтверджена результатами експериментів з обробки природних зображень. Результати, отримані в експериментах, демонструють ефективність алгоритму та показують, що алгоритм виконує коректну (з точки зору людини) текстурну сегментацію зображень широкого діапазону. Отже, опосередковано підтверджується ефективність ключової операції алгоритму сегментації – алгоритму порівняння гістограм.

Ключові слова: оброблення зображень, подібність гістограм, текстурні ознаки, сегментація текстури.

<https://doi.org/10.15407/intechsys.2025.01.024>
UDC 681.513

О.О. БАРКАЛОВ, д-р техн. наук., професор,
Зеленогурський Університет,
вул. Ліцеальна, 9, Зелена Гура, Польща
<https://orcid.org/0000-0002-4941-3979>
A.Barkalov@iie.uz.zgora.pl

Л.О. ТИТАРЕНКО, д-р техн. наук., професор,
Зеленогурський Університет,
вул. Ліцеальна, 9, Зелена Гура, Польща,
Харківський національний університет радіоелектроніки,
пр. Науки, 14, м. Харків, 61166, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-9558-3322>
L.Titarenko@iie.uz.zgora.pl

О.М. ГОЛОВІН, канд. техн. наук, старш. наук. співроб.,
Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України,
просп. Акад. Глушкова, 40, м. Київ, 03187, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-0279-812X>
o.m.golovin.1@gmail.com

О.В. МАТВІЄНКО, наук. співроб.,
Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України,
просп. Акад. Глушкова, 40, м. Київ, 03187, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-1838-1422>
avmatv@ukr.net

С.О. САБУРОВА, канд. техн. наук, доцент,
Харківський національний університет радіоелектроніки,
пр. Науки, 14, м. Харків, 61166, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-6286-1648>
sabsvet@gmail.com

ОПТИМІЗАЦІЯ ДВОРІВНЕВОЇ СХЕМИ АВТОМАТА МІЛІ У БАЗИСІ *FPGA*

Вступ. Однією з найважливіших частин будь-якої цифрової системи є пристрій управління (ПУ), який координує взаємодію інших блоків системи. Зазвичай, схема ПУ визначається алгоритмом керування, а проектування кожного ПУ починається від початку через унікальність алгоритму його роботи.

Цитування: Баркалов О.О., Титаренко Л.О., Головін О. М., Матвієнко О.В., Сабурова С.О. Оптимізація дворівневої схеми автомата Мілі у базисі *FPGA*. *Information Technologies and Systems*, Київ, 2025, Том 1 (1), 24–38. <https://doi.org/10.15407/intechsys.2025.01.024>

© Publisher PH «Akadempriodyka» of the NAS of Ukraine, 2025. The article is published under an open access license CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Від оптимальності характеристик ПУ залежить якість цифрової системи. Тому розробка ефективних методів оптимізації схем ПУ є настільки важливою. При синтезі схеми ПУ виникає ряд проблем оптимізації: зменшення площі мікросхеми ПУ, підвищення продуктивності, зниження енергоспоживання. Відомо, що вирішення першої з цих задач дає змогу покращити інші характеристики схеми.

Мета роботи: розглянути проблему і запропонувати метод зменшення площі мікросхеми при реалізації схеми ПУ з використанням мікросхем FPGA (field-programmable logic array).

Методи. Об'єктами дослідження обрано мікросхеми FPGA та модель мікропрограми автомата (МПА) Мілі. При реалізації схеми МПА в базисі FPGA використовують табличні елементи LUT (look-up table) і вбудовані блоки пам'яті (EMB). Оскільки домінуючим виробником мікросхем FPGA є AMD Xilinx, запропонований у статті метод орієнтований на FPGA цієї компанії.

Результати. Запропоновано спосіб зниження витрат при реалізації схеми МПА Мілі в базисі FPGA. Метод заснований на спільному використанні вбудованих блоків пам'яті EMB і елементів LUT. Граничним вважається випадок, коли розробник може використовувати лише один блок EMB. Для оптимізації схеми використовуються методи заміни входів МПА і подвійного кодування станів. Запропонований спосіб дозволяє зменшити кількість використовуваних елементів LUT до 18 %. Наведено приклад застосування запропонованого методу. Показано умови доцільності використання методу.

Висновки. Проведене дослідження показало, що є сенс модифікувати запропонований метод для випадку автоматів Мура.

Ключові слова: автомат Мілі, синтез, FPGA, EMB, LUT, кодування станів, заміна входів.

Вступ

В наш час широко впроваджуються цифрові системи у різні сфери людської діяльності [1]. До цифрових систем належать послідовні пристрої [2], одним з важливих типів яких є пристрої управління (ПУ), які координують роботу інших блоків системи [3, 4]. Зазвичай, схему ПУ завжди визначає алгоритм управління, а проєктування кожного ПУ починається від самого початку через унікальність його алгоритму [5]. Якість системи багато в чому залежить від оптимальності показників ПУ [4]. Тому важливим є розроблення ефективних методів оптимізації схем ПУ.

Поведінка ПУ часто визначається з допомогою моделі мікропрограми автомата (МПА) Мілі [2, 6]. Методи оптимізації схеми МПА багато в чому залежать від елементного базису [4]. Найбільш популярними для реалізації ПУ є мікросхеми FPGA (Field-Programmable Logic Array) [7, 8]. Так, наприклад, у літературі наводиться близько 1400 різних застосувань FPGA [9]. Тому ми вибрали базис FPGA та МПА Мілі як об'єкти дослідження у цій статті.

При реалізації схем МПА в базисі FPGA використовуються два типи конфігурованих логічних блоків (КЛБ): табличні елементи LUT (look-up table) і вбудовані блоки пам'яті EMB (Embedded Memory Blocks) [8, 10]. Блоки КЛБ різних виробників мають деякі відмінності. Нині домінуючим виробником мікросхем FPGA є фірма AMD Xilinx [11]. У зв'язку з цим запропонований у статті метод орієнтований на FPGA фірми AMD Xilinx.

Можливості кожного із типів КЛБ різні. Блок *EMB* дає змогу реалізувати систему булевих функцій (СБФ). Блок *LUT* реалізує довільну функцію логіки алгебри. При цьому найкращі результати досягаються за одночасного використання *EMB* та *LUT* для реалізації схем МПА [12, 13]. Такий підхід дозволяє зменшити площу *FPGA*, час циклу і споживану потужність порівняно з цими характеристиками гомогенної схеми [14]. Саме такий випадок розглядається у статті.

Реалізація схем МПА за допомогою ресурсів мікросхем *FPGA*

Автомат Мілі задається як вектор $S = \langle A, X, Y, \delta, \lambda, a_1 \rangle$ [3]. Тут $X = \{x_1, \dots, x_L\}$ – множина внутрішніх станів, $Y = \{y_1, \dots, y_N\}$ – множина виходів ($y_n, x_l \in \{0, 1\}, n = 1, N, l = 1, L$). Функція переходів δ ставить у відповідність кожній парі $\langle a_m, X_n \rangle$ стан переходу $a_s \in A$. Тут X_n – вхідний сигнал, який дорівнює кон'юнкції деяких змінних $x_l \in X$, і визначає перехід $\langle a_m, a_s \rangle$. Функція виходів λ ставить у відповідність кожній парі $\langle a_m, X_n \rangle$ вихідний сигнал $Y_h \subseteq Y$. Кількість переходів МПА дорівнює H . Автомат функціонує у дискретному часі, хід якого задається імпульсом *Clock*. У початковий момент $t = 0$ імпульс *Start* встановлює МПА у початковий стан.

Усі компоненти вектора S можуть бути подані як таблиця переходів [6]. Ця таблиця має стовпці a_m (вихідний стан), a_s (стан переходу), X_n (вхідний сигнал, який ініціює перехід $\langle a_m, a_s \rangle$), Y_h (вихідний сигнал на цьому переході), h (номер переходу). Для синтезу схеми МПА необхідно [2]:

1. закодувати стани $a_m \in A$ МПА кодами розрядності R :

$$R = \lceil \log_2 M \rceil; \quad (1)$$

2. сформуувати множини кодувальних змінних $T = \{T_1, \dots, T_R\}$ та функцій збудження пам'яті (ФЗП) $D = \{D_1, \dots, D_R\}$;

3. побудувати пряму структурну таблицю (ПСТ) автомата, куди входять коди станів $a_m, a_s \in A$ і ФЗП;

4. на базі ПСТ побудувати систему функцій:

$$D = D(T, X), \quad (2)$$

$$Y = Y(T, X). \quad (3)$$

Ми розглядаємо реалізацію СБФ (2)–(3) у базисі *FPGA*. Для реалізації використовуються такі внутрішні ресурси мікросхеми [14]: елементи *LUT*, блоки *EMB*, вбудовані мультиплексори, тригери, що програмуються, дерево синхронізації, програмовані входи – виходи. Розглянемо особливості цих елементів.

Елемент *LUT* є мережею однорозрядних осередків пам'яті *SRAM*, пов'язаних системою мультиплексорів [15]. Кожен *LUT* має S_L адресних входів та 2^{S_L} осередків пам'яті. Один *LUT* може реалізувати довільну

логічну функцію f_i з числом аргументів від 1 до S_L . Позначимо блок, що складається з елементів LUT , символом $LUTer$.

Блок КЛБ складається з кількох елементів LUT , виходи яких з'єднуються із входами тригерів. При цьому на вихід КЛБ можна передати або вихід LUT (комбінаційна логіка), або вихід тригера (пам'ять) [15]. Ці тригери використовуються в організації регістру станів (RG), який має входи типу D [14]. На Рис. 1 показана структурна схема МПА U_1 , побудована тільки на елементах LUT .

У автоматі U_1 блок $LUTerY$ реалізує СБФ (3), блок $LUTerT$ – СБФ (2). Блок $LUTerT$ містить також регістр RG , яким керують сигнали $Start$ і $Clock$.

Нехай функція $f_i \in D \cup Y$ залежить від $NA(f_i)$ аргументів, де $NA(f_i) \leq T + L$. Якщо виконується умова

$$NA(f_i) \leq S_L, \tag{4}$$

то схема U_1 має точно $R+L$ елементів. Ця схема має один рівень логіки і є оптимальною за кількістю елементів і між'єднань, швидкістю, споживаною потужністю тощо [4]. У разі невиконання умови (4), характеристики схеми різко погіршуються. У цьому разі необхідно застосувати методи функційної [16] та/або структурної декомпозиції [4].

Блок EMB – це пам'ять, яка має S_A входів та t_F виходів. Число копірок пам'яті може змінюватися, що пов'язане зі зміною параметрів S_A та t_F . При цьому ємність пам'яті (V_0) не змінюється:

$$V_0 = 2^{S_A} \times t_F. \tag{5}$$

Кожна пара $\langle S_A, t_F \rangle$, яка відповідає умові (5), визначає допустиму конфігурацію EMB [8, 12]. Нехай для певної конфігурації $\langle S_0, t_0 \rangle$ виконуються умови

$$S_0 \geq L + R; \tag{6}$$

$$t_0 \geq N + R. \tag{7}$$

Тоді схема МПА реалізується одним блоком EMB .

Коли умова (7) порушується, схема МПА має один рівень, і складається з $n_1 = \lceil (N + R) / t_0 \rceil$ блоків EMB . Якщо розробник має у своєму розпорядженні менше ніж n_1 блоків, то схема реалізується в гетерогенному базисі. Якщо умова (6) порушується, схема МПА також реалізується в базисі EMB і LUT [12].

Розглянемо випадок, коли (6) виконується, (7) порушується і необхідна кількість елементів EMB відсутня. Нехай маємо граничний

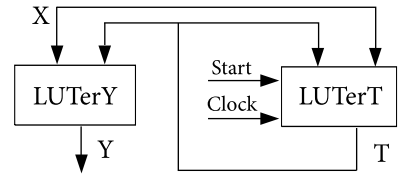


Рис. 1. Структурна схема МПА U_1

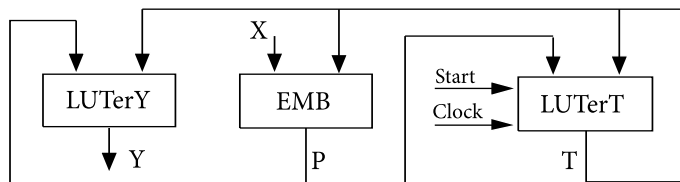


Рис. 2. Структурна схема МПА U_1

випадок, коли є лише один блок EMB . Ми пропонуємо використувати цей блок для заміни вхідних змінних [4, 13].

Нехай переходи із кожного стану $a_m \in A$ залежать від L_m входів $x_1 \in X$. Знайдемо число G :

$$G = \max(L_1, \dots, L_M), \quad (8)$$

яке визначає кількість додаткових змінних $p_g \in P$, що замінюють входи.

Нехай виконується умова

$$2^{R+L} \cdot G \leq V_0, \quad (9)$$

У цьому випадку блок EMB може реалізувати СБФ:

$$P = P(T, X) \quad (10)$$

і реалізувати заміну множини X множиною $P = \{p_1, \dots, p_G\}$.

Заміна $X \rightarrow P$ веде до заміни СБФ (2) – (3) системами

$$D = D(T, P); \quad (11)$$

$$Y = (T, P). \quad (12)$$

Системи (11 – 12) реалізуються з допомогою елементів LUT . Це веде до МПА U_2 (Рис. 2). У МПА U_2 блок EMB реалізує СБФ (10), $LUTerT$ – СБФ (11) та $LUTerY$ – СБФ (12).

Якщо умова (4) виконується для функцій $f_i \in D \cup Y$, то схема U_2 складається з $R + N$ елементів LUT . У разі порушення цієї умови схема має багаторівневу структуру. Це веде до погіршення показників схеми. У цій роботі ми розглядаємо саме таку ситуацію.

Основна ідея запропонованого методу

Якщо блоки $LUTerY$ та/або $LUTerT$ є багаторівневими схемами, ми пропонуємо використовувати подвійне кодування станів [4]. За певних умов такий підхід веде до дворівневих схем цих блоків та регулярної системи міжз'єднань.

Нехай для деякого МПА Мілі виконано заміну входів та визначено параметр G . Знайдемо розбиття множини A на мінімальну кількість класів K : $\Pi_A = \{A^1, \dots, A^K\}$. Клас $A^k \in \Pi_A$ містить M_k станів. Параметр M_k вибирається так, щоб виконувалася умова

$$G + \lceil \log_2(M_k + 1) \rceil \leq S_L. \quad (13)$$

Другий додаток лівої частини (13) є розрядністю кодів станів $C(a_m) \neq K(a_m)$ всередині класу $A^k \in \Pi_A$. Зрозуміло, що виконується умова $R_k = S_L - G$. При цьому число класів K визначається, як $K = \lceil M / 2^{R_k} \rceil$.

Розбиття Π_A будується тривіальним способом, оскільки будь-які M_k станів можуть бути включені до будь-якого класу. Клас $A^k \in \Pi_A$ визначає множину Y^k виходів $y_n \in Y$, що формуються при переходах зі станів $a_m \in A$. Для зменшення кількості елементів LUT необхідно формувати розбиття множини станів так, щоб мінімізувати сумарне число однакових виходів у різних множинах $Y^k \subseteq Y$. Це можна зробити з допомогою способу [4].

Крім того, кожен клас $A^k \in \Pi_A$ визначає множину $D^k \subseteq D$. Ця множина включає ФЗП, які формуються при переходах зі станів $a_m \in A^k$. Необхідно формувати Π_A так, щоб однакові ФЗП входили в мінімальне число множин $D^k \subseteq D$. Задля вирішення цієї задачі також застосують метод подвійного кодування станів [4].

Якщо $a_m \in A^k$, для формування кодів $C(a_m)$ використовуються змінні з множин τ^k . Ці множини утворюють множину $\tau = \tau^1 \cup \tau^2 \cup \dots \cup \tau^K$. У загальному випадку множина τ містить R_A елементів: $R_A = R_1 + R_2 + \dots + R_K$.

Цілком можливо, що переходи зі станів $a_m \in A^k$ залежать тільки від частини додаткових змінних, тобто від елементів множини $P_k \subseteq P$. Змінні з $p_g \in P^k$ і $\tau_r \in \tau^k$ використовуються для формування часткових функцій:

$$D^k = D^k(\tau^k, P^k); \quad (14)$$

$$Y^k = Y^k(\tau^k, P^k). \quad (15)$$

Часткові функції (14)–(15) необхідно перетворити на функції $D_r \in D$ та $y_n \in Y$. Ці функції є диз'юнкцією часткових функцій:

$$D_r = D_r^1 \vee D_r^2 \vee \dots \vee D_r^K, \quad (16)$$

$$y_n = y_n^1 \vee y_n^2 \vee \dots \vee y_n^K. \quad (17)$$

Для формування змінних $\tau_r \in \tau$ необхідно перетворити коди $K(a_m)$ на коди $C(a_m)$. Для цього потрібно реалізувати СБФ

$$\tau = \tau(T). \quad (18)$$

Системи (10), (14)–(18) визначають запропонований у цій роботі МПА U_3 (Рис. 3).

Принцип функціонування МПА U_3 зрозумілий із попереднього матеріалу. Блок *EMB* реалізує СБФ (10). Блоки *LUTer1* – *LUTerK* реалізують СБФ (14)–(15). Блок *LUTerYT* перетворює часткові функції, реалізуючи СБФ (16)–(17). Цей блок також містить прихований регістр *RG*, який зберігає коди $K(a_m)$. Тригери *RG* управляються імпульсами *Start* та *Clock*. Блок *LUTert* перетворює змінні $T_r \in T$ на змінні $\tau_r \in \tau$. З цією метою він реалізує СБФ (18).

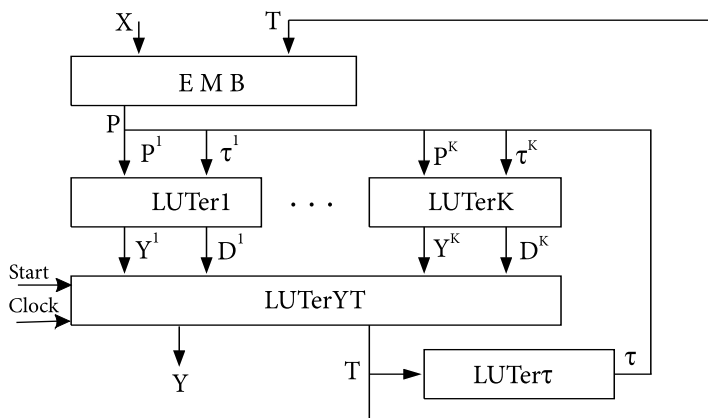


Рис. 3. Структурна схема МПА U_3

У кожному такті лише один із блоків $LUTerK$ є активним. На виходах інших блоків другого рівня логіки формуються нульові значення часткових функцій. Це досягається надходженням на входи блоків тих кодів, що відповідають співвідношенню $a_m \notin A^k$. З цією метою використовуються часткові коди, що містять лише нулі.

У кожному такті лише один із блоків $LUTerK$ є активним. На виходах інших блоків другого рівня логіки формуються нульові значення часткових функцій. Це досягається надходженням на входи блоків тих кодів, що відповідають співвідношенню $a_m \notin A^k$. З цією метою використовуються часткові коди, що містять лише нулі.

Нехай запропонований автомат U_3 задано таблицею переходів. Тоді метод його синтезу містить такі етапи:

- 1) кодування станів кодами $K(a_m)$;
- 2) заміна змінних $x_i \in X$ елементами множини P ;
- 3) формування таблиці EMB ;
- 4) формування розбиття Π_A з мінімальним числом K ;
- 5) формування таблиць блоків $LUTer1 - LUTerK$;
- 6) формування СБФ (14) – (15);
- 7) формування таблиці блока $LUTerYT$ та СБФ (16) – (17);
- 8) формування таблиці $LUTert$ та СБФ (18);
- 9) реалізація схеми МПА у заданому базисі.

Приклад синтезу МПА U_3 із застосуванням запропонованого методу

Нехай для реалізації схеми МПА використовується блок EMB з такими конфігураціями: $\langle 12,1 \rangle, \langle 11,2 \rangle, \dots, \langle 8,16 \rangle$. Крім того, розробник має елементи LUT з $S_L = 5$. Розглянемо приклад використання моделі U_3 для синтезу МПА S_1 (табл. 1).

Як впливає з табл. 1 автомат S_1 характеризується параметрами $M = 9, L = 7, N = 12$. Ці характеристики визначають множини $A = \{a_1, \dots, a_9\}$,

$X = \{x_1, \dots, x_7\}$ і $Y = \{y_1, \dots, y_{12}\}$. З (1) маємо $R = 4$, що дає множини $T = \{T_1, \dots, T_4\}$ і $D = \{D_1, \dots, D_4\}$. Отже виконується співвідношення $R \leq S_L$, блок $LUTert$ складається з R_A елементів LUT і є однорівневим, а коди станів $K(a_m)$ не впливають на число елементів LUT в схемі блока $LUTert$.

Виконаємо кодування станів тривіальним способом: код стану дорівнює двійковому еквіваленту його індексу, що дає коди $K(a_1) = 0000$, $K(a_2) = 0001, \dots$, $K(a_9) = 1000$. Значимо, що стани можна закодувати так, щоб оптимізувати число літералів СБФ (18). Такий підхід зменшує кількість міжз'єднань у схемі.

Для заміни $X \rightarrow P$ застосуємо алгоритм [4]. Відповідно до табл. 1, максимальне значення $L_m = 2$. Використовуючи (8), отримаємо $G = 2$ та $P = \{p1, p2\}$. Перевіримо можливість використання EMV для заміни $X \rightarrow P$.

Маємо $R + L = 11$ та $G = 2$. Серед конфігурацій EMV є пара $\langle 11, 2 \rangle$, що ідеально підходить для автомата S_1 . Це впливає з умов (5-7). Таблицю заміни $X \rightarrow P$ можна побудувати без будь-якої оптимізації. Для нашого випадку заміну подано у табл. 2.

Таблиця 1. Таблиця переходів автомата Мілі S_1

a_m	a_s	X_h	Y_h	H	A^k
a_1	a_2	x_1	y_1y_4	1	A^1
	a_3	$\overline{x_1x_2}$	y_2y_5	2	
	a_4	$\overline{x_1x_2}$	y_8y_{11}	3	
a_2	a_5	x_3	y_1y_6	4	A^1
	a_6	$\overline{x_3x_4}$	y_7	5	
	a_7	$\overline{x_3x_4}$	y_3y_{11}	6	
a_3	a_8	x_5	y_{12}	7	A^1
	a_9	$\overline{x_5}$	y_4y_5	8	
a_4	a_9	x_5x_6	y_4	9	A^1
	a_5	$x_5\overline{x_6}$	$y_{11}y_{12}$	10	
	a_6	$\overline{x_5}$	y_1y_5	11	
a_5	a_1	1	y_6y_7	12	A^1
a_6	a_7	x_7	y_3y_9	13	A^2
	a_8	$\overline{x_7}$	y_8y_{10}	14	
a_7	a_1	1	—	15	A^2
a_8	a_9	x_1x_7	y_1y_6	16	A^1
	a_2	$x_1\overline{x_7}$	y_3y_7	14	
	a_4	x_1	y_6y_7	18	
a_9	a_3	x_6	y_9y_{10}	19	A^2
	a_7	$\overline{x_6}$	y_8	20	

Таблицю блока EMB побудовано з урахуванням табл. 2. Вона містить такі стовпці: $T_1, T_{R'}, x_L, \dots, x_1$ — адреси комірок пам'яті, p_1, p_2 — вміст комірки, q — десятковий еквівалент адреси комірки. Перші 12 рядків таблиці EMB для МПА S_1 подано в табл. 3.

У загальному випадку таблиця блока EMB має H_E рядків, де $H_E = 2^{R+L}$. У нашому випадку $H_E = 2^{11} = 2048$. При цьому $q \in \{0, \dots, 2047\}$. Переходи з кожного стану подані в таблиці, яка має H_m рядків, де $H_m = 2^L$. В нашому прикладі $H_m = 128$.

У табл. 3 наведено лише 12 зі 128 рядків, що відтворюють переходи зі стану $a_1 \in A$. У табл. 3 додано стовпець h для того, щоб показати зв'язок між таблицями.

Для нашого прикладу $G = 2$ і з (13) випливає, що граничним значенням $R_k \in S_L - G = 3$. Таким чином, кожен блок $A^k \in \Pi_A$ може містити до 7 станів. Побудуємо це розбиття так, щоб кожен із двох блоків містив максимальну кількість унікальних виходів $y_n \in Y$. З цією метою використаємо метод із [4].

Використання [4] дає розбиття $\Pi_A = \{A^1, A^2\}$, де $A^1 = \{a_1, \dots, a_5, a_8\}$ і $A^2 = \{a_6, a_7, a_9\}$. З табл. 1 маємо множини Y^1 і Y^2 : $Y^1 = \{y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7, y_8, y_{11}, y_{12}\}$, $Y^2 = \{y_3, y_9, y_{10}, y_8\}$. Перетин Y^1 і Y^2 дає множину $\{y_3, y_8\}$, отже множина Y^1 містить 8 унікальних виходів, а множина Y^2 — два. Унікальні виходи реалізуються на елементах LUT блоків $LUTerk$, загальні — на елементах LUT блоку $LUTeYT$. У найгіршому випадку для реалізації кожної вихідної функції необхідно 3 елементи LUT

Таблиця 2. Заміна входів МПА S_1

p_s	a_m								
	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9
p_1	x_1	x_3	x_5	x_5	—	x_7	—	x_1	—
p_2	x_2	x_4	—	x_6	—	—	—	x_7	x_6

Таблиця 3. Фрагмент таблиці блока EMB автомата S_1

T_1	T_2	T_3	T_4	x_7	x_6	x_5	x_4	x_3	x_2	x_1	p_1	p_2	Q	H
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2	2
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	3	1
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	4	3
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	5	1
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	6	2
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	7	1
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	8	3
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	9	1
0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	10	2
0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	11	1

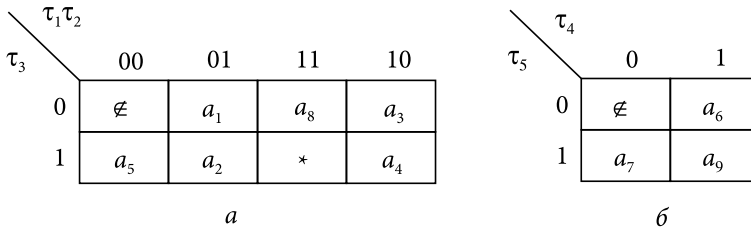


Рис. 4. Коды станів $C(a_m)$ для МПА S_1

(це необхідно також і для y_3 та y_8), Таким чином, у найгіршому випадку необхідно витратити $3N = 36$ елементів LUT . Завдяки використанню методу [4] ця частина схеми вимагає лише $(N - 2) + 3 \times 2 = 16$ елементів LUT .

Як впливає з (13), число кодуєчих змінних визначається як $\lceil \log_2(H_k + 1) \rceil$. У нашому випадку маємо $R1 = 2$ та $R2 = 2$. Це дає $\tau^1 = \{\tau_1, \tau_2, \tau_3\}$, $\tau^2 = \{\tau_4, \tau_5\}$ і $\tau = \{\tau_1, \dots, \tau_5\}$. Закодуємо стани, як показано на рис. 4, а (для A^1) і рис. 4, б (для A^2).

Таблиця блока $LUTer_k$ будується з урахуванням таблиці переходів і кодів $C(a_m)$, $K(a_m)$. Таблиця містить такі стовпці: a_m , $C(a_m)$, a_s , $K(a_s)$, $P_{h'}^k$, $\Phi_{h'}^k$, $Y_{h'}^k$, h . Блок $LUTer1$ подано у табл. 4, а блок $LUTer2$ – у табл. 5.

Таблиці 4 і 5 є основою для формування СБФ (14)–(15). Кожна з функцій реалізується на одному елементі LUT . Оптимізація кожної з функцій має сенс, якщо тільки деякі аргументи виключаються з усіх її термів [4]. Так блок $LUTer2$ може бути поданий такими СБФ:

Таблиця 4. Таблиця блока $LUTer1$

a_m	$C(a_m)$	a_s	$K(a_s)$	$P_{h'}^1$ кор	$\Phi_{h'}^1$ кор	$Y_{h'}^1$ кор	h
a_1	010	a_2	0001	p_1	D_4	$y_1 y_4$	1
		a_3	0010	$\overline{p_1} p_2$	D_3	$y_2 y_5$	2
		a_4	0011	$\overline{p_1} \overline{p_2}$	$D_3 D_4$	$y_8 y_{11}$	2
a_2	011	a_5	0100	p_1	D_2	$y_1 y_6$	4
		a_6	0101	$\overline{p_1} p_2$	$D_2 D_4$	y_7	5
		a_7	0110	$\overline{p_1} \overline{p_2}$	$D_2 D_3$	$y_3 y_{11}$	6
a_3	100	a_8	0111	p_1	$D_2 D_3 D_4$	y_{12}	7
		a_9	1000	p_1	D_1	$y_4 y_5$	8
a_4	101	a_3	0010	$p_1 p_2$	D_3	y_4	9
		a_5	0100	$p_1 \overline{p_2}$	D_2	$y_{11} y_{12}$	10
		a_6	0101	p_1	$D_2 D_4$	$y_1 y_5$	11
a_5	100	a_1	0000	1	–	$y_6 y_7$	12
a_8	110	a_9	1000	$p_1 p_2$	D_1	$y_1 y_6$	13
		a_2	0001	$p_1 \overline{p_2}$	D_4	$y_3 y_7$	14
		a_4	0011	$\overline{p_1}$	$D_3 D_4$	$y_6 y_7$	15

$$D_2^2 = \tau_4 \overline{\tau_5} \vee \tau_4 \tau_5 p_2; \quad D_3^2 = \tau_4; \quad D_4^2 = \tau_4 \overline{\tau_5 p_1}.$$

Як видно, тут функції D_2^2 і D_4^2 залежать від трьох змінних, а функція D_3^2 — від однієї. Тому для реалізації функції D_3^2 не потрібний окремий LUT (це просто вихід тригера, що формує змінну τ_4).

$$y_3^2 = \tau_4 \overline{\tau_5 p_1}; \quad y_8^2 = \tau_4 \overline{\tau_5 p_1} \vee \tau_4 \tau_5 p_2;$$

$$y_9^2 = \tau_4 \overline{\tau_5 p_1} \vee \tau_4 \tau_5 p_2 = y_9; \quad y_{10}^2 = \tau_4 \overline{\tau_5 p_1} \vee \tau_4 \tau_5 p_2 = y_{10}.$$

У цій СБФ лише функція y_3^2 залежить від $G + R = 4$ змінних. У рівняннях для y_9^2 і y_{10}^2 ми підкреслили, що ці функції не потребують елементів LUT блоку LUTerYT. Подібним способом можна знайти системи (14) – (15) для блоку LUTer1.

Таблиця блоку LUTerYT будується тривіальним способом. Вона містить стовпці $D_1, \dots, D_R, y_1, \dots, y_N$ і рядки LUTer1, ..., LUTerK. Якщо якась функція формується блоком LUTerK, то це відзначається символом «+» у відповідній клітині. Інакше там стоїть знак «-». Для нашого прикладу блок LUTerYT задано табл. 6.

З табл. 6 маємо СБФ блоку LUTerYT

$$D_1 = D_1^1; \quad D_2 = D_2^1 \vee D_2^2; \quad D_3 = D_3^1 \vee D_3^2; \quad D_4 = D_4^1 \vee D_4^2;$$

$$y_1 = y_1^1; \quad y_2 = y_2^1; \quad y_3 = y_3^1 \vee y_3^2; \quad y_4 = y_4^1; \quad y_5 = y_5^1; \quad y_6 = y_6^1;$$

$$y_7 = y_7^1; \quad y_8 = y_8^1 \vee y_8^2; \quad y_9 = y_9^1; \quad y_{10} = y_{10}^1; \quad y_{11} = y_{11}^1; \quad y_{12} = y_{12}^1.$$

З табл. 6 і цієї СБФ випливає, що LUTerYT складається з 5-ти LUT. У загальному випадку необхідно $R + N = 16$ LUT. Економія числа LUT у 3,2 рази пов'язана з видом розбиття Π_A .

Таблиця 5. Таблиця блоку LUTer2

a_m	$C(a_m)$	a_s	$K(a_s)$	P_h^2	Φ_h^2	y_h^1	h
a_6	10	a_7	0100	p_1	$D_2 D_3$	y_3, y_9	1
		a_8	0001	$\overline{p_1}$	$D_2 D_3 D_4$	y_8, y_{10}	2
a_7	01	a_1	0100	1	—	—	2
a_9	11	a_3	0010	p_2	D_3	y_9, y_{10}	4
		a_7	0110	$\overline{p_2}$	$D_2 D_3$	y_8	5

Таблиця 6. Таблиця блоку LUTerYT

Блок	Функція															
	D_1	D_2	D_3	D_4	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8	y_9	y_{10}	y_{11}	y_{12}
LUTer1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+
LUTer2	-	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-

		T_1T_2			
		00	01	11	10
T_3T_4	00	τ_2 1	τ_3 5	*	$\tau_4\tau_5$ 9
	01	$\tau_2\tau_3$ 2	τ_4 6	*	*
	11	$\tau_1\tau_3$ 4	$\tau_1\tau_2$ 8	*	*
	10	τ_1 3	τ_5 7	*	*

Рис. 5. Карта Карно для блока $LUTert$

Таблиця блока $LUTert$ ставить у відповідність кожному коду $K(a_m)$ код $C(a_m)$. Задамо цю таблицю як карту Карно для R_A функцій (рис. 5). З карти Карно (Рис. 5) маємо таку СБФ:

$$\begin{aligned}
 \tau_1 &= \overline{T_2}T_3 \vee T_2T_3T_4; & \tau_2 &= \overline{T_1}\overline{T_2}\overline{T_3} \vee T_2T_3T_4; \\
 \tau_3 &= \overline{T_2}T_3 \vee T_2\overline{T_3}\overline{T_4}; & \tau_4 &= T_1\overline{T_3} \vee T_2\overline{T_3}\overline{T_4}; \\
 \tau_5 &= T_1 \vee T_2T_3\overline{T_4}.
 \end{aligned}
 \tag{19}$$

Як видно з (19), функції τ_1 і τ_3 мають по 3 аргументи.

Оцінимо число LUT у схемі МПА S_1 . Як впливає з табл. 4 блок $LUTer$ — складається з 14 елементів LUT , а блок $LUTer2$ — з 6. З табл. 6 впливає, що блок $LUTerYT$ складається з 5 елементів. З системи (19) впливає, що $LUTert$ складається з 5 елементів. Отже, схема МПА S_1 з урахуванням моделі U_3 складається з 20 елементів LUT .

Висновки

Зменшення площі схеми МПА можна досягти збільшенням функційних можливостей застосовних елементів. У разі застосування схем, що реалізуються в базисі $FPGA$, зменшення площі можна досягти переходом від блоків LUT до блоків EMB [14]. Такий перехід призводить до зменшення часу циклу та споживаної потужності [4, 14]. Однак блоки EMB також мають обмеження за кількістю входів та виходів. Відомо, що багаторівневі схеми, які складаються з блоків EMB , є вкрай неефективними [4]. Тому виникає завдання реалізації схеми МПА у гетерогенному базисі блоків EMB та елементів LUT .

У нашій статті розглядається граничний випадок, коли лише один блок EMB може бути використаний, і його можливостей не вистачає для реалізації схеми МПА. Пропонований метод заснований на такій ідеї: блок EMB виконує заміну входів МПА додатковими змінними $p_g \in P$, а інші СБФ реалізуються на елементах LUT . Для оптимізації цієї частини схеми використовуємо метод подвійного кодування станів [4].

Наші дослідження показали, що такий підхід дає змогу значно (до 18 %) зменшити кількість *LUT* порівняно з відомими методами. Дослідження проводилися з використанням стандартних МПА [18] і САПР *Vivado* [19]. Зазначимо, що такий підхід призводить до значного зменшення числа *LUT* лише у разі виконання умови (9). Однак для 12 % автоматів ця умова порушується [18]. Таким чином, умова (9) визначає доцільність застосування запропонованого методу.

Метою подальших досліджень є модифікація запропонованого підходу з урахуванням особливостей автомата Мура [20, 21]. Крім того, необхідно розробити метод оптимізації схеми МПА Мілі за ситуації, коли можливостей одного блока *EMB* недостатньо для реалізації схеми заміни входів.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Marwedel P. *Embedded System Design: Embedded Systems Foundations of Cyber-Physical Systems, and the Internet of Things*. Springer International Publishing, 3rd ed., 2018.
2. Minns P., Elliot I. *FSM-based digital design using Verilog HDL*. John Wiley and Sons, 2008. <https://doi.org/10.1002/9780470987629>
3. Baranov S. *Finite State Machines and Algorithmic State Machines*. Amazon, 2018.
4. Barkalov A., Titarenko L., Mielcarek K., Chmielewski S. Logic Synthesis for FPGA-Based Control Units – Structural Decomposition in Logic Design. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, Springer, Berlin, 2020, Vol. 636. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-38295-7>
5. Gazi O., Arli A. *State Machines using VHDL: FPGA Implementation of Serial Communication and Display Protocols*. Springer, Berlin, 2021. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-61698-4>
6. De Micheli G. *Synthesis and Optimization of Digital Circuits*. McGraw-Hill, 1994.
7. Trimberg S. Three ages of FPGA: A retrospective on the first thirty years of FPG Atechnology. *IEEE Proceedings*, 2015, Vol. 103 (3), 318–331. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2015.2392104>
8. Wolf W. *FPGA-Based System Design*. Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, New Jersey, USA, 2004.
9. Ruiz-Rosero, Juan, Gustavo Ramirez-Gonzalez, Rahul Khanna. Field Programmable Gate Array Applications – A Scientometric Review. *Computation* 7, 2019, Vol. 4, 63 p. <https://doi.org/10.3390/computation7040063>
10. Maxfield C. *FPGAs: Instant access*. Newnes, 2008.
11. Xilinx. URL: <https://www.amd.com/en.html> [Accessed Jan. 2025]
12. Garcia-Vargas I., Senhadji-Navarro R., Jimnez-Moreno G., Civit-Balcells A., GuerraGutierrez P. ROM-based finite state machines implementation in low cost FPGAs. *IEEE Intern. Simp. on Industrial Electronics (ISIE'07) (Vigo, 2007)*, 2007, 2342–2347. <https://doi.org/10.1109/ISIE.2007.4374972>
13. Garcia-Vargas L., Senhadji-Navarro R. Finite state machines with input multiplexing: A performance study. *IEEE Transactions on CAD of Integrated Circuits and Systems*, 2015, Vol. 34 (5), 867–871. <https://doi.org/10.1109/TCAD.2015.2406859>
14. Sklyarov V., Skliarova I., Barkalov A., Titarenko L. *Synthesis and optimization of FPGA-based systems*. Berlin: Springer, 2014, 432 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-04708-9>
15. Virtex-7 FPGAs. URL: <https://docs.amd.com/v/u/en-US/7-series-product-selectionguide> [Accessed Jan. 2025]
16. Czerwinski R., Kania D. *Finite state machines logic synthesis for complex programmable logic devices*. Berlin: Springer, 2013, 172 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-36166-1>

17. Tiwari A., Tomko K. Saving power by mapping finite state machines into embedded memory blocks in FPGAs. *Proc. Design, Automation and Test in Europe Conference and Exhibition (Paris, France, 6-20 Feb. 2004)*, 2004, Vol. 2, 916-921. <https://doi.org/10.1109/DATE.2004.1269007>
18. Yang S. *Logic synthesis and optimization benchmarks user guide. Version 3.0. Techn. Rep.* Microelectronics Center of North Carolina, 1991, 43 p.
19. Vivado. URL: <https://www.amd.com/en/products/software/adaptive-socs-and-fpgas/vivado.html> [Accessed Jan. 2025]
20. Barkalov A. and Titarenko L. *Logic synthesis for FSM-based control units.* Lecture notes in electrical engineering, Springer-Verlag, Berlin, 2009, Vol. 53. https://doi.org/10.1007/978-3-642-04309-3_3
21. Barkalov A., Titarenko L., Kolopienczyk M., Mielcarek K., Bazydło G. *Logic synthesis for FPGA-based Finite State Machines.* Studies in Systems, Decision and Control, Springer International Publishing, Cham Heidelberg, 2015, Vol. 38, 280 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24202-6>

Received 06.02.2025

O.O. BARKALOV, DSc (Engineering), Professor,
University of Zielona Góra,
9, Licealna Str., Zielona Góra, 65-417, Poland
<https://orcid.org/0000-0002-4941-3979>
A.Barkalov@iie.uz.zgora.pl

L.O. TITARENKO, DSc (Engineering), Professor,
University of Zielona Góra,
9, Licealna Str., Zielona Góra, 65-417, Poland
Kharkiv National University of Radio Electronics,
14, Science ave., Kharkiv, 61166, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-9558-3322>
L.Titarenko@iie.uz.zgora.pl

O.M. GOLOVIN, PhD (Engineering),
Senior Research Associate,
Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine,
40, Hlushkova Akademika ave., Kyiv, 03187, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-0279-812X>
o.m.golovin.1@gmail.com

O.V. MATVIENKO, Research Associate,
Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine,
40, Hlushkova Akademika ave., Kyiv, 03187, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-1838-1422>
avmatv@ukr.net

S.O. SABUROVA, PhD (Engineering),
Associate Professor,
Kharkiv National University of Radio Electronics,
14, Science ave., Kharkiv, 61166, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-6286-1648>
sabsvet@gmail.com

OPTIMIZATION OF THE TWO-LEVEL MEALY MACHINE CIRCUIT IN THE FPGA BASIS

Introduction. One of the most important parts of any digital system is a control unit (CU), which coordinates the interaction of other blocks of the system. As a rule, the CU circuit is determined by the control algorithm, and the design of each CU starts from scratch due to the uniqueness of its operating algorithm.

The purpose of the paper is the quality of a digital system depends on the optimality of the CU characteristics. Therefore, the development of effective methods for optimizing CU circuits is so important. When synthesizing a CU circuit, a number of optimization problems arise: reducing the chip area occupied by the CU, increasing the performance reducing the power consumption. It is known that solving the first of these problems allows improving other characteristics of the circuit. This paper considers the problem of reducing the chip area when implementing the CU circuit using FPGA (field-programmable logic array) chips.

Methods. The FPGA chips and the Mealy finite state machine (FSM) model are selected as the objects of study in the article. When implementing the FSM circuit with FPGAs, LUT (look-up table) elements and embedded memory blocks (EMB) are used. Since the dominant manufacturer of FPGA chips is AMD Xilinx, the method proposed in the article is oriented towards FPGA of this company.

The article proposes a method for reducing hardware costs when implementing the Mealy FSM circuit in the FPGA basis. The method is based on the joint use of the EMB embedded memory blocks and LUT elements. The limiting case is considered when the developer can use only one EMB block. To optimize the circuit, the methods of replacing the FSM inputs and double state coding are used. An example of applying the proposed method is given.

Results. The proposed method allows reducing the number of LUT elements used by up to 18%. The conditions for the feasibility of using the method are shown.

Conclusions. It makes sense to modify the proposed method for the case of Moore FSMs.

Keywords: *Mealy FSM, synthesis, FPGA, EMB, LUT, state coding, input replacement.*

INTELLECTUAL INFORMATION TECHNOLOGIES

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<https://doi.org/10.15407/intechsys.2025.01.039>
UDC 004.8 + 004.032.26

M. AL-RAWI, PhD (Engineering),
Bandung Institute of Technology,
Jl. Ganesa No. 10, Jawa Barat, Kota Bandung, 40132, Indonesia
<https://orcid.org/0000-0003-1407-6519>
muhrawi@yahoo.com

USING MOBILE PHONE TO CONTROL REMOTELY ELECTRONIC DEVICES IN SMART HOME SYSTEM

Introduction. Smart Home technology encompasses a range of intelligent devices designed for residential use. These devices present numerous opportunities to transform our lifestyles in the future. Smart Home technology has made significant contributions to enhancing safety and reliability while potentially altering our daily habits. In contemporary society, mobile phones serve purposes beyond mere communication. As technology evolves, the functionality of mobile phones expands, allowing them to be utilized for various applications. Currently, a wide array of applications and hardware is available in the market that can be integrated without necessitating further advancements in existing smartphones. Through network connectivity, mobile phones can facilitate the management of smart home systems, enabling users to control devices and receive alerts regarding potential theft or unauthorized access.

The purpose of the paper is to establish a smart home system that allows for remote control of electronic devices and provides notifications of intrusions or movements in restricted areas. The devices are managed via mobile phones using the Short Message Service (SMS), with alerts also sent as SMS messages detailing activities occurring within the vicinity.

Results. A smart home system was developed that allows remote control of household electronic devices using a mobile phone. Control of the devices was facilitated through the transmission of instructions via SMS, with alerts also being delivered in the same manner. A Hall Effect proximity sensor was employed to detect unauthorized entry, while a passive infrared sensor was utilized to monitor movement in restricted zones. Additionally, a temperature sensor functioned as a heat detector, and an LED light was incorporated to demonstrate the management of electronic devices. The Arduino Uno Board served as the microcontroller, and the SIM900 GPRS/GSM module was utilized for communication between the microcontroller and the mobile device. Notably, the mobile phone did not require any specialized applications or hardware; any mobile phone capable of sending and receiving SMS could function as a mobile station.

Cite: AL-Rawi M. Using Mobile Phone to Control Remotely Electronic Devices in Smart Home System. *Information Technologies and Systems*, Kyiv, 2025, Vol. 1 (1), 39–49. <https://doi.org/10.15407/intechsys.2025.01.039>

© Publisher PH «Akademperiodyka» of the NAS of Ukraine, 2025. The article is published under an open access license CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Conclusion. Thus, the developed Smart Home system demonstrated its effectiveness. The microcontroller unit effectively responds to commands issued by the mobile phone, adapting to the application's requirements and activating an alarm in critical situations. Additionally, the application successfully facilitates the remote management of electronic devices.

Keywords: Smart Home, mobile phone, remote control, electronic devices.

Introduction

Smart Home (SH) refers to a residence equipped with a home controller that integrates various home automation systems. The most widely used home controllers are those programmed via a Windows-based PC, after which they operate independently to manage home control functions. This integration allows different home systems to communicate through the home controller, facilitating simultaneous control of multiple systems via a single button or voice commands, whether in pre-set scenarios or operational modes. The home automation sector is experiencing rapid growth as electronic technologies converge. The home network includes systems for communication, entertainment, security, convenience, and information. Power Line Carrier Systems (PCS) utilize existing electrical wiring in a home to transmit coded signals to programmable switches or outlets. These signals carry commands linked to specific device «addresses,» dictating their operation times and methods. For example, a PCS transmitter can send a signal through the home's wiring, which a receiver connected to any electrical outlet can pick up to control the attached appliance. X10 is a prevalent protocol for PCS, serving as a signaling method for the remote control of devices connected to the electrical power line. X10 signals consist of brief radio frequency (RF) bursts that encode digital information, enabling communication between transmitters and receivers [1].

The European Installation Bus, commonly referred to as Instabus, is a specialized embedded control protocol designed for digital communication among smart devices. This system utilizes a two-wire bus line that is integrated with standard electrical wiring. The Instabus line connects all devices to a decentralized communication network, functioning similarly to a telephone line that allows for the control of appliances. The European Installation Bus Association is affiliated with Konnex, an organization dedicated to the standardization of home and building networks across Europe [2].

In this setup, all appliances and devices act as receivers, while the control mechanisms, such as remote controls or keypads, serve as transmitters. For instance, if one wishes to turn off a lamp located in a different room, the transmitter sends a numerical code that encompasses the following elements [3]:

1. A notification to the system indicating that a command is being issued.
2. A unique identification number for the device intended to receive the command.

3. A specific code that conveys the actual command, such as “turn off”.

This entire process is designed to occur in less than a second; however, X10 technology does have certain limitations. Communication over electrical lines can be unreliable due to interference from other devices, which can create “noise”. Consequently, an X10 device may misinterpret electronic interference as a command or fail to receive the command altogether. Although X10 devices remain in use, newer technologies have emerged to vie for market share in home networking. Some systems now utilize radio waves for communication, akin to the operation of Wi-Fi and cellular signals. Nevertheless, home automation networks do not require the extensive bandwidth of a Wi-Fi network, as automation commands are typically brief messages. The two leading radio networks in home automation are ZigBee and Z-Wave, both of which operate as mesh networks, allowing for multiple pathways for messages to reach their intended destinations [4].

Design of Smart Home System

The system is fundamentally divided into two components: the mobile station and the microcontroller unit. The mobile station serves as the command center, issuing control instructions to various devices and sensors while also receiving their responses. It functions solely as a user interface and does not exert direct control over the devices. In contrast, the microcontroller unit is tasked with managing the devices and processing the information collected from both the devices and the mobile station. This unit acts as the system’s central processing unit, overseeing the flow of information to and from all other components.

As illustrated in Fig. 1, the system consists of these two primary units. The microcontroller unit is equipped with four sensors and a light, in addition to the SIM900 module.

The LM35 sensor detects temperature, the digital output proximity sensor serves as an intrusion detector, and the Panasonic passive infrared sensor functions as the motion detector within the system. The microcontroller continuously processes data from these sensors and will alert the mobile station if any anomalies are detected or if the temperature exceeds a predefined threshold. In addition to receiving alerts, users can inquire about the current temperature in their home by sending a command to the microcontroller. These three components collectively enhance home security. Furthermore, the microcontroller unit includes a lighting system that can be controlled remotely via the mobile station. For demonstration purposes, a simple Light Emitting Diode (LED) showcases the remote lighting management capabilities. Users can monitor the light’s status – whether it is ON or OFF – through the mobile station and can adjust the light’s state remotely. Additionally, a heat sensor is integrated into the system, which is programmed to send an SMS alert in the event of a fire.

The Sim900 GPRS/GSM module serves as the intermediary between the microcontroller unit and the mobile station, facilitating communica-

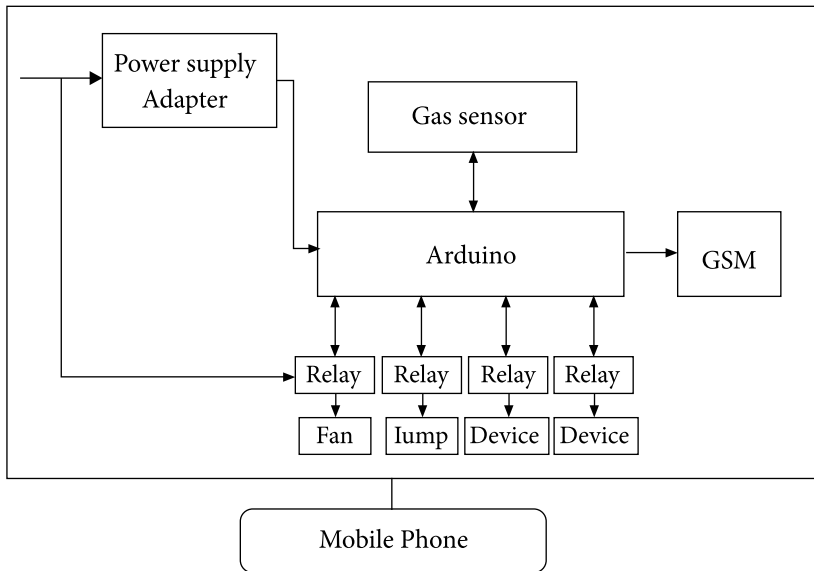


Fig. 1. System block diagram

tion between the two. This module is tasked with transmitting data from the microcontroller to the mobile station and relaying instructions from the mobile station back to the microcontroller. The microcontroller executes the commands issued by the user via the mobile station. The second component of the system is the mobile station, which is essentially a mobile phone. There are no specific requirements or applications needed for the mobile phone to integrate into the system; any mobile phone that supports messaging functionality is adequate. Instructions to the microcontroller are conveyed through text messages, and alerts from the microcontroller are also received in text format. This system functions as a smart home solution, enhancing home security and enabling remote management of household devices.

Interfacing of Sim900 Gprs/Gsm Module

The Sim900 module plays a crucial role in facilitating communication between the microcontroller and the mobile phone. To interface and configure the module, ATention (AT) commands are employed. These commands are incorporated in C-language as a string of characters, which are transmitted to the module via a terminal program.

To activate the SIM card, the SIM pin code is necessary. As illustrated in listing 1 on Fig. 2, the instructions are articulated within a program as C-language code that can be executed at a designated time. Subsequently, the code is compiled and uploaded to the Arduino/GPRS shield unit.

Listing 2 presents on Fig. 3 the AT commands required to identify the index of an SMS and to access the content of the SMS message. It is essential to retrieve the SMS index each time a new SMS is received, as the

```
mySerial.println("AT+CPIN=4510"); //the pin code for the sim
delay(5000); mySerial.println("AT+CMGF=1"); //sets the text mode
```

Fig. 2. Listing 1 – AT command syntax to set the text mode

```
pos = msg.indexOf(",");
String index = msg.substring(pos+1); //the index of SMS
mys When exposed to the fire of an ignited lighter:
erial.print("AT+CMGR = ");
    mySerial.println(index);           //read the incoming SMS
```

Fig. 3. Listing 2 – AT commands to read the SMS message defined within a program

index continues to increment. Failing to do so may result in the program repeatedly reading the same SMS, despite the presence of new messages. Given the limited storage capacity of the SIM card, SMS messages are deleted after they have been read and the corresponding instruction has been executed. The microcontroller acts according to the instructions conveyed through the SMS message from the mobile phone.

Interfacing and Implementation of Sensor

There are various areas that require regular monitoring, as well as devices that need to be inspected both inside and outside the residence. It is essential to keep an eye on doors and windows to prevent unauthorized access, as well as to observe the movements of unfamiliar individuals in the vicinity of the property. Additionally, a household member may wish to check the status of electronic devices after leaving the home and may need to deactivate them if they have been inadvertently left on. Furthermore, monitoring the home's temperature is crucial to activate an alarm when it reaches a critical threshold. The oversight of temperature, the movement of strangers, and the operation of doors and windows is facilitated by specific sensors. These sensors can be designed as various types of detectors based on the requirements of the application and user preferences. The functionality of these sensors is governed by software. Given the diversity of sensor types, they are connected according to their output characteristics and specifications. The external circuitry required for interfacing the sensor with the application varies depending on the sensor type; however, it is not always necessary, as some sensors can provide direct output for immediate use in the application.

Heat Sensor

The heat (flame) sensor depicted in Fig. 4 exhibits a high sensitivity to standard light, which is why it is commonly employed for flame detection purposes.

This module is capable of identifying flames or light sources within the wavelength range of 760 nm to 1100 nm. The output interface of the small plate can be directly connected to the microcomputer's IO port. It is

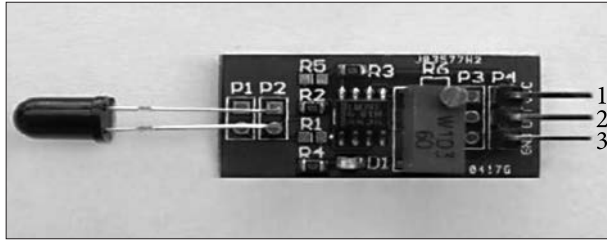


Fig. 4. Heat sensor

```

void setup() { Serial.begin(9600);
} void loop()
{ if (analogRead(A0) < 250) Serial.println("No
Fire"); else Serial.println("There's a Fire!");
delay(100); }

```

Fig. 5. Listing 3 – C code used to read the temperature

essential to maintain a specific distance between the sensor and the flame to prevent damage from excessive heat. The minimum testing distance is 80 cm; for larger flames, a greater distance should be used. The sensor has a detection angle of 60 degrees, making it particularly responsive to the flame spectrum.

The microcontroller monitors the sensor's output voltage at one-second intervals through the analog Read function. Since temperature is a function of output voltage, it can be computed mathematically. The temperature is derived from the output voltage using the formula provided in listing 3 in Fig. 5. If the calculated temperature surpasses the threshold set within the software, an SMS will be automatically dispatched to the designated mobile phone. This temperature threshold can be adjusted based on the specific environment where the sensor is installed and the intended application. For instance, if the sensor is situated in a cold room to regulate its temperature, a lower threshold is appropriate, whereas a higher threshold is necessary for a sensor placed in a fire detection scenario. Furthermore, the current temperature at the sensor's location can be obtained by sending an SMS to the GPRS module.

Numerous electronic devices within a household may have an uncertain operational status (either ON or OFF), and it is possible for them to be inadvertently left ON. It is essential for the owner to ascertain the status of these devices, and if any are found to be ON, they must be turned OFF. However, returning home to switch off these devices is not always feasible. This situation highlights the necessity for remote management of electronic devices to mitigate the risk of accidents and reduce electricity consumption. Various methods exist for implementing remote management of elec-

tronic devices, including Ethernet management, wireless device management, and GPRS/GSM module management. This paper focuses on the remote management of lighting systems using the GPRS/GSM module, particularly through SMS communication. In this context, the lighting system serves as a representative example of electronic devices in general. Given that the lighting operates on a 220V AC current while the Arduino provides only

a 5V DC current, a relay is employed to interface between the Arduino and the lighting system. The relay is controlled via the I/O pins of the Arduino, which ultimately regulates the lighting. The circuit diagram illustrating the control of electronic devices through the I/O pins of the Arduino Board via the relay shield is presented in Fig. 6.

The electronic device is operated through the I/O pin of the Arduino, which is linked to a relay. When the I/O pin is in a low state, the common (com) terminal connects to the normally closed (NC) terminal, while in a high state, the common connects to the normally open (NO) terminal. This configuration indicates that the electronic device is activated when the I/O pin is high and deactivated when it is low. Essentially, the electronic device can be controlled remotely by manipulating the I/O pin of the Arduino board. For demonstration purposes, a LED is utilized to represent the remotely controlled light, functioning in place of a traditional light bulb. The operational principle for controlling the light remains consistent with that of the LED; the light is managed through the Arduino's I/O pins via relays, while the LED is directly controlled by the I/O pins.

Listing 4 presents in Fig. 7 the C-code necessary for the remote management of the light using a mobile phone. The code begins by monitoring incoming SMS messages and executes actions based on their content. The light can be turned ON or OFF in accordance with the commands received from the mobile phone. The fifth bit of port B indicates the light's status (specifically, the status of I/O pin 13), which is accessed using the bitRead function. When the status of the light is requested, an SMS is sent back to the mobile phone, providing the current status. This method allows for remote awareness of the light's status and enables the light to be turned ON or OFF via mobile phone commands.

The SH system is designed by incorporating sensors and a remotely controlled lighting system as detailed in this paper. For demonstration purposes, a single lighting system is utilized alongside three types of detectors: an LM35 temperature sensor for heat detection, a Panasonic passive infrared sensor for motion detection, and a Hall Effect proximity

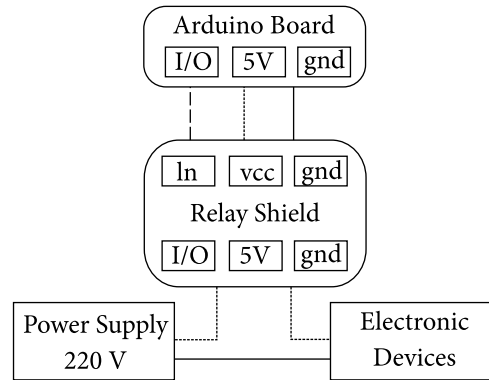
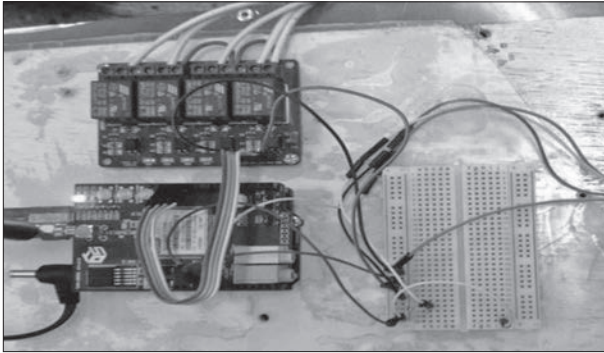


Fig. 6. Circuit diagram for the control of electronic devices

```

int led = 13;
pinMode(led,OUTPUT);
  if(msg.indexOf("Turn light on") >= 0){ digitalWrite(led,HIGH);
} if (msg.indexOf("Turn light OFF") >= 0){
digitalWrite(led,LOW);
} if(msg.indexOf("State of light") >= 0){ val =
bitRead(PORTB,5);
  switch(val){ case 0: send_SMS();
break;
case 1: send_SMS();
break; } }

```



▲ Fig. 7. Listing 4 – C-code compilation for the management of light remotely

Fig. 8. Final system

sensor for intrusion detection. The quantity of sensors and remotely managed electronic devices can be adjusted based on the specific requirements of the application.

This system activates alarms in response to unauthorized entry through doors and windows, as well as detecting human movement within the premises and restricted zones. Additionally, it monitors temperature levels and triggers an alarm when critical thresholds are reached or exceeded. The entire system integrates the sensor implementation and lighting control, which is executed on the Arduino platform using the Arduino Uno Board, as illustrated in Fig. 8.

Fig. 8 illustrates the microcontroller unit, which comprises the Arduino board, GPRS shield, light, and sensors. The unit can receive power either from an external source or through the USB port of a computer. In this study, power is supplied via the USB port, while the sensors and GPRS shield draw power from the unit itself. The entire system is developed using C-code on the Arduino platform. The software created on this platform can be uploaded to the microcontroller (i.e., the Arduino board) utilizing the Arduino IDE.

The Arduino integrated development environment (IDE) is a cross-platform application developed in Java, allowing programs to be written in C or C++. This platform includes a software library and a code editor equipped with features such as syntax highlighting brace matching, and automatic indentation. The complete program is authored in C language code, which can be easily uploaded to the board with a single click of the upload button. Essentially, this work involves integrating the soft-

Unit	Instruction send by mobile	Response to the mobile	Output/Alarm triggerring condition		
Light	State of light	The light is ON/OFF			
	Turn light ON		Light is turned ON		
	Turn light OFF		Light is turned OFF		
Heat sensor	What is the flam sensor?	The flam is x °C			
		The flam is too high	If the flam is > y °C		
Switches	Turn Devise ON	The Devise is ON/OFF			
	Turn Devise OFF				

Fig. 9. Results of the instructions and the response to and from the mobile station

ware (C language code) that interfaces with and implements the sensors, GPRS module, and remote light management. Furthermore, the program includes additional code to facilitate coordination among these components, along with supplementary C-code beyond the individual codes previously mentioned.

Results

The objective of this paper is to implement a smart home (SH) system, and this goal has been successfully achieved. The microcontroller unit effectively responds to commands issued by the mobile phone, adapting to the application’s requirements and activating an alarm in critical situations. Additionally, the application successfully facilitates the remote management of electronic devices.

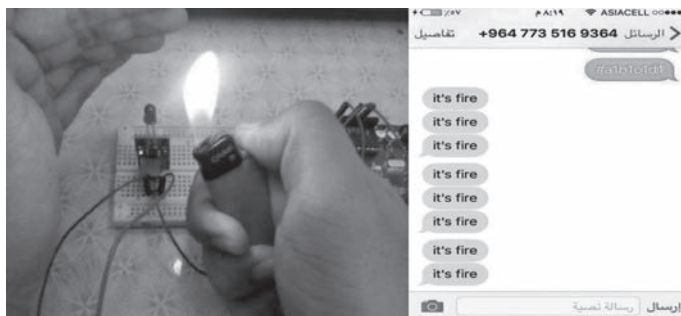


Fig. 10. Screenshot of the mobile station managing the light remotely

Table shown in Fig. 9 presents the commands transmitted to the microcontroller from the mobile device, along with the corresponding outputs and responses from the microcontroller back to the mobile device. It is evident from the Table that the commands are directed solely to the lighting system and the temperature sensor, which operate in accordance with the instructions received from the mobile phone.

Fig. 10 illustrates a screenshot depicting the management of electronic devices, specifically the lighting system, via the mobile device.

As shown in Fig. 10, the microcontroller communicates with the mobile phone through SMS, indicating whether the light is ON or OFF based on the command (light state) sent from the mobile device. The light can be toggled ON and OFF through SMS, and the responses to these commands vary depending on the light's status, as demonstrated in Fig. 10.

Conclusion

The objective of this paper was to develop a smart home system that enables remote control of household electronic devices via a mobile phone, as well as to receive notifications regarding unauthorized access and movement in restricted areas. This objective was successfully accomplished. Control of the devices was facilitated through the transmission of instructions via SMS, with alerts also being delivered in the same manner. A Hall Effect proximity sensor was employed to detect unauthorized entry, while a passive infrared sensor was utilized to monitor movement in restricted zones. Additionally, a temperature sensor functioned as a heat detector, and an LED light was incorporated to demonstrate the management of electronic devices. The Arduino Uno Board served as the microcontroller, and the SIM900 GPRS/GSM module was utilized for communication between the microcontroller and the mobile device. Notably, the mobile phone did not require any specialized applications or hardware; any mobile phone capable of sending and receiving SMS could function as a mobile station.

REFERENCES

1. Nisar K., Ibrahim A. A smart home model using android application. *Proceedings of the 7th International Conference on Kansei Engineering and Emotion Research, Malaysia*, 2018. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8612-0_1
2. Li M., Gu W. Smart home: architecture, technologies and systems. *Procedia Computer Science*, 2018, Vol. 131, 393–400. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.219>
3. Darby S. Smart technology in the home: time for more clarity. *Building Research and Information*, 2018, Vol. 46 (1), 140–147. <https://doi.org/10.1080/09613218.2017.1301707>
4. Al-Kuwari M., Ramadan A. Smart-home automation using IoT-based sensing and monitoring platform. *2018 IEEE 12th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering, Qatar*, 2018. <https://doi.org/10.1109/CPE.2018.8372548>

Received 25.01.2025

М. АЛЬ-РАВИ, д-р філософії (техн.), доцент,
Технологічний інститут Бандунга,
Джл. Ганеша, № 10, Західна Ява, Бандунг, 40132, Індонезія
<https://orcid.org/0000-0003-1407-6519>
muhrawi@yahoo.com

ВИКОРИСТАННЯ МОБІЛЬНОГО ТЕЛЕФОНУ ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИМИ ПРИСТРОЯМИ В СИСТЕМІ РОЗУМНОГО ДОМУ

Вступ. Технологія «розумний дім» охоплює низку інтелектуальних пристроїв, призначених для використання в домах. Ці пристрої пропонують численні можливості змінити наш спосіб життя в майбутньому. Технологія «розумний дім» зробила значний внесок у підвищення безпеки та надійності, а також потенційно змінила наші щоденні звички. У сучасному суспільстві мобільні телефони служать не лише для спілкування. З розвитком технологій функційні можливості мобільних телефонів розширюються, що уможливило їх використання для різних задач з застосуванням відповідних програм. Зараз на ринку доступний широкий спектр програм і апаратного забезпечення, які можна інтегрувати без необхідності подальшого вдосконалення наявних смартфонів. Завдяки підключенню до мережі мобільні телефони можуть полегшити керування системами розумного дому, даючи змогу користувачам контролювати пристрої та отримувати сповіщення про можливу крадіжку або несанкціонований доступ.

Метою цієї статті є створення системи «розумного дому», яка дає змогу дистанційно керувати електронними пристроями та надає сповіщення про вторгнення або переміщення в зонах обмеженого доступу. Управління пристроями здійснюється через мобільні телефони з допомогою служби коротких повідомлень (SMS), причому сповіщення також надсилаються як SMS-повідомлення з детальною інформацією про дії, що відбуваються поблизу.

Результати. Розроблено систему «розумний дім», яка дає змогу дистанційно керувати побутовими електронними пристроями з допомогою мобільного телефону. Управління пристроями спрощено завдяки передачі інструкцій через SMS, як і передача зворотних сповіщень. Датчик наближення на ефекті Холла використовувався для виявлення несанкціонованого проникнення в приміщення, а пасивний інфрачервоний датчик використовувався для моніторингу руху в заборонених зонах. Крім того, датчик температури функціонував як детектор тепла, а світлодіодний індикатор було вбудовано для демонстрації керування електронними пристроями. Плата *Arduino Uno* слугувала мікроконтролером, а модуль *SIM900 GPRS/GSM* використовувався для зв'язку між мікроконтролером і мобільним пристроєм. Зауважимо, що мобільний телефон не вимагав жодних спеціалізованих програм або апаратного забезпечення; будь-який мобільний телефон, здатний надсилати та отримувати SMS, може функціонувати як мобільна станція.

Висновки. Розроблена система «розумний дім» продемонструвала свою ефективність. Було показано, що блок мікроконтролера ефективно реагує на команди мобільного телефону, підлаштовуючись під вимоги програми та активуючи сигналізацію в критичних ситуаціях. Крім того, програма забезпечує дистанційне керування електронними пристроями.

Ключові слова: розумний дім, мобільний телефон, дистанційне керування, електронні пристрої.

<https://doi.org/10.15407/intechsys.2025.01.050>
UDC 004.8 + 004.032.26

M.I. KOROTIUK, Student,
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”,
37, Beresteyskyi ave., Kyiv, 03056, Ukraine
mariakorotiuk@gmail.com

N.A. RYBACHOK, PhD (Engineering), Assoc. Professor,
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”,
37, Beresteyskyi ave., Kyiv, 03056, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-8133-1148>
rybachok@pzks.fpm.kpi.ua

AUTOMATED SENTENCE ALIGNMENT IN UKRAINIAN-GERMAN PARALLEL TEXTS

Introduction. Sentence alignment in German parallel texts is a relevant task. It allows obtaining parallel data sets necessary for many computational linguistics tasks, such as parallel corpus construction and machine translation. The article describes the main tasks of sentence alignment, reviews existing methods and analyzes their ideas. Based on this analysis, a new method is proposed, it is based on the Bleualign approach, which uses machine translation systems and the BLEU metric to assess the similarity of sentences. However, it differs in the use of additional marker dictionaries for industry terms and conjunctions, including their synonyms. This article outlines the main tasks of sentence alignment, reviews existing methods, and discusses their ideas. Based on this analysis, a new method is proposed. This method is based on the Bleualign approach, which uses machine translation systems and BLEU metrics to evaluate sentence similarity, including the alignment of parts of complex sentences. However, it differs in the alignment process steps and introduces additional marker dictionaries for domain-specific words and conjunctions, including their synonyms.

The purpose of the work is to develop a method and software for automated sentence alignment in Ukrainian-German parallel texts.

Methods. The developed method is based on the Bleualign method and the BLEU metric. It is improved by the use of dictionaries of industry terms and conjunctions, and also provides a focus on one language pair – Ukrainian-German. The proposed method consists of

Cite: Korotiuk M.I., Rybachok N.A. Automated Sentence Alignment in Ukrainian-German Parallel Texts. *Information Technologies and Systems*, Kyiv, 2025, Vol. 1 (1), 50–58. <https://doi.org/10.15407/intechsys.2025.01.050>

© Publisher PH «Akadempriodyka» of the NAS of Ukraine, 2025. The article is published under an open access license CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

6 stages, allowing to align sentences in Ukrainian-German parallel texts. The proposed method is implemented in software using the Python programming language.

Results. A new method for aligning sentences for Ukrainian-German parallel texts has been developed and its software implementation has been completed. The proposed method is based on statistical approaches and does not require significant computing resources. Unlike the Bleualign method, it uses dictionaries of industry terms and conjunctions for more accurate sentence alignment.

Conclusions. Further research will include experiments and comparison of the alignment results obtained using the proposed method with the results of the Bleualign method.

Keywords: sentence alignment, parallel texts, machine translation, BLEU metric, dictionaries.

Terminology

Sentence alignment – the process of establishing correspondence between sentences with the same meaning in parallel texts.

Parallel texts – texts in different languages that convey the same meaning and are translations of each other.

BLEU metric – a statistical method for evaluating translation quality by comparing the source and target texts using n-grams.

Cosine similarity – a metric for calculating the similarity between vectors, measuring the cosine of the angle between them; it can be used to assess the similarity of vector representations of text features.

Machine translation – an automated process of translating text from one language to another using software, without direct human involvement.

Marker – a unique identifier that highlights specific characteristics of a word, phrase, or text segment, which hold particular significance in language processing, analysis, or translation.

Introduction and Problem Statement

In the field of computational linguistics, an important task is the development of new and improvement of existing methods for segment alignment of parallel texts, particularly sentences. Sentence alignment is a key step in obtaining data that can be used for building parallel corpora, training machine translation models, and analyzing the style and syntactic structure of sentences. The effectiveness of these tasks depends on the accuracy and volume of available parallel data.

There are many methods that can be applied to parallel texts belonging to different language pairs. However, their use often requires significant computational resources, such as through the use of multilingual models. Furthermore, the accuracy of such methods may be low if they are based solely on statistical approaches to data processing, especially if they do not take into account the lexical components of the sentences. Since the German language is widely used globally, and there are significantly fewer parallel data available for the Ukrainian language compared to English, it seems reasonable to develop a sentence alignment method for parallel texts in the context of these languages. Focusing on a specific language pair will allow for the creation of a sentence alignment method

optimized for the lexical characteristics of a specific field, with fewer computational costs compared to methods based on multilingual models, thanks to the use of statistical approaches. This will enable the method to be applied on standard hardware without specialized devices, making it more accessible to a broader audience.

In light of the above, the goal of this study is to improve the accuracy of automated sentence alignment in Ukrainian-German parallel texts by developing a method that ensures the acquisition of a parallel data set using statistical approaches, without requiring significant computational resources. To achieve this goal, it is necessary to review existing methods of automated sentence alignment, analyze their advantages and disadvantages, and, based on the results, develop a proprietary method and implement its software solution.

Literature Review

Among the existing methods of sentence alignment in parallel texts, the Gale-Church method, Hunalign, Bleualign, and Vecalign can be distinguished. Each of these methods uses different approaches to alignment, so their accuracy can vary significantly.

The Gale-Church method is based on the assumption that longer sentences in one language are typically translated into longer sentences in another language, and shorter sentences are translated into shorter ones [1]. The statistical approach, which compares the number of characters in sentences using dynamic programming methods, allows for fast results even for large texts. However, for obtaining accurate results, this might be insufficient, as it does not take into account the lexical components of sentences, which plays an important role in determining sentence similarity.

An alternative to the described method could be Hunalign – a hybrid method that combines the use of dictionaries and sentence length determination [2]. This allows for quite accurate results without the need for significant computational resources, provided that the dictionary is accurate and complete.

Since compiling and formatting a large dictionary can be a time-consuming process, especially when there is insufficient available data, the Bleualign method can be used. The main idea of this method is to use machine translation of the text and the BLEU metric as a measure of similarity to find reliable correspondences between sentences that serve as anchor points [3]. Due to the widespread use of machine translation systems, they can be applied to bring parallel texts to one language, avoiding the creation of a special dictionary with a large number of words, as is done in the Hunalign method. Importantly, these systems can account for semantic relationships in sentences as well. Furthermore, using already translated text allows the method to use only statistical approaches, making it relatively simple, yet fast and efficient. However, there may be difficulties when comparing sentences that contain synonyms or have a shifted word order, while maintaining the same meaning. This could lead to

a loss of some parallel data when evaluating their similarity using the BLEU metric, which is based on exact word matches.

This issue can be resolved by the Vecalign method, which implements a new approach for bilingual sentence alignment [4]. It is linear in terms of both time and memory usage and requires only bilingual vector representations of sentences. The method involves using multilingual vector models, such as LASER. This approach often provides very high accuracy in results due to its consideration of both semantic and lexical components of the sentence. However, it requires significant computational resources, which may be unavailable under certain conditions.

Also let's look at other sentence alignment methods and tools that use advanced approaches and improved text processing algorithms.

Web Align Toolkit – offers an intuitive interface for automatic alignment of parallel texts and supports various language pairs. The tool enables text preprocessing, which improves alignment accuracy. However, its algorithms may produce errors when processing texts containing numerous idioms or specialized terminology. Additionally, the tool does not support processing of very large texts [5].

InterText – a software with a graphical interface for semi-manual alignment, useful for correcting results from automated methods. Its modular architecture allows integration of additional dictionaries and rules for specific language pairs. Among the drawbacks of this project are limited support for modern data formats and decreased performance when processing texts exceeding 10,000 sentences [6].

Bertalign – a BERT-based approach ensuring semantic sentence alignment [7]. It shows strong results when processing context-dependent expressions and idiomatic phrases. The method is especially useful for aligning literary texts where preserving not only content but also stylistic features is crucial. However, it demands substantial computational resources, which may limit its application on standard hardware. Its effectiveness also sharply declines in the absence of high-quality pre-trained models for specific language pairs.

Lingtrain Aligner – an interactive tool combining automatic alignment with manual editing capabilities [8], suitable for creating high-quality parallel corpora where precision in each match is essential. Its modular architecture allows adaptation to specific tasks and language pairs. However, the system requires extensive training for effective use and may yield unstable results for small corpora.

All these modern tools demonstrate a shift from traditional statistical methods to neural and hybrid approaches. Nevertheless, their efficiency often depends on the availability of computational resources, the volume of parallel data, and text complexity, which may pose limitations for certain applications.

Method of Automated Sentence Alignment in Ukrainian-German Parallel Texts

The method proposed in this research is based on the idea of the Bleualign method. It is suggested to use machine translation and sentence similarity assessment in parallel texts, which are brought to one language using the BLEU translation quality evaluation metric. This method, like Bleualign, also supports multi-step sentence alignment, including “one-to-one” and “one-to-many” approaches. The authors’ contribution lies in refining the algorithm by integrating an additional lexical component – domain-specific term and conjunction dictionaries, which are used as markers for sentence matching. Each dictionary is manually compiled and formatted so that synonyms for each term or conjunction are defined in both languages along with a unique marker. The accuracy of sentence alignment using the proposed method largely depends on the size of the dictionaries and the number of synonymous equivalents: the broader the lexical coverage and the more synonym pairs, the higher the alignment accuracy. At the same time, due to their thematic focus (conjunctions and terms within a specific domain), their volume remains moderate, allowing for the quick creation of such dictionaries for specific tasks.

It is expected that the proposed method will improve sentence alignment accuracy in Ukrainian-German parallel texts by 3 – 5% compared to the Bleualign method.

The proposed method consists of 6 stages, which are shown in the action diagram (Fig. 1).

Stage 1. Obtaining two parallel texts – the source (source) and target (target) texts, the source language of the text, as well as the domain term dictionary.

Alignment is possible for both Ukrainian as the source language and German as the target language, as well as in the reverse direction. The proposed method does not require additional formatting of text data since it can work with texts that contain paragraphs.

Stage 2. Choosing the sentence alignment method.

There are two alignment options: within paragraphs or for the entire text.

For the first option, paragraph alignment is performed first by creating a vector for each paragraph, containing the calculated number of dictionary term markers for each term in the given text segment. To achieve this, the text is preprocessed: tokenization is performed to determine the total number of words in the text. Tokenization is also necessary for further lemmatization or stemming of both the text and the dictionary terms. This is important for bringing terms to a uniform form; otherwise, they would be considered different.

Next, the obtained vectors are normalized by dividing by the number of words in the paragraph.

Then, paragraph similarity is determined by calculating cosine similarity. Paragraphs are considered parallel if their similarity exceeds a de-

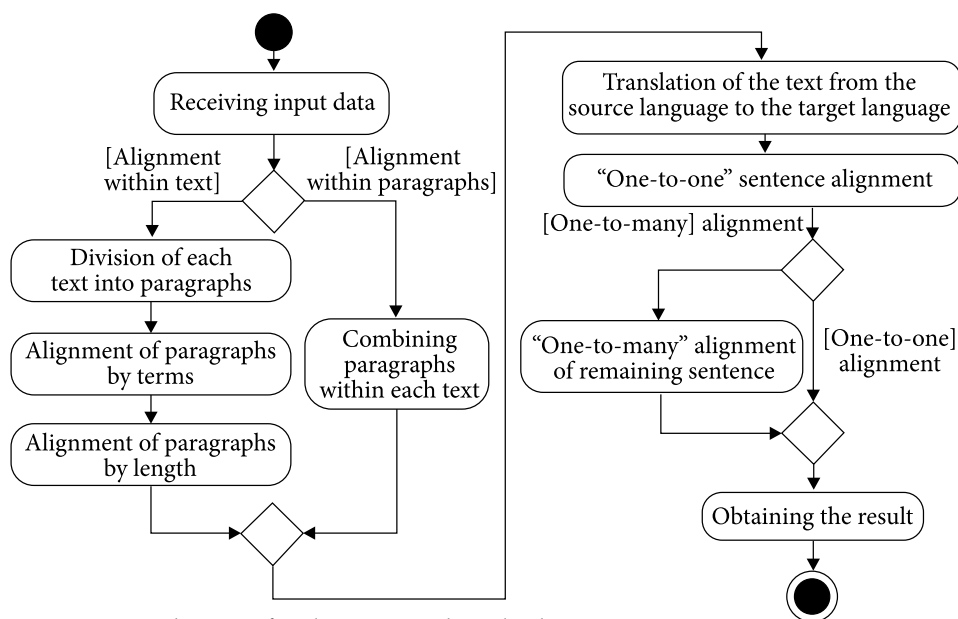


Fig. 1. Action diagram for the proposed method

fined threshold. Multiple parallel paragraphs may be found for each paragraph in the source text. However, there may be cases where some paragraphs do not have any parallel counterparts due to the absence of relevant terms in those text segments. In such cases, additional vectors for paragraphs are created based on the following indicators: the number of sentences in a paragraph and the average number of words per sentence.

Normalization for these additional vectors is performed in the same way as for term vectors. Cosine similarity calculations for these vectors help identify similar paragraphs, allowing an attempt to find parallel sentences among them at later stages.

In the second option, all paragraphs are combined, allowing sentence alignment to be performed regardless of their position within a paragraph or the text as a whole. This approach is suitable for small texts with different formatting due to the quadratic complexity of the method, as similarity is calculated for each possible sentence pair.

Stage 3. Translating the text from the source language to the target language.

Due to the availability of various libraries and resources for machine translation, the proposed method assumes the use of Ukrainian and German texts without requiring additional translations. Therefore, in implementation, the source text is automatically translated into the target language. This helps avoid errors that may arise when working with original and translated texts that do not fully match.

Stage 4. "One-to-one" sentence alignment within paragraphs or the entire text, depending on the results from the first stage.

Sentence alignment is performed in parallel texts that have been converted into the same language.

After tokenization and lemmatization or stemming, domain-specific terms are replaced with markers obtained from the respective dictionary. This reduces cases where synonyms are used in the translated source and target texts.

Sentence similarity is evaluated using the BLEU metric: sentences are considered parallel if their similarity exceeds a defined threshold. BLEU is usually used for translation quality assessment, but in this case, it is also useful because sentences in the same language are being compared. Thus, a high translation match indicates that they convey the same meaning.

A single sentence from the first text may have multiple parallel sentence options, just as a single sentence from the target text may correspond to multiple sentences from the source text.

It is important to correctly adjust the weights for n-grams used in the BLEU metric to account for word order in a sentence. Word order is important, but in translation, it may vary significantly while still conveying the same meaning.

Stage 5. Aligning sentences without identified parallels using the “one-to-many” approach (optional).

Complex sentences are split into simpler ones based on conjunctions identified in the dictionary, and the complex sentence is aligned with multiple simple ones. As in the previous stage, the BLEU metric is used to determine sentence similarity. This allows obtaining a greater number of parallel data.

Stage 6. Obtaining the result.

The alignment results are formatted as corresponding pairs of Ukrainian-German sentences.

Software Implementation of the Method

The software is implemented in Python as a command-line application with a modular architecture. The modules developed during the software implementation include:

- file handling module, which enables reading text data for alignment and saving results as a file;
- dictionary handling module, which retrieves necessary words and their corresponding markers;
- text processing module, which performs preprocessing and translation of text data;
- paragraph alignment module, which processes parallel texts and enables merging paragraphs or obtaining a set of parallel paragraphs from the target text for each paragraph in the source text;
- sentence alignment module, which implements sentence alignment using both “one-to-one” and “one-to-many” approaches and formats the alignment results;
- alignment process management module, which processes input data, calls all necessary modules, and provides the final result.

Python was chosen for software development due to its extensive set of tools for text processing, specifically utilizing the nltk and googletans libraries.

All program modules include validation of input data, and functions incorporate error-handling mechanisms to address any issues that may arise during execution. This ensures stable and reliable program operation.

The required input data is provided via command-line arguments and includes parallel texts in the source and target languages, a dictionary of domain-specific terms, and the source language (Ukrainian or German).

Conclusions

Based on the conducted research on existing sentence alignment methods in parallel texts, an own method for Ukrainian and German has been proposed. This method builds upon the core idea of the Bleualign approach, allowing for lexical sentence alignment without relying on large dictionaries or significant computational resources. However, the proposed method introduces the use of a domain-specific dictionary containing terms relevant to the subject of the parallel texts, which are utilized as markers, along with conjunctions. This enhancement improves alignment accuracy by treating synonyms as equivalent terms.

A software implementation of the proposed method has been developed in Python.

Future research directions include:

- conducting experiments on sentence alignment in parallel texts across various domains, using specialized dictionaries;
- comparing alignment results obtained with the proposed method against those of the Bleualign method.

REFERENCES

1. Gale W., Church K. A Program for Aligning Sentences in Bilingual Corpora. *Computational Linguistics*, 1993, Vol. 19 (1), 75–102. URL: https://www.researchgate.net/publication/220355307_A_Program_for_Aligning_Sentences_in_Bilingual_Corpora [Accessed 27 Nov. 2024]
2. Halácsy P., Kornai A., Nagy V., Németh L., Trón V. Parallel corpora for medium density languages. *Recent Advances in Natural Language Processing IV*, 2007, Issue 1, 47–258. URL: https://www.researchgate.net/publication/282780901_Parallel_corpora_for_medium_density_languages [Accessed 27 Nov. 2024]
3. Sennrich R., Volk M. MT-based sentence alignment for OCR-generated parallel texts. *Proceedings of the 9th Conference of the Association for Machine Translation in the Americas: Research Papers*, 2010, Issue 11. URL: https://www.researchgate.net/publication/281754851_MT-based_sentence_alignment_for_OCR-generated_parallel_texts [Accessed 27 Nov. 2024]
4. Thompson B., Koehn P. Vecalign: Improved Sentence Alignment in Linear Time and Space. *Proceedings of the 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and the 9th International Joint Conference on Natural Language Processing (EMNLP-IJCNLP)*, 2019, Issue 1, 1342–1348. URL: https://www.researchgate.net/publication/336999037_Vecalign_Improved_Sentence_Alignment_in_Linear_Time_and_Space [Accessed 27 Nov. 2024]. <https://doi.org/10.18653/v1/D19-1136>
5. Web Align Toolkit: Online parallel texts aligner and format converter. URL: <http://phraseotext.univ-grenoble-alpes.fr/webAlignToolkit> [Accessed 27 Nov. 2024]
6. InterText: parallel text alignment editor. URL: <https://wanthalf.saga.cz/intertext> [Accessed 27 Nov. 2024]

7. Liu L., Zhu M. Bertalign: Improved word embedding-based sentence alignment for Chinese-English parallel corpora of literary texts. *Digital Scholarship in the Humanities*, 2023, Vol. 38 (4), 621–634. URL: https://www.researchgate.net/publication/366682551_Bertalign_Improved_word_embeddingbased_sentence_alignment_for_Chinese-English_parallel_corpora_of_literary_texts [Accessed 27 Nov. 2024]. <https://doi.org/10.1093/llc/fqac089>
8. Lingtrain Aligner. URL: <https://github.com/averkij/lingtrainaligner-editor/tree/t/master/docs2/docs/source> [Accessed 27 Nov. 2024]

Received 06.02.2025

М.І. КОРОТЮК, студентка,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
просп. Беретейський, 37, м. Київ, 03056, Україна
mariakorotiuk@gmail.com

Н.А. РИБАЧОК, канд. техн. наук, доцент,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
просп. Беретейський, 37, м. Київ, 03056, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-8133-1148>
rybachok@pzks.fpm.kpi.ua

АВТОМАТИЗОВАНЕ ВИРІВНЮВАННЯ РЕЧЕНЬ В УКРАЇНСЬКО-НІМЕЦЬКИХ ПАРАЛЕЛЬНИХ ТЕКСТАХ

Вступ. Virivnyuvannya rechen' v ukrayins'ko-nimeck'kykh paralel'nykh tekstakh e aktual'nym zavdanniam, yake dae zmoгу otrymuvaty nabori paralel'nykh danih, neobkhidnih dlya bagat'okh zavdan' komp'yuternoї lingvistyky, takih yak pobudova paralel'nykh korpusiv ta mashynnyi perekлад. Stat'ya opysue osnovni zavdannia virivnyuvannya rechen', rozglyadaє nayavni metody ta analizue i'xni ideї. Na osnovi cyogo analizu proponuyets'ya noviy metod, yakyy gruntuets'ya na pidkhodi *Bleualign* i vykorystovuye sistemi mashynnoho perekладu ta metryku BLEU dlya oцiнки sхожosti rechen'. Odnak vin vidriznyayets'ya vykorystanniam dodatkovykh slovnykiv markeriv dlya galuzevykh terminiv ta spoluchnykiv, vkluchayuchi i'xni sinonimi.

Мета. Розроблення методу та відповідного програмного забезпечення автоматизованого вирівнювання речень в українсько-німецьких паралельних текстах.

Методи. За основу розробленого методу використано метод *Bleualign* та метрику BLEU. Його удосконалено використанням словників галузевих термінів та сполучників, а також передбачено фокусування на одній мовній парі – українсько-німецькій. Запропонований метод складається із 6 етапів, які дозволяють виконати вирівнювання речень в українсько-німецьких паралельних текстах. Запропонований метод програмно реалізовано із використанням мови програмування *Python*.

Результати. Розроблено новий метод вирівнювання речень для українсько-німецьких паралельних текстів та виконано його програмну реалізацію. Запропонований метод базується на статистичних підходах і не вимагає значних обчислювальних ресурсів. На відміну від методу *Bleualign*, у ньому використано словники галузевих термінів і сполучників для більш точного вирівнювання речень.

Висновки. Подальші дослідження включатимуть проведення експериментів і порівняння результатів вирівнювання, отриманих при застосуванні запропонованого методу, із результатами методу *Bleualign*.

Ключові слова: вирівнювання речень, паралельні тексти, машинний переклад, метрика BLEU, словники.

DIGITAL TECHNOLOGIES IN LEARNING

ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В НАВЧАННІ

<https://doi.org/10.15407/intechsys.2025.01.059>
UDC 004.8 + 004.032.26

А.Ф. МАНАКО, д-р техн. наук, зав. відд.,
Міжнародний науково-навчальний центр
інформаційних технологій та систем НАН та МОН України,
просп. Акад. Глушкова, 40, м. Київ, 03187, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-9706-7118>
afmanako@gmail.com

В.В. МАНАКО, канд. фіз.-мат. наук, наук. консультант,
ТОВ «БІЗНЕС-БІЛД»,
вул., Інститутська, 12А, м. Київ, 01021, Україна
<https://orcid.org/0009-0002-4945-1892>
manvv104@gmail.com

Д.В. МАНАКО, директор,
ТОВ «БІЗНЕС-БІЛД»,
вул., Інститутська, 12А, м. Київ, 01021, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-3753-2716>
dmanako@gmail.com

ПАРАДИГМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗУМІННЯ І ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В НАВЧАННІ

***Вступ.** За останні роки відбулися безпрецедентні зміни, пов'язані з прискореним впровадження інструментів штучного інтелекту в практику. Проблеми використання штучного інтелекту в освіті розглядаються з різних точок зору. У нашому дослідженні моделювання зосереджено на використанні засобів штучного інтелекту в навчанні шляхом побудови загальної парадигматичної моделі на основі моделі метафор в навчанні та штучного інтелекту, моделі парадигми академіка В.М. Глушкова та принципів психології. Розроблено принципи побудови такої моделі в навчанні, які містять модель метафор навчання, модель «Дія. Реєстр задач», модель парадигм академіка В.М. Глушкова і принципи психології: біхевіоризм; обробку інформації та когнітивну психологію; індивідуальний конструктивізм; соціальний конструктивізм та ситуаційне навчання.*

***Метою** цього дослідження є розроблення формалізованого опису зі змістовними інтерпретаціями парадигматичної моделі використання засобів штучного інтелекту в навчанні.*

Цитування: Манако А.Ф., Манако В.В., Манако Д.В. (2025). Парадигматична модель розуміння і використання штучного інтелекту в навчанні. *Інформаційні технології і системи*, Київ, 2025, Vol. 1 (1), 59–76. <https://doi.org/10.15407/intechsys.2025.01.059>

© Publisher ПН «Akadempriodyka» of the NAS of Ukraine, 2025. The article is published under an open access license CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Методи. Системна методологія, методи редукації, абстрагування, аналогії, аналіз та синтез.

Результати. Запропоновано підхід до теоретичного обґрунтування використання інструментів штучного інтелекту в навчанні, а саме до побудови загальної парадигматичної моделі на основі моделей метафор навчання і штучного інтелекту, парадигм академіка В.М. Глушкова і психології (біхевіоризму; оброблення інформації та когнітивної психології; індивідуального конструктивізму; соціального конструктивізму і ситуаційного навчання) та моделі «Дія. Реєстр задач».

Висновок. В епоху цифрової трансформації розв'язання проблеми побудови та практичного використання загальної парадигматичної моделі використання засобів штучного інтелекту в навчанні потребує комплексного розв'язання багатьох актуальних науково-практичних проблем. Водночас необхідно подолати численні труднощі структурування та інтеграції різних конкретних моделей. Тому необхідною умовою та вимогою систематичного вдосконалення загальних і конкретних моделей є комплексна інтерпретація абстракцій у контексті зазначених проблем, а також їх практична перевірка з використанням наявних систем оброблення інформації з метою виявлення та поширення унікальних кращих практик і досвіду усіх зацікавлених сторін.

Ключові слова: парадигми В.М. Глушкова, цифрові трансформації, оброблення інформації, метафора, психологія, математика, статус-кво.

Вступ

В останні роки інструменти штучного інтелекту (ШІ) стали одними еволюційно-революційних двигунів сучасної цивілізації, відкриваючи нові можливості. У висновках звіту ЮНЕСКО «Розуміння впливу штучного інтелекту на розвиток вмінь» [1], зокрема, відзначено, що викладачам, студентам, адміністраторам, політикам, виконавцям програм і тим, хто навчається протягом усього життя, пропонується вивчити та оцінити поточну практику, можливості, проблеми і виклики, пов'язані з ШІ. Щоб зрозуміти, як використовують ШІ в українських школах сьогодні та які перспективи мають відповідні інструменти в майбутньому, було проведено всеукраїнське опитування викладачів та учнів 8–11 класів та надано інформацію щодо поточних практик, можливостей, актуальних проблем і викликів, з якими стикаються викладачі [2].

Проблеми використання ШІ в навчанні розглядаються з різноманітних точок зору, а саме з точки зору доцільності використання різних засобів оброблення інформації, процедур, сервісів тощо [3–37]. У праці «Про деякі задачі обчислювальної техніки і пов'язані з ними задачі математики», академік В.М. Глушков виступив як ідеолог *нового розуміння* кібернетики, визначивши основний напрямок її розвитку — математизацію обчислювальної техніки та її застосувань [14]. Він також сформулював сім парадигм і концептуальних ідей, які розкривають зміст кожної з парадигм [15].

У нашому дослідженні увага фокусується з вищого рівня узагальнення на використання ШІ в навчанні шляхом побудови загальної парадигматичної моделі на основі моделей метафор навчання і ШІ, парадигм академіка В.М. Глушкова і психології (біхевіоризму; оброблення інформації та когнітивної психології; індивідуального кон-

структивізму; соціального конструктивізму і ситуаційного навчання) та моделі «Дія. Реєстр задач».

Мета, проблема, ідея

Позначимо: O – використання інструментів ШІ в навчанні. Моделювання O в епоху цифрової трансформації потребує комплексного розв'язання чималої кількості складних науково-практичних завдань таких, як розуміння і пояснення, оцінювання, еволюція чи революція, варіативність, складність, масштабування, захист власності, усунення невизначеності, інтероперабельність, гармонізація з наявними та запланованим офіційними і де-факто стандартами. Систематизоване моделювання O на базі математичних теорій дає змогу точніше визначати і прогнозувати поведінку O як математичного об'єкта, усуває невизначеність, сприяє масштабуванню рішень тощо. Необхідною умовою моделювання O є вимога для систематичного поліпшення моделі O , тобто абстракцій та їхніх маніфестацій в контексті зазначених проблем, за допомогою доступного інструментарію на базі унікального успішного досвіду зацікавлених сторін.

У контексті *виживання* людей O є мультидисциплінарною і мультикультурною проблемою, причому, необхідно подолати численні труднощі та бар'єри побудови та інтеграції часткових моделей O на різних рівнях чи її станах.

Що таке модель? *Модель* – це відображення і подання чогось конкретного у вигляді формалізованого опису [16]. У науці моделі завжди мають мету, пов'язану з розумінням і поясненням явищ. Це вимагає зосередженості та вибору, що подавати, а ні на тому, як подавати. Таким чином, побічним ефектом розроблення наукового методу є пропонування добре структурованої *парадигми моделювання*. Починаючи з явищ та об'єктів, ми обговорюємо багато етапів абстрагування *рішень* у процесі моделювання, що призводить до створення моделей явищ, виражених математично чи в числовій формі, із виділенням підкреслених контекстів та процедур. Дискурс ведеться з точки зору міждисциплінарної системної науки. Він базується на особистій точці зору авторів і може розглядатися як результат *процесу моделювання*.

Що таке модель процесу? *Модель процесу* [17]: представлення системи або організаційної структури з описом послідовності дій і трансформацій, що відбуваються під час цього процесу, яка містить елементи ймовірності цих дій, та може використовуватися для аналізу і моделювання процесу. Моделі процесів можна створювати з допомогою різних методів, таких як інтелектуальний аналіз процесу або оброблення природної мови. Ці методи спрямовані на те, щоб охопити тривалі інформаційні трансформації на різних рівнях абстракції та зробити прогнози поведінки процесів, що досліджуються. Моделі процесу повинні узгоджуватися з поточними знаннями про когнітивні здібності людини та визначати рівні абстракції інформації.

Їх можна уточнювати та перевіряти емпірично, використовуючи структуру, не покладаючись на конкретні парадигми моделювання.

Що таке моделювання як процес? У науці моделі завжди мають мету, пов'язану з розумінням і поясненням явищ [18]. Це вимагає фокуса на питаннях «Що подавати?», «Як подавати?». Таким чином, побічним ефектом розроблення наукового методу є розвиток добре структурованої парадигми моделювання. Відштовхуючись від явищ і предметів, ми дискутуємо щодо етапів абстрагування рішень у процесі моделювання, що призводить до моделей явищ, виражених математично чи в числовій формі з урахування контекстів та процедур. Цей дискурс зосереджено на міждисциплінарній системній науці. Він базується на особистій точці зору авторів, і може розглядатися як результат процесу моделювання.

Формулювання дослідницької мети, проблеми, або ідеї. Побудувати парадигматичну модель *O*, в якій ШІ це додатковий засіб виживання (Парадигма Глушкова).

Загальна модель

Що таке парадигматична модель? В [18] зазначено, що визначення або формального опису ніколи не буває достатньо для реального розуміння процесу. Потрібно завжди запитувати приклади. Через парадигму поняття отримує: суб'єктивне, структуроване значення; різні властивості, що визначають поняття, не здаються пов'язаними довільно. Парадигми відіграють фундаментальну роль у кожній інтелектуальній діяльності: у визначенні, у розумінні, у навчанні та у кожній спробі вирішення проблем, докладанні зусиль щоб досягти або завершити щось, як правило, важку *задачу* або *дію*. Таким чином, парадигматичні моделі є важливим фактором у формуванні наших інтуїтивних підходів, інтерпретацій та рішень. Існує глибока аналогія між роллю парадигм, визначеною *Томасом Куном* у наукових революціях, та роллю парадигматичних моделей у продуктивному мисленні людини. Важливі поворотні моменти в наших уявленнях взагалі пов'язані з винаходом деяких окремих явищ, що відкривають для нас нові категорії даних.

Приклад визначення моделі *O* — це еволюційний процес здобуття, оцінювання і обробки великого обсягу інформації з метою прогнозування найімовірніших сценаріїв розвитку подій, прийняття обґрунтованих рішень, покращення процесів і результатів в цілому. Мета цього процесу — визначити причину подій і надати рекомендації щодо подальших заходів та дій.

Приклад метафори моделі *O*. Припустимо, що ШІ — це набір засобів для «ловлі риби», тоді мета, проблема та ідея побудови моделі *O* пояснюється у формі *звичайного твердження* — досить відомої, інтуїтивно зрозумілої *метафори* — «якщо дати особі рибу, то вона буде ситою деякий час, а якщо навчити ловити рибу, то вона буде

здатна годувати себе все життя». Приклад інформації про неоднорідності чи унікальні *стимули, реакції, рекомендації та рішення* з ловлі риби, наявність потрібного досвіду, вмінь і засобів у конкретної особи в країні чи іншому середовищі.

Загальна модель O записується так:

$\langle O \rangle = \langle \langle \text{Метафора} \rangle \langle \text{Парадигма} \rangle \rangle$, де: $\langle \rangle$ – позначає набір стрілок.

Загальний приклад конструктиву моделювання $\langle \rangle$: це поняття, ідеї; візуалізації форми *стрілка*: « \rightarrow , або з протилежним напрямком \leftarrow »; набір $\langle \rangle$, дужки якого мають властивості «наявна, нова, змішана (наприклад, не зовсім точна чи визначена»; *стрілка* «особа-об'єкт» має або може мати набір *стрілок*, які називаються *e-портфель (e-квіток* в Україні) з історією та планами практик чи досвіду особи у часі і просторі; «*зміст стрілки*»: структурована інформація про наявні чи уявні властивості стрілок, що подається як «*Інформаційна модель*»; на вищому рівні абстракції $\langle O \rangle$ визначається з використанням математичної теорії категорій, яку часто називають «теорією стрілок» та «наборами стрілок», які описуються мовою *RDF* [20] для подання інформації про ресурси на веб (*ресурс*: те, що можна ідентифікувати через *URL*). Концептуальна ідея *RDF*: використання для опису речей наборів простих тверджень (суб'єкт, предикат або об'єкт) про (ресурс, властивість ресурсу чи значення властивостей).

Нескінчений чи скінчений набір стрілок? Приклад відповіді – теорема Льовенгейма-Скулема [21]: будь-яка несуперечлива теорія першого порядку, що має незліченну модель, має також і злічену модель. Це твердження з теорії моделей: якщо множина пропозицій у зліченній мові першого порядку має нескінченну модель, то вона має зліченну модель. Тобто, це означає, що нескінчений набір *стрілок* O має злічений набір *стрілок* – модель $\langle O \rangle$, який містить в собі всю *інформацію* про нескінченний набір *стрілок* O .

Приклад наборів стрілок: стрілки з монографії [22–23] та їх іншомовних видань; стрілки з навчальних посібників; стрілки на вулицях чи на курсах вивчення правил дорожнього руху; поняття, їх форми і зміст; засіб конструювання вдалих сценаріїв розвитку навчальних подій, варіантів, траєкторій, заходів з поліпшення вмінь, комунікацій «Учень – об'єкт»; штучний нейрон, нейронна мережа глибокого машинного навчання, комплект навчальних засобів чи послуг штучного інтелекту.

Інформація, знання, дані. «Інформація, у найзагальнішому її розумінні, є мірою неоднорідності розподілу матерії та енергії у просторі та часі, мірою змін, якими супроводжуються всі процеси, які відбуваються у світі (В.М. Глушков)» [14], Інформація відображає універсальні *властивості* O такі як вірно-невірно, точно-ймовірно, відоме-невідоме, нове-старе, форма-зміст, учень-об'єкт, варіативність, складність, структура, неоднорідність у часі-просторі, закономірності, закон, правило, міра, зміни, стан. *Знання* – *інформація*, форма якої

є носієм практик, які можуть стимулювати вибір чи рішення суб'єкта. «Інформація, доступна обчислювальній машині, складається із деяких даних про дійсність — таких даних, які вважаються належними до поставленої задачі та з яких, як передбачається, можна отримати потрібний результат» (Н. Вірт) [24].

Приклад наборів стрілок *Учень*: особа, яка навчається і здатна використати ІШ для виживання чи для кращого життя. Приклади *інформації* про Особу: персональний реєстр задач, ідеал, катастрофа фізична чи юридична; стратегія просторова і часова, задача, рішення, бажання, успішний досвід, е-портфель, мова, варіабельність, унікальність, уподобання щодо форм чи змісту, задоволення, стимул, зростання, реактивність, рух, емоція, вікно, інформаційна панель, ролі; ролі (функції) *учня*: цифровий клієнт, новачок, експерт, лідер; вміння: критичне мислення, вирішення проблем, комунікація, керування часом чи інформацією [6, 7, 25].

Приклад концептуальний ідеї щодо *використання* набору *стрілок* у сфері навчання за підтримкою інформаційних технологій — ідея навчальних об'єктів [10, 11, 25]: «Навчальні одиниці (*прим.* це інформація про *стрілки*) потрібно виробляти більш малими і комбінувати їх у велике різноманіття специфічних навчальних програм, пристосованих для кожного учня подібно тому, як комбінуються компоненти конструкцій у стандартизованих конструкторських наборах». Ця ідея широко використовуються для цілеспрямованого розвитку «економіки навчальних об'єктів». Стратегічні переваги і користь від навчальних об'єктів, які базуються на стандартах, походять від збільшення багаторазового використання і мобільності цінних об'єктів високоякісного контенту: суб'єкти створюють нові можливості для скорочення витрат і, водночас, досягають операційної ефективності; найбільш успішні суб'єкти реалізують це у такий спосіб, щоб безперервно зростала цінність їхньої продукції, і тому, вони матимуть переваги і вигоди та будуть першими на ринку з інноваціями, які зроблять їхню продукцію значно доступнішою, гнучкішою і кориснішою для клієнтів.

Приклад «*стрілка — це навчальна одиниця*»: дидактичний метод, крок, ситуація, ресурс, вимір, стимул, реакція, досвід практик, результат, навчальна задача, тест (запитання, відповідь), екзамен, етап, зміна, ділянка навчального простору чи середовища, урок, трикутник вчитель-учень-клас, квадрат, багатокутник, піраміда, паттерн, функція, таксономія, прогноз, вхід-вихід, засіб виживання чи ні (катастрофа); засіб поліпшення життя чи ні.

Загальна модель метафор

Що таке метафора?

Приклад. У термінах психології, *метафора*: фігура мови (образної мови), в якій слово чи фраза застосовуються до *об'єкта, особи чи дії*, які вони буквально не позначають (наприклад, життєвий шлях), з ме-

тою створення сильної енергійної і могутньої (*forceful*) аналогії. Якщо аналогія явно вказана як така (наприклад, життя схоже на подорож), то така фігура є порівнянням а не метафорою.

Приклад з монографії [25], в який здійснено стислий історичний аналіз теорій метафори, охарактеризовано роль метафори у мові та в процесах мислення. *Концептуальна метафора* — це спосіб концептуалізації, когнітивний процес, який виражає та формує нові поняття, і без якого отримання нового знання неможливе. Джерело концептуальної метафори — здатність людини вловлювати і створювати подібність між різними індивідами та класами об'єктів. Кожна метафора має дві зони (домени): донорську (сфера-джерело, *source domain*) і реципієнтну (сфера-цілі, *target domain*). Донорська зона завжди конкретна й антропоцентрична (для її утворення використовується людське тіло). Згідно з теорією концептуальної метафори, в основі метафоризації лежить процес взаємодії між структурами знань (фреймами та сценаріями) сфери-джерела та сфери-цілі. У результаті метафоричної проєкції (*metaphorical mapping*) зі сфери-джерела у сферу-цілі, сформовані в результаті досвіду взаємодії людини з навколишнім світом елементи сфери-джерела структурують менш зрозумілу концептуальну сферу-цілі, що і є змістом когнітивного потенціалу метафори. Порівняно зі сферою-цілі, сфера-джерело є конкретною, інтуїтивно зрозумілою, відомою через безпосередній фізичний досвід.

Приклад з книги Мака Кормака «Когнітивна теорія метафори» [26]. Когнітивна теорія метафори розглядає три рівні пояснення — виражену поверхневою мовою метафору, семантику метафори та метафору як пізнавальний процес — і об'єднує їх, інтерпретуючи метафору як процес еволюційного знання, у якому метафори є посередниками між розумами (*minds*) і культурою. Мак Кормак розглядає та відкидає радикальну теорію про те, що будь-яке використання мови є метафоричним. Однак цей аргумент також визнає, що теорія метафори сама по собі може бути метафоричною. У книзі спочатку розглядається обчислювальна метафора, яка часто використовується когнітивною психологією як приклад метафори, що потребує аналізу. На противагу трьом добре відомим філософським теоріям метафори — теорії напруги, теорії протиріччя та теорії граматичних відхилень — вона розвиває теорію семантичної аномалії метафори, засновану на *квазіматематичній ієрархії слів* (прим. це < >). Розвиваючи теорію, Мак Кормак встановлює такі необхідні зв'язки між теоріями метафори та більш ортодоксальною аналітичною філософією значення, включно з обговоренням мовленнєвих актів і *логіки нечітких наборів* (прим. це < >). Потім було показано, що ця семантична теорія пояснення сумісна з сучасними психологічними теоріями пам'яті.

Що таке *система метафор*? Приклад «Школа — це пекло»; Метафори навчання» [28 — 30]. Одним із способів спілкування людей

між собою про свій окремий і різний досвід у світі є використання образної мови щоб описати або зрозуміти одну річ з точки зору іншої речі. Трьома найпоширенішими метафоричними системами, які студенти використовують для опису свого досвіду навчання, є: «навчання це конструювання», «навчання це зростання» та «навчання це рух».

Приклад метафори «Штучний інтелект – це набір стрілок». Стрілки ІІІ є класами абстрактних і цифрових засобів та інструментів. Зазвичай стрілки мають унікальний ідентифікатор, властивість, атрибут зі значеннями «ІІІ». Використання цифрових засобів, інструментів у навчанні пропонує численні можливості, переваги, зокрема, гарний досвід навчання, доступ до великої кількості інформації, поліпшену співпрацю та економічну ефективність. Водночас, є певні обмеження і побоювання, пов'язані з використанням таких засобів у реальних ситуаціях, технічні проблеми, обмежена взаємодія і комунікація, доступність, конфіденційність і безпека, звикання та віддалення від реального світу. І тому, з метою систематичного зростання ефективності і продуктивності використання цифрових засобів, інструментів в навчанні, важливо систематично вирішувати ці обмеження, проблеми, побоювання і розробляти інтегровані стратегії їх систематичного уникнення [3–5].

Як використовувати візуальні метафори в електронному навчанні?

Приклад відповіді зі статті «7 порад щодо використання візуальних метафор в електронному навчанні (Крістофер Паппас, 2016 р.)» [31]. Метафори самі по собі є потужним інструментом. Однак додавання візуальних матеріалів може зробити їх чудовим ресурсом електронного навчання. Описано сім незалежних від теми чи цільової аудиторії порад: Почніть із діаграми мозкового штурму; Зробіть це емоційно близьким; Будьте простішими; Залишайтеся у темі; Досягайте максимального ефекту при повільному розкритті; Надягніть шапку нестандартного мислення; Використовуйте візуальні метафори з розумом. Приклад пояснення поради «Почніть із діаграми мозкового штурму». Коли учні бачать ваші візуальні метафори в електронному навчанні, їм на думку автоматично спадатиме певний набір слів. Іншими словами, їм не слід витрачати час на аналіз зображення, намагаючись розшифрувати, що воно символізує. Щоб цього уникнути, подумайте про слова або ідеї, які ви хочете передати ще до того, як виберете зображення. Фактично створіть діаграму мозкового штурму з окремими стовпцями: один для основного поняття, а інший для можливих ключових слів або метафоричних ідей. Наприклад, якщо ви намагаєтесь позначити набуття знань, слово «розблокувати» може увійти в другий стовпець як ключове слово. Звідси природною візуальною метафорою буде замок чи ключ.

Приклад подання моделі системи метафор наведено у таблиці «Подання моделі системи метафор у формі “Запитання – Відповіді”».

**Подання моделі системи метафор у формі
«Запитання – Відповіді» (Адаптовано з [29])**

Питання	Навчання – це		
	конструювання	зростання	рух
Зміни	Будівництво, конструювання, створення	Розвиток, зростання	Розвиток, впливи сил у деяких напрямках
Процес	Вміння, зусилля, використання матеріалів	Виховання, підтримка, час	Вплив, потужність, важіль, вік, сила
Ризики	Відсутність притулку, руйнування	Смерть, втрата	Бізнес, безпорадність, бути поза контролем
Й досі вірити що це правильно	Будівництво, враховуючи інструменти, вміння, матеріали, яка особа будуватиме	Зростання: враховуючи чи ні причини	Причинність: на роботі, особа буде працювати відповідно до наявних сил

Приклад пояснення змісту таблиці. ЗМІНИ: *Що відбувається у будівництві, конструюванні, розвитку, русі, зростанні, впливі на систему? Які сили впливають на зміни у деяких напрямках та у часі?* ПРОЦЕС: *Як відбувається зміна вмінь, зусиль, використання виховання, підтримки, впливу, сили, важелів? З допомогою яких матеріалів, віку, форсування процесу це відбувається?* РИЗИКИ: *Який є ризик, небезпека, відсутність притулку, смерть, втрата, безпорадність або страх передбачити руйнування, вихід з-під контролю або притаманні системі?* Й ДОСІ ВІРИТИ ЩО ЦЕ ПРАВИЛЬНО: *Що робиться у будівництві: враховуючи зростання, враховуючи причини: систему, інструменти, вміння, матеріали, розвантаження сил особи на роботі, що особа приймає як належне?;*

Отже, набір стрілок <Метафора> має інформаційне подання у формі таблиці з клітинками <<Інформація про> <<Запитання> <Відповідь>>>.

Загальна модель метафор записується так:

<Метафора> = <<Метафора: Навчання> <Метафора: ШІ>>

Загальна модель парадигм

Що таке парадигма?

Приклад. Загально визнаний історик науки Томас Кун вважав, що це слово позначає набір практик, які визначають наукову дисципліну в будь-який конкретний період часу [32]. У своїй книзі «Структура наукових революцій» Кун визначає наукову парадигму як: «універсально визнані наукові досягнення, які на певний час забезпечують типові проблеми та рішення для спільноти дослідників, тобто: «Що потрібно спостерігати та перевіряти?»; тип запитань, «Які запитання мають бути поставлені та досліджені для пошуку відповідей стосовно цього предмету?»; «Як ці запитання мають бути структурова-

ні; як слід інтерпретувати результати наукових досліджень; як проводити експеримент і яке обладнання доступне для проведення експерименту?» [32].

Приклад відповіді з класичної книги футуриста Д.А. Баркера «Відкриття майбутнього: бізнес парадигм» [33]. Парадигма – це набір правил і положень, який встановлює та визначає межі їх застосування; Як поводитися у цих межах, щоб досягти успіху? Слова, що подають набори понять парадигми: теорія, модель, методологія, принципи, стандарти, протокол, процедури, припущення, конвенції, шаблони, звички, здоровий глузд, традиційна мудрість, мислення, цінності, системи відліку, традиції, звичаї, упередження, ідеологія, заборони, забобони, ритуали, примуси, залежності, доктрини, догми, Такі слова як *культура, організація, світогляд, бізнес, освіта* не з'явилися тому, що *це ліси парадигм*.

Пояснення поняття *парадигм Глушкова* [15]. Приклад парадигм Глушкова (П-Глушкова) [15]: «Штучний інтелект, як додатковий засіб виживання»; підвищення рівня внутрішнього інтелекту (тобто, Ш) ЕОМ – засіб їх удосконалення; безпаперова інформатика – новий етап взаємодії людини з комп'ютерним середовищем.

Приклад «Концептуальні ідеї та поняття, що становлять сутність, зміст парадигми П-Глушкова» [15]: Дискретний перетворювач Приклад: < > = <<стрілка1> <стрілка2>>; гносеологічна природа інформаційного моделювання; ідеї з математичного розпізнавання образів; мови для подання даних про пристрої; математизація програмування доказів; дедуктивні побудови; прогнозування за експертними оцінками.

Приклад комбінацій *стрілок* з <парадигма>: модель, паттерн або точні, цінні, практичні приклади функціоналу чи входів і виходів процесу, поведінки, досвіду, практик, що їх вивчають та оцінюють; набір припущень, установок, понять, цінностей, процедур і методів, які становлять загальноприйнятю теоретичну структуру у межах дисципліни; структура планування чи експериментів; мови представлення чи візуалізації.

Приклад «Теорії навчання. Чотири парадигми» [34]. У рамках парадигми, взаємозв'язаний набір теорій поєднує фундаментальні припущення про навчання. У різних парадигмах припущення про навчання значно вирізняються. Дискусії точаться навколо чотирьох парадигм і підкреслюють різницю між ними. Але подібність парадигм також заслуговує на увагу, оскільки всі парадигми: вирішують важливі питання; є складною мережею ідей; містять *описи навчання* та пояснення, а саме «*Чому та як відбувається навчання?*»; підтримують набір рекомендацій, які допомагають учням навчатися.

Чотири парадигми: біхевіоризм; оброблення інформації та когнітивна психологія; індивідуальний конструктивізм; соціальний конструктивізм і ситуаційне навчання. Кожна з цих чотирьох парадигм відповідає на важливі запитання: що таке навчання?; як ми

вчимось?; які умови допомагають нам гарно і правильно вчитися?; які умови заважають нам гарно і правильно вчитися?; що повинні робити люди, щоб допомогти студентам гарно і правильно вчитися?

Приклад відповіді на запитання : «Що таке навчання?»: *біхевіоризм* – опанування поведінки (звичних дій); *оброблення інформації та когнітивна психологія* – оброблення інформації розумом (або мозком); *індивідуальний конструктивізм* – персональне (ре)конструювання наявних знань індивідом; *соціальний конструктивізм і ситуаційне навчання* – адаптація до спільноти знань і практики. Проте рішення розділити теорії на чотири парадигми дещо довільне. Ще *простіша схема* підтримує лише дві парадигми, які можна назвати «Тіло» (поведінка тіла: Біхевіоризм) і «Розум» (мислення і робота мозку: решта три парадигми).

Отже, набір стрілок < Парадигма > має інформаційне подання у формі таблиці з клітинками <<Інформація про> <<Запитання> <Відповідь>>>.

Загальна модель парадигм записується так:

< Парадигми> = < < П-Глушкова> < П-психологія>>.

Модель «Дія. Реєстр задач»

Що таке «Дія. Реєстр задач»?

Приклад відповіді міністра цифрової трансформації України (лютий 2024) – *Дія*. Мрія: це буде абсолютно нова сутність і підхід до освіти із програмами розвитку здібностей учнів та шкалою успішності. Це допоможе самореалізуватися, дасть зручний доступ до знань та змогу будувати індивідуальні освітні траєкторії; буде бібліотека контенту, який потрібен конкретній дитині, інформація про освітні програми, курси, позашкільні активності, олімпіади, гуртки, а також відеоматеріали; буде електронний учнівський квиток, який працюватиме так само, як і документи в Дії. На першому етапі буде: особистий профіль учня із програмами розвитку здібностей учнів та шкалою успішності; цікаві, інтерактивні та мультимедійні навчальні матеріали; збір, оброблення, накопичення, передача та відображення даних про освітній процес; альтернатива учнівського квитка.

Загальна мета, ідея та метод побудови моделі «Дія. Реєстр задач» (далі *ZO*): систематичне зростання розуміння і використання набору стрілок «*O* – це унікальний набір стрілок «Гарна практика. Навчання» з унікальним набором *стрілок* «Гарна практика. Інструменти».

Загальна модель «Дія. Реєстр задач» записується так:

<ZO> = <<O> <IO> <PROC> <PIO> <CR>>

<IO> – набір стрілок «Інформаційне подання *O*»;

<PIO> – набір стрілок «Твердження про *IO*»;

<PROC> – набір стрілок «Знайти значення *PIO*» з використанням набору *стрілок* «Цифрові інструменти»;

<CR> – набір стрілок «Критерій оцінки».

Набір стрілок <O> має інформаційне подання у формі таблиці з клітинками <<Інформація про> <<Запитання> <Відповідь>>>, які позначимо <ZO> з такими дужками : <? або <; ?> або >, де знак ? означає відношення, зв'язки, відносини між кутовими дужками, наприклад, вхід-вихід, стимул, реакція, задача-рішення, форма-зміст, відомі-невідомі, старе – нове, спостерігається чи ні тощо. Отже, маємо наступні набори стрілок < ZO > ; <? ZO >: | < ZO ? > ; <? ZO ? >. Приклад < PIO >. Твердження «O має властивість, яка подається як <IO> <PROC> < PIO > < CR >; < PIO > має значення {0, 1, 0}, де: число 0 – позначає, що O має цю властивість; число 1 – навпаки «немає»; число 0 з діапазону (0, 1) – означає що < PIO > ймовірно поки що не встановлено». Запис $PIO_{ij} = 1$ означає, що в результаті виконання певної процедури PROC встановлено, що O_i має властивість (властивості), яку подано IO_j . Отже, маємо таблицю «Властивості – Значення властивостей O» з єдиною формою подання, які позначаються відповідно, <? або <| ?> або >.

Визначення. Розв'язати ZO означає визначити процедуру PROC, яка визначає PIO та задовольняє критерію CR. Якщо створено набір процедур PROC, то ZO перетворюється на задачу вибору з набору процедур PROC у відповідності з критеріями CR.

Приклад наборів стрілок: < ZO > = << ZO: Запитання> < ZO: Відповіді >>;

< ZO: Запитання> = < ZO: Запитання: Статус КВО>.

Приклад визначення *Статус КВО, Status Quo*: поточний стан речей. Приклад наборів стрілок < IO > – інформаційне подання набору стрілок *Status Quo* з статті «Сила піддавати сумніву статус-кво. Як перші з чотирьох принципів Берклі Хааса, що визначають лідерство, потрапляють у суть внесення змін» [35]. У 2010 році Школа бізнесу *Berkely Haas* започаткувала ініціативу, яка мала б кодифікувати її екосистему шляхом визначення унікального набору принципів Лідерства і Запитання про статус-кво виникло природним чином, оскільки воно завжди було «найважливішим елементом» культури та якістю, яку лідерам майбутнього необхідно буде прийняти, щоб досягти успіху в найближчі десятиліття... Як цінність, «Запитання по статус-кво» – це один із найпотужніших інструментів для покращення нашого світу, які є, і він лежить в основі ідеалу «творця змін». Це дає змогу досліджувати різні точки зору, зважувати різні думки і дозволяти спільним цілям та істинам (а не нашим припущенням чи страхам) вести нас до кращого майбуття. Найуспішніші лідери та новатори протягом всієї історії підходили до проблем, ставлячи важливі, непопулярні чи навіть небезпечні запитання, а не шукали прості відповіді – і це основа критичного мислення... Запитання про статус-кво – це образ мислення... Ставлення під сумнів статус-кво – це не шаблонний процес – він не виглядає однаково для всіх. Дуже багато залежить від вашого середовища, оточення, до-

свіду та безлічі інших факторів. Тим не менш, наведена далі загальна структура може допомогти підвищити ефективність наміру внести зміни, особливо в особистому чи діловому контексті. Запропонована загальна структура містить такі набори Дій: Визначити можливість чи потребу; Задавати запитання; Створити заяву про зміну; Вивчити ідеї та зважити варіанти; Зібрати союзників; Запропонувати зміни; Впровадити зміни.

Отже, набір стрілок <ZO: Запитання: Статус КВО> має <IO> – інформаційне подання у формі таблиці з клітинками «Дії-Запитання».

Приклад набору стрілок <PROC> – *аналіз даних*: цілеспрямований процес збирання, очищення, вилучення дублікатів, перевірки, трансформації, інтеграції, моделювання та інтерпретації даних у зручній для суб'єктів формі (візуалізація) з метою виявлення цінної інформації та надання суб'єктам висновків чи прийняття обґрунтованих рішень, рекомендацій щодо подальших заходів. <Метод аналізу даних>: процес очищення, упорядкування, трансформації, моделювання і візуалізації даних з метою витягти з них важливу інформацію, зробити вибір і прийняти обґрунтовані рішення. Приклади: аналіз вмісту (концептуальний аналіз; реляційний аналіз), аналіз дерева рішень (дискримінантний аналіз), **аналіз настроїв**, аналіз сегментації, аналіз часових рядів, кластерний аналіз, когортний аналіз, нарративний аналіз, описовий аналіз, регресійний аналіз, штучні нейронні мережі, факторний аналіз. *Метод аналізу даних ad hoc, по запиту*: виконується на основі одноразового дослідницького запитання.

Процес еволюції моделі «Дія. Реєстр задач». На різний стадіях, етапах, рівнях складності та зрілості, *аналіз даних* фокусується на отриманні відповіді на ряд запитань. Що сталося? Коли це сталося? Чому щось сталося? Що ймовірно станеться? Хто, Що, Коли, Як можна зробити, щоб це сталося (стратегія O)?

Приклад набору стрілок <CR> – «Критерій оцінки» всього обсягу інформації. Якщо <IO> – набір стрілок <Інформаційне подання O>, то він має набір значень <<Точна> <Цінна> <Проста> <Практична>>. Якщо <IO> – набір стрілок <Гарне навчання>, то він має набір значень <<Точна> <Цінна> <Проста> <Практична>>.

Приклад реальної загальної специфікації гарної практики оцінювання <<Навчання> <Інструменти: ШІ>> у цифровій екосистемі – сучасний міжнародний де-факто стандарт для <ZO: Критерії оцінки> – специфікація *Аналітики Калінера* [9, 36].

<Точна> – означає систематично спрямована на прогнозування результатів з високим ступенем точності на основі аналізу даних. Приклад. *аналіз даних великого обсягу* [8] з метою зростання надійності інформації з урахуванням і припущень, і невизначеності, і помилок шляхом збирання, очищення, вилучення дублікатів, перевірки, трансформації, інтеграції, моделювання та інтерпретації даних у зручній для суб'єктів формі (візуалізації) для з метою виявлення цінної інформації та надання суб'єктам висновків чи прийняття обґрунто-

ваних рішень. Моделювання процесу *аналіз даних* охоплює багато *методів та інструментів* з різними формами і змістом. Тип даних визначатиме відповідні методи аналізу даних, з'ясування методів аналізу даних, які найкраще підходять для поточного дослідження. Процес *аналізу даних* починається з ясного дослідницького <ZO: Запитання>.

<Цінна> — означає систематично забезпечення осіб цінною інформацією та прогнозами з метою допомогти особам прийняти вірне рішення, зробити усвідомлений вибір.

<Проста> — означає систематично спрямована, з одного боку, на побудову інтуїтивно зрозумілого семантичного каркаса, який кожний користувач (від новачка до експерта) був би здатний адаптувати до своїх потреб, очікувань, легко модифікувати, пояснити та інтерпретувати. З іншого боку, *проста* означає — систематично спрямована на зменшення внутрішньої *складності проблеми чи складності інформації*.

Приклади. Складність проблеми — це міра того, скільки часу, простору чи інших ресурсів потрібно для вирішення проблеми або виконання задачі чи завдання. Наприклад, редагування подання, пошук корисного шляху або перевірка чи є він оптимальним, чи є число простим — це проблеми різного рівня складності. У теорії оброблення інформації, складність інформації — це міра загальної кількості властивостей, які передає об'єкт і виявляє спостерігач. Такий набір властивостей часто називають *станом* [12]. В алгоритмічній теорії інформації (інформатики, математики) Колмогорівська складність об'єкта (наприклад, тексту) — це міра обчислювальних ресурсів, необхідних для точного визначення і відтворення цього об'єкта як *виходу* обчислення [37]. *Складність цифрового простору* відноситься до загального обсягу пам'яті, який використовується алгоритмом чи програмою, включно з простором вхідних значень для виконання. Щоб визначити складність простору, необхідно обчислити простір, зайнятий змінними в алгоритмі чи програмі, причому кращий алгоритм чи програма повинні мати низький рівень просторової складності.

<Практична> — означає систематичне урахування факторів, змін, які впливають на модельовану реальну ситуацію з метою надання корисної інформації та прогнозів, рекомендацій, зворотного зв'язку, які є актуальними і важливими для прийняття рішення у формі <ZO: Відповіді>.

Висновки

Запропоновано підхід до побудови загальної парадигматичної моделі використання інструментів штучного інтелекту в навчанні у складі моделі метафор навчання і штучного інтелекту, моделі парадигм академіка В.М. Глушкова і принципів психології (біхевіоризму; оброблення інформації та когнітивної психології; індивідуального

конструктивізму; соціального конструктивізму і ситуаційного навчання), моделі «Дія. Реєстр задач». В епоху цифрової трансформації, розв'язування комплексної проблеми побудови і практичного використання такої моделі потребує комплексного розв'язування чималої кількості релевантних складних науково-практичних проблем, таких як: мультідисциплінарність і мультикультурність; розуміння і пояснення; оцінювання, прогнозування, еволюція, варіативність, складність, масштабування, захист власності, усунення невизначеності, інтегративність, гармонізація з наявними та запланованими офіційними і де-факто стандартами. Водночас, необхідно подолати численні труднощі, бар'єри, виклики і проблеми структурування та інтеграції різноманітних конкретних моделей. Тому, необхідна умова, вимога для систематизованого поліпшення загальних і конкретних моделей – комплексна інтерпретація абстракцій в контексті зазначених проблем, а також їх практична апробація з допомогою доступних систем оброблення інформації з метою визначення та поширення унікальних найкращих практик і досвіду всіх зацікавлених сторін. Основні напрями подальших досліджень для систематичної інтеграції результатів вертикальної і горизонтальної редукції у загальній моделі «Дія. Реєстр задач»: визначення та використання конкретних математичних теорій для інформаційного подання моделей еволюції *Status Quo* для фізичних і юридичних осіб, зокрема, для оцінювання і прогнозу щодо зростання оцінки еволюції *Status Quo* в різних одиницях масштабування, таких як натуральне число, матриця, граф, простір; визначення і використання конкретних математичних теорій для візуалізації метафор інформаційного подання моделей еволюції *Status Quo*; визначення і використання конкретних теорій з психології для інформаційного подання еволюції *Status Quo* конкретної особи, команди, організації, спільноти.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Understanding the impact of artificial intelligence on skills. URL: https://unevoc.unesco.org/pub/understanding_the_impact_of_ai_on_skills_development.pdf [Accessed 27 Nov. 2024]
2. Results of the all-Ukrainian study on the prospects of AI in general secondary education. URL: <https://mon.gov.ua/ua/news/rezultativseukrayinskogodoslidzhennya-pro-perspektivi-shi-v-zagalnij-serednij-osviti> [Accessed 12 Nov. 2023]
3. Manako A.F. Systematic Investigation of Continuous E-Learning as a Complex Information System. *Control Systems and Computers*, 2022, Issue 3, 53–62. <https://doi.org/10.15407/csc.2022.03.053>
4. Valverde-Berrocoso J., Garrido-Arroyo M.D.C., Burgos-Videla C., MoralesCevallos M.B. Trends in educational research about e-learning: A systematic literature review (2009–2018). *Sustainability*, 2020, Vol. 12 (12), Article 5153. <https://doi.org/10.3390/su12125153>
5. Webb S., Holford J., Hodge S., Milana M., Waller R. Conceptualising lifelong learning for sustainable development and education 2030. *International Journal of Lifelong Education*, 2019, Vol. 38 (3), 237–240. <https://doi.org/10.1080/02601370.2019.1635353>

6. Nygren H., Nissinen K., Hamalainen R., De Wever B. Lifelong learning: Formal, non-formal and informal learning in the context of the use of the problem-solving skills in technology-rich environments. *British journal of Educational Technology*, 2019, Vol. 50 (4), 1759–1770. <https://doi.org/10.1111/bjet.12807>
7. Van de Heyde V., Siebrits A. The ecosystem of e-learning model for higher education. *South African Journal of Science*, 2019, Vol. 115 (5–6), 1–6. <https://doi.org/10.17159/sajs.2019/5808>
8. Balabanov O.S. Big Data Analytics: principles, trends and tasks (a survey). *Problems of programming*, 2019, Issue 2, 47–68.
9. ISO/IEC TR 20748-1:2016. Information technology for learning, education and training – Learning analytics interoperability. Part 1: Reference model. Caliper Analytics.
10. Manako A.F. An approach to modeling the purposeful development of innovative information technologies «educational objects». *Problems of programming*. 2006, Issue 2–3, 475–481.
11. Manako A.F. Models of aggregation of conceptual objects of continuous learning with the support of information and telecommunication technologies. *Systemic research and information technologies*, 2005, Issue 3, 29–37.
12. Bearman D., Rust G., et. al. A Common Model to Support Interoperable Metadata. Progress report on reconciling metadata requirements from the Dublin Core and INDECS/doi Communities. *D-lib Magazine*, January 1999, Vol. 5 (1). <https://doi.org/10.1045/january99-bearman>
13. Sinita K., Manako A. Interactive Dictionary as an Information Wish-maker. *Educational Technology Magazine*, Oct. 1999, 22–25.
14. Glushkov V.M. *About cybernetics as a science. Cybernetics, thinking, life*. Nauka, Moscow, 1964, 53 p.
15. Kapitonova Yu.V., Letichevsky A.A. Paradigms V.M. Glushkova. 2011. URL: <http://ogas.kiev.ua/en/glushkov/paradygmy-glushkova> [In Russian]
16. What is the definition of a model? URL: <https://typeset.io/search?q=What%20is%20the%20definition%20of%20a%20model?> [Accessed 07 Nov. 2023]
17. What is the definition of a process model? URL: <https://typeset.io/questions/what-is-a-process-model-3v6uiikbug>
18. Mauricio Vieira Kritz. Modelling as a process. *Computational and Applied Mathematics*, 2023 [Accessed 15 Dec. 2023]. <https://doi.org/10.1007/s40314-023-02308-8>
19. Paradigmatic Models. In: *Intuition in Science and Mathematics*. Mathematics Education Library, Springer, Dordrecht, 2002, Vol. 5.
20. Ora Lassila, Ralph Swick, eds. Resource Description Framework (RDF) Model and Syntax Specification, W3C Rec, 1999, 134. URL: <https://www.w3.org/TR/1999/REC-rdf-syntax-19990222/>
21. Nourani, C.F. *A Functorial Model Theory: Newer Applications to Algebraic Topology, Descriptive Sets, and Computing Categories Topos*. Apple Academic Press, Toronto; CRC Press, Boca Raton, 2014, 160–162.
22. Mesarovich M., Takahara Y. *General Theory of Systems: the Mathematical Foundations*. Wiley, New York, 1978, 308 p.
23. Zgurovsky M.Z., Pankratova N.D. *System analysis: problems, methodology, applications*. Naukova dumka, Kyiv, 2005, 744 p.
24. Virt N. *Algorithms + data structures = programs*. Mir, Moscow, 1985, 406 p.
25. Manako A.F., Manako V.V. Electronic learning and educational objects. Kazhan Plus, Kyiv, 2003, 334 p.
26. Cakhnyuk O.S. Theories of metaphor. *Scientific notes of the National University «Ostroh Academy»: series «Philology»*. Publication of NaUOA, Ostrog, 2019, Vol. 6 (74), 30–33.
27. Earl R. Mac Cormac. *A Cognitive Theory of Metaphor*. The MIT Press, 1989.
28. Lipson A. «School Is Hell»: Metaphors For Learning, Teaching and Learning. *The Journal of Natural Inquiry & Reflective Practice*, 1989, Vol. 4 (1), Article 3. URL: <https://commons.und.edu/tl-nirp-journal/vol4/iss1/3> [Accessed 15 Dec. 2023]

29. Groenig, M. *School is Hell*. Random House, New York, 1987.
30. Pollio, H., Barlow, J., Fine, H., Pollio, M. *Psychology and the Poetics of Growth: Figurative Language in Psychology, Psychotherapy, and Education*. Lawrence Erlbaum Associates, Hilldale, New Jersey, 1977.
31. 7 Tips To Use Visual Metaphors In eLearning. URL: <https://elearningindustry.com/7-tips-use-visual-metaphors-in-elearning> [Accessed 15 Dec. 2023]
32. Kuhn T.S. *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press, Chicago, 3rd edition, 1996, 10. URL: <https://philosophy-ejournal.cdu.edu.ua/article/view/2291/2363> [Accessed 15 Dec. 2023]
33. Joel Arthur Barker. *Discovering the Future: The Business of Paradigms*. ILI Press, 1988, 133 p.
34. Learning theories: Four paradigms. URL: <https://ohioleadership.org/theories-of-learning/the-four-paradigms> [Accessed 03 Dec. 2023]
35. The Power of Questioning the Status Quo How the first of the four Berkeley Haas Defining Leadership Principles gets to the heart of changemaking. URL: <https://executive.berkeley.edu/thought-leadership/blog/power-questioningstatus-quo> [Accessed 15 Dec. 2023]
36. Caliper Analytics. URL: <https://www.imslobal.org/sites/default/files/caliper/v1p1/caliper-spec-v1p1/caliper-spec-v1p1.html#event> [Accessed 15 Dec. 2023]
37. Kolmogorov A.N. Three approaches to the definition of the concept "quantity of information". *Information theory and algorithm theory*, 1987, 213–223.

Received 23.02.2024

A.F. MANAKO, DSc (Engineering), Department Chief,
International Research and Training Center for Information Technologies
and Systems of the NAS and MES of Ukraine,
40, Hlushkova Akad. ave., Kyiv, 03187, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9706-7118>
afmanako@gmail.com

V.V. MANAKO, PhD (Physical-Mathematical), consultant,
«BIZNES-BUILD» LLC,
Instytutska St., 12A, Kyiv, 01021, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0002-4945-1892>
manvv104@gmail.com

D.V. MANAKO, Director,
«BIZNES-BUILD» LLC,
Instytutska St., 12A, Kyiv, 01021, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-3753-2716>
dmanako@gmail.com

PARADIGMATIC MODEL OF UNDERSTANDING AND USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN LEARNING

Introduction. Recent years have seen unprecedented global changes associated with the acceleration of the use of artificial intelligence tools as one of the main factors of the evolutionary and revolutionary engines of modern civilization, under the great influence of requirements and opportunities for all. The problems of understanding and using artificial intelligence in education are considered from various points of view, perspectives, purposes, paradigms, theories, approaches, methods, using various means of information processing, procedures, services, etc.. In our study, the modeling focuses from a higher level of generalization on the understanding and use of artificial intelligence in learning by building a general paradigmatic model in the composition of the model of learning metaphors and artificial intelligence, the paradigm model of academician V.M. Hlushkov and psychology (Behaviorism; Information processing

and cognitive psychology; Individual constructivism; Social constructivism and situational learning), models "Action. Register of tasks".

Purpose. The purpose of this study is develop a formalized description with meaningful interpretations of paradigmatic model of understanding and using artificial intelligence in learning. in which "Artificial intelligence is an additional means of survival" (Glushkov's Paradigm).

Methods. System methodology, methods of reduction, abstraction, analogies, analysis, synthesis.

Results. For the first time, a general paradigmatic model of understanding and use of artificial intelligence in learning was developed as part of the model of learning metaphors and artificial intelligence, the paradigm model of academician V.M. Hlushkov and psychology (Behaviorism; Information processing and cognitive psychology; Individual constructivism; Social constructivism and situational learning), models "Action. Register of tasks".

Conclusion. In the era of digital transformation, solving the complex problem of building and practical use of a general paradigmatic model of understanding and use of artificial intelligence in learning requires the complex solution of many relevant complex scientific and practical problems, tasks such as: multidisciplinary and multiculturalism; understanding and explanation; evaluation, forecast, evolution, variability, complexity, scaling, property protection, elimination of uncertainty, interoperability, harmonization with existing and planned official and de facto standards, at the same time, it is necessary to overcome numerous difficulties, barriers, challenges and problems of structuring and integration of various specific models. Therefore, a necessary condition and requirement for the systematic improvement of general and specific models is a comprehensive interpretation of abstractions in the context of the specified problems, as well as their practical testing using available information processing systems in order to identify and disseminate unique best practices and experience to all interested parties. The main directions of further research for the systematic integration of the results of the vertical and horizontal reduction of the general model "Action. Register of tasks": 1. Definition and use of specific mathematical theories for the information presentation of Status Quo evolution models, for individuals and legal entities, in particular, for the assessment and forecast of the growth of the Status Quo evolution assessment in various scaling units such as a natural number, matrix, graph, space; 2. Determination and use of specific mathematical theories for the visualization of metaphors of the information representation of models of the evolution of Status Quo; 3. Determination and use of specific theories from psychology for the informative presentation of evolution models of the Status Quo of a specific person, team, organization, community.

Keywords: *paradigms of V.M. Hlushkova, digital transformations, information processing, metaphor, psychology, mathematics, Status Quo.*

<https://doi.org/10.15407/intechsys.2025.01.077>
UDC 004.932.2:616

T.A. KOBZAR, PhD (Medicine), Leading Researcher,
Institute of Information Technologies and Systems of the NAS of Ukraine,
40, Hlushkova Akad. ave., Kyiv, 03187, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0003-2036-4781>
kobzarta@ukr.net

T.V. KRYACHOK, Researcher,
Institute of Information Technologies and Systems of the NAS of Ukraine,
40, Hlushkova Akad. ave., Kyiv, 03187, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0003-3794-1720>
kondratyuktanya@gmail.com

O.S. SEMIKHOVA, Researcher,
Institute of Information Technologies and Systems of the NAS of Ukraine,
40, Hlushkova Akad. ave., Kyiv, 03187, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0008-4475-3940>
elenasemikhova77@gmail.com

P.V. CHALY, Chief Engineer,
Institute of Information Technologies and Systems of the NAS of Ukraine,
40, Hlushkova Akad. ave., Kyiv, 03187, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0003-3083-6552>
polkit59@gmail.com

ALGORITHM FOR DETERMINING THE FEATURES OF A PERSON'S PSYCHOEMOTIONAL AND FUNCTIONAL STATE UNDER STRESSFUL CONDITIONS

Introduction. Long-term stress from negative emotions experienced as a result of psychotraumatic events leads to a disorder of adaptation mechanisms with a deterioration in the functional state and, subsequently, to psychosomatic diseases. Currently, the task of early detection of such stress-producing states is becoming particularly relevant.

The purpose of the paper is to develop an algorithm for determining the features of a person's psycho-emotional and functional state under stressful conditions.

Cite: Kobzar T.A., Kriachok T.V., Semikhova O.S., Chaliy P.V. Algorithm for Determining the Features of a Person's Psycho-Emotional and Functional State under Stressful Conditions. *Information Technologies and Systems*, Kyiv, 2025, Vol 1 (1), 77–88. <https://doi.org/10.15407/intechsys.2025.01.077>

© Publisher PH «Akadempriodyka» of the NAS of Ukraine, 2025. The article is published under an open access license CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

The tasks are to examine the contingent of scientific workers for functional and organic disorders of human body systems in relation with type of their constitution in terms of age and gender; to select the most effective methods of assessment of these states; to investigate the phenomenon of stress resistance in individuals with different constitutional types, psychotypes, features of the character, physical and psycho-emotional states; to conduct a quantitative assessment of the level of functional and physical state using the method of generalizing assessments.

Methods. To study the current psycho-emotional, physical and functional state of a person under stress, the software and hardware methodological complex "EXPRESSmed-OGLYAD" [12], described in detail in the previous work, was used. This complex was supplemented by a number of methods and scales for determining psycho-emotional and psychosocial characteristics, in particular the type of temperament (G. Eysenck test); determining the current psycho-emotional state – Eysenck Mental States Assessment Scales: Frustration Scale, Anxiety Scale, Aggression Scale and Rigidity Scale, determination of stress resistance and social adaptation by Holmes and Raghe, determination of stress resistance, positive mental health scale, determination the distressing "D" personality type with the DS 14 questionnaire "Standard Assessment of Negative Affectivity, Social Inhibition and Type D Personality", determination of susceptibility to PTSD, hospital anxiety and depression scale (HADS); as well as assessment of the individual's character traits according to the "TOHO" program. A medical examination and expert assessment of health status were performed on a 5-point scale – expert assessment of the doctor (EAD). All obtained primary parameters were used both for independent analysis and for calculating a number of indices and health assessments, in particular biological age, aging rate, level of physical condition according to Pirogova's method (1986). To assess the general functional state, the method of generalized assessments was used [12].

Results. A total of 63 scientists of different age and gender were tested. The age and gender distribution was comparable between all groups and had the following form: 18–45 years (women – 10 people, men – 10 people); 46–65 years (women – 12 people, men – 10 people); 66–75 years (women – 11 people, men – 10 people).

It was revealed: a decrease in the level of stress resistance, which was most clearly reflected in the scales of positive mental health, HADS, Eysenck's mental states, the DS 14 scale for determining the distressing "D" type; a decrease in adaptive potential; a decrease in the general level of health, which is determined by the indicators included in the general health assessment of the "GHA". When analyzing personal and family history data, it was found that the vast majority of respondents (about 90%) has psychosomatic diseases, in particular, arterial hypertension, ischemic heart disease, diseases of the digestive system, including gastric and duodenal ulcers, diabetes mellitus, vascular diseases of the extremities, bronchial asthma, and others. It has been shown that the basis of these diseases is hyper-sympathicotonia, an invariable companion of any stress. In the majority of the studied individuals, a low level of Baevsky's adaptive potential was found, which indicates unsatisfactory adaptation to stress and resource exhaustion, which invariably leads to somatic diseases of a psychogenic nature.

Conclusions. The conducted research has multifaceted importance, as it makes it possible the monitoring the functional state and identifying the dangerous for health and life conditions of employees, using simple screening tools, such as questionnaires and simple non-invasive methods and refer them to the medical institutions early and provide advice on life-style adjustments.

Keywords: long-term stress, functional state, adaptation mechanisms, stress resistance, constitutional type, type of temperament.

Introduction

Stress is an indisputable companion of our lives. It can be caused by both positive and negative and have different durations. Short-term stress can be useful, activating the body's resources and making it worse the reaction

of the nervous system. In contrast, long-term stress from negative emotions experienced as a result of psycho-traumatic events, physical pain etc. leads to a disorder of adaptation mechanisms with a deterioration in the functional state and, subsequently, to psychosomatic diseases. Currently, the task of early detection of such stressful conditions is becoming particularly relevant.

According to V.P. Bulakh [1], the consequences of stress is divided into physiological, subjective, behavioral, and cognitive. Among the physiological consequences of stress, the most studied group of the so-called "seven sacred cows" of psychosomatics is traditionally distinguished: diseases of the cardiovascular system (essential hypertension; ischemic heart disease (IHD) etc.); gastrointestinal tract (gastric and duodenal ulcer, non-specific ulcerative colitis); respiratory system (bronchial asthma (BA), chronic obstructive pulmonary disease (COPD); thyrotoxicosis (Graves' disease); rheumatoid arthritis; neurodermatitis). The subjective consequences of stress are a feeling of fatigue, guilt, anxiety, the world looks "gray", apathy, lack of meaning in life etc. Among behavioral disorders, there is a tendency to take out negative emotions on other people, inappropriate behavior with a decrease in the level of self-control is noted, excitability, reactivity, aggressive behavior may be increased; underestimation or overestimation of self-esteem of one's capabilities by the individual, there is an imbalance between intended and real plans, restlessness, incoherence of actions, inaccuracy and errors in work, work does not bring the same joy; this may be withdrawal into oneself and/or manifestations of negativism. As a result, cognitive disorders occur of imbalance in the processes of attention, memory, thinking, and volitional sphere. There is a deterioration in memory, difficulty in concentrating, inability to concentrate, frequent loss of the main line of conversation etc. [2, 3]. As a rule, the presence of a stressful state is diagnosed using test questionnaires, where a wide range of internal states is presented in the form of affirmative or negative questions.

An universal reaction of the body, reflecting all links of the regulatory system, is the variability of the heart rate, and it is the vegetative support that makes it possible to assess the adaptive reserves of the body and the functional state of a person. It was shown by numerous studies [4] the diagnostic value of determining the vegetative balance of the sympathetic and parasympathetic systems in relation with changes in the central nervous system that occur under the influence of chronic stress (PTSD, anxiety-depressive syndrome etc.), which are considered as predictors of psychosomatic cardiovascular diseases. According to Chaban O.S. et al., the search for possible early predictors of the PTSD and effective strategies for early interventions immediately after the action of mental trauma is one of the key aspects of modern psychiatry and medical psychology [5].

The studies of the phenomenon of individual stress resistance of a person, which, according to Kornatsky V.M., identifies people at high risk

of mental disorders and the development of psychosomatic diseases are drawn attention [6].

Depending on how much a person can withstand stressful situations and adapt to them, they talk about stress resistance, which means the ability of an individual to self-recover after the stressful events. It is believed that this is a genetically inherited, as well as formed in the process of life, the ability of the human body to resist the effects of negative factors. Stress resistance is an integral ontogenetically determined property of a holistic personality, interconnected with a multi-level system represented by a complex of cognitive, intellectual, emotional, and personal properties. The degree of expression of stress resistance has an individual differences and is determined by the qualitative and quantitative characteristics of the personality properties. Specific signs of lack of stress resistance are: low differentiation, reduced adaptive potential, preservation of the bipolar structure of the organization of factors etc. [7].

A number of researchers, considering the problem of individual characteristics of stress resistance, associate the level of development of this psychological phenomenon with a wide range of psychological characteristics of the personality, such as anxiety; aggressiveness; locus of subjective control; motivational orientation of the personality [8].

According to the psychoanalytic concept of Z. Freud, suppressed affect, mental trauma through conversions can manifest as a somatic symptom, while "somatic readiness" is necessary – a physical factor that is important for "organ selection". In this sense, the peculiarities of the human constitution and consequential genetic factors should be taken into account [9].

We believe that research into the phenomenon of both stress resistance and human constitution will help in the early diagnosis of human health threatening and in the selection of adequate corrective influences [10].

In the formation of the nature of the somatic response to a stressful situation, the human constitution plays a decisive role. The relationship between the types of constitution and the predisposition to certain somatic diseases, the development of which usually starts against the background of stressful events, is evidenced by numerous works of both domestic and foreign scientists from ancient times to the present day (Hippocrates, Krechmer, Sheldon, Seago, Bogomolets, Chernorutsky and others). In the previous work, we came to the conclusion that the most widely used and closest to medical practice are the ideas about the constitution that combine somatotype, body type and temperament [11].

Purpose: to develop an algorithm for determining the features of a person's psycho-emotional and functional state under stressful conditions.

Tasks: to examine the contingent of scientific workers for functional and organic disorders of human body systems in relation with type of their constitution in terms of age and gender; to select the most effective methods of assessment of these states; to investigate the phenomenon of stress resistance in individuals with different constitutional types, psycho-

types, features of the character, physical and psycho-emotional states; to conduct a quantitative assessment of the level of functional and physical state using the method of generalizing assessments.

Object and Methods of the Study

To study the current psycho-emotional, physical and functional state of a person under stress, the software and hardware methodological complex "EXPRESS med OGLYAD" [12], described in detail in the previous work, was used. This complex was supplemented by a number of methods and scales for determining psycho-emotional and psychosocial characteristics, in particular the type of temperament (G. Eysenck test); determining the current psycho-emotional state – Eysenck Mental States Assessment Scales: Frustration Scale, Anxiety Scale, Aggression Scale and Rigidity Scale, determination of stress resistance and social adaptation by Holmes and Rague, determination of stress resistance, positive mental health scale, determination the distressing "D" personality type with the DS 14 questionnaire "Standard Assessment of Negative Affectivity, Social Inhibition and Type D Personality", determination of susceptibility to PTSD, hospital anxiety and depression scale (HADS); as well as assessment of the individual's character traits according to the "TOHO" program. A medical examination and expert assessment of health status were performed on a 5-point scale – expert assessment of the doctor (EAD). All obtained primary parameters were used both for independent analysis and for calculating a number of indices and health assessments, in particular biological age, aging rate, level of physical condition according to Pirogova's method (1986). To assess the general functional state, the method of generalized assessments was used [12].

The General Health Assessment (GHA) in our case has the following form:

$GHA = (VI + BMI + AR + AP + PhL + FL + EAD) / 7$, we included the following assessments and indices: VI – Vega-Kerdo's index; Ketele's body mass index (BMI); Aging rate (AR); Baevsky's adaptive potential (AP); Physical condition level according to the Pirogova's method (PhL); Functional Level of the cardiovascular system (CVS) according to the Phaeography method (FL); Expert assessment of the doctor (EAD).

This diagnostic screening complex is aimed at identifying, and subsequently correcting, such conditions as PTSD, which are a risk factor for psychosomatic diseases, as well as identifying patterns of the impact of long-term stress on people of different temperaments and features of the character, in different gender and age groups.

For statistical processing, descriptive statistics and correlation analysis methods were used.

Analysis of the Received Data

A total of 63 scientists of different age and gender were tested. Taking into account the phenomenon of age-related crisis periods, age groups were formed, because of peculiarities of development the neuroendocrine

system with a cardinal restructuring of physical and personal status. The age and gender distribution was comparable between all groups and had the following form: 18–45 years (women – 10 people, men – 10 people); 46–65 years (women – 12 people, men – 10 people); 66–75 years (women – 11 people, men – 10 people).

Regarding temperament, it was comparable between different types in different age and gender groups. In the general group, the advantage of phlegmatics (to a greater extent) and, to a lesser extent, melancholics of both sexes over choleric and sanguine people was noted.

When studying the relationship between constitutional types and temperament in the general group of both sexes, it was found that the majority of people (61.9%) belong to the normosthenic type of physique with a phlegmatic type of temperament (33.4%) and, to a lesser extent, melancholics (12.9%); phlegmatics also prevail in the group of asthenics, of which 25.4% (Table 1). But among hypersthenics, who are the least in the general group (12.7%), melancholics prevail. We believe that such a distribution is associated with the specifics of professional activity, which requires focus and concentration on the problem should be developed.

The phenomenon of stress resistance was studied on separate scales in relation to the types of constitution and temperament.

To assess the level of stress resistance, questionnaires that indicate the presence or absence of psycho-emotional signs of stress damage were used; the results on individual scales of the questionnaires according to a 3-level system were ranked: absence (optimum, ≥ 3 points), moderate (borderline) (satisfactory, $2 \geq 3$ points) and expressed level of stressor signs (unsatisfactory, $1 \geq 2$ points). Therefore, a conclusion about the level of stress resistance in individual groups was made. The total sum of points for each scale in individual groups (asthenics, normosthenics and hypersthenics) was calculated, and then summed up and the arithmetic mean score of stress resistance for each group was determined. Finally, the average level of stress resistance for the general array of researched individuals was determined.

In particular, when studying the relationship between stress resistance and body type, the following features were identified. In each of

Table 1. The relationship between constitutional type and temperament in the general group of both sexes

Constitutional type, %	Temperament type, %			
	Melancholic person	Choleric person	Phlegmatic person	Sanguine person
Asthenics – 16 people (25.4)	4 (25)	2 (12.5)	7 (43.75)	3 (18.75)
Normosthenics – 39 people (61.9)	8 (20.5)	4 (10.3)	21 (53.8)	6 (15.4)
Hypersthenics – 8 people (12.7)	4 (50)	1 (12.5)	1 (12.5)	2 (25)
Total	16 (25.4)	7 (11.1)	29 (46)	11 (17.5)

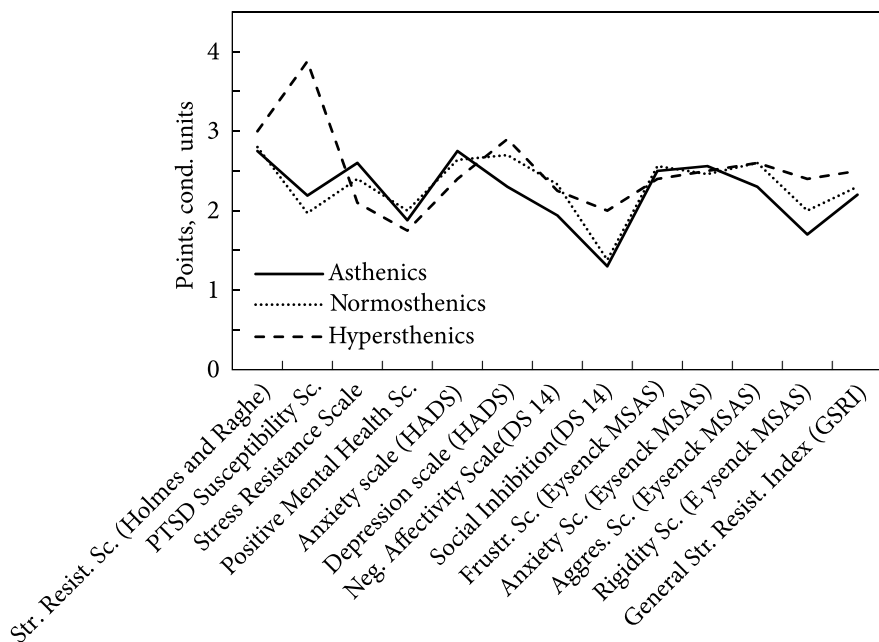


Fig. 1. The relationship between constitutional types and stress resistance for the general group

the three constitutional groups, the average level of stress vulnerability is noted in the general array, but there are differences between individual scales. Thus, according to the results of testing using the DS 14 questionnaire “Standard Assessment of Negative Affectivity, Social Inhibition and Tipe D Personality”, the presence of a distress D-type in the asthenics group, which indicates a predisposition to cardiovascular diseases and is a confirmation of their psychosomatic origin was revealed; a lower than average level of mental health and pronounced rigidity of the nervous system on the Eysenck scale are also noted. In normosthenics, who are the vast majority, the results are more equal, but there is a high level of social inhibition, and in hypersthenics – a somewhat lowered level of mental health with a simultaneously high level of stress resistance according to the Holmes and Raquet scale and a high tendency to PTSD.

For clarity, the relationship between stress resistance and body type is depicted in Figure 1.

Of interest are the results of the study of the relationship between temperament types and stress resistance, both on individual scales and on the generalized stress resistance index (GSRI). The generalized index was calculated on a 3-point system as the arithmetic mean of the sum of all 12 scales.

Assessment on a 3-level scale showed differences in the levels of stress resistance in the compared groups. The largest deviations on 8 scales out of 12 were found in melancholics, in particular: the greatest susceptibility to PTSD, the lowest level on the scale of positive mental health, the highest

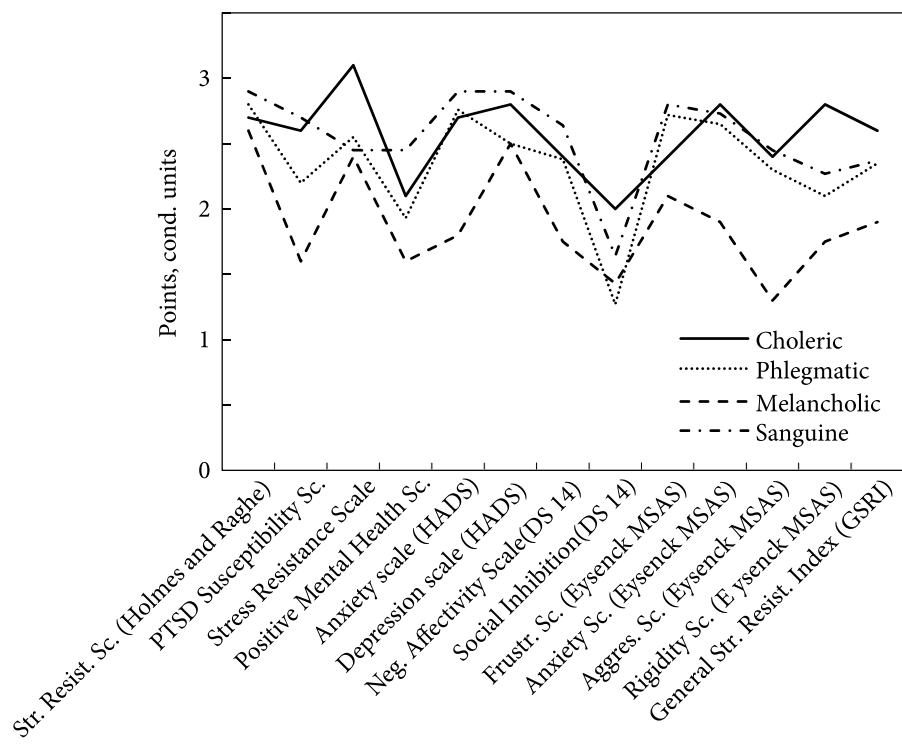


Fig. 2. The relationship between temperament types and stress resistance for the general group

level of anxiety on two scales: HADS and Eysenck’s mental states, a high level of social inhibition and negative affectivity (DS 14), as well as a high level of aggressiveness and rigidity (Eysenck). In general, the melancholics group showed the lowest stress resistance. The choleric group has an average level of stress resistance on all scales and a high level on the stress resistance scale. Phlegmatics also have an average level of stress resistance on all scales except the social depression scale (DS 14), where it is the lowest in the array, and also have a low level of positive mental health. Sanguines have an average level of stress vulnerability on all scales except the social inhibition scale (DS 14), where, as in other temperament types, there is a high level of social inhibition.

For clarity, the relationship between stress resistance and temperament types is depicted in Figure 2.

Therefore, in our opinion, the types of constitution and temperament are important coordinates that determine the characteristics of the response to a prolonged stressful situation, which is manifested by anxiety, a low level of positive mental health and a feeling of social inhibition in the studied individuals. This was most clearly reflected when using the following scales: positive mental health, HADS and Eysenck’s mental states, as well as the scale for determining the distress type DS 14. We believe that these scales are appropriate to choose for monitoring the current psycho-emotional state of employees and further screening studies.

According to the results of the study of the current physical and functional state of employees using the above-described method ("EXPRESS med OGLYAD") [12], an array of actual indicators was obtained, on the basis of which a complex of calculated indicators and indices was formed. They have a high level of informativeness about the physical and functional state of the studied person, namely: VI – Vega Kerdo's index; Ketele's body mass index (BMI); Aging Rate (AR); Baevsky's Adaptive Potential (AP); Physical condition level according to the Pirogova's method (PhL); Functional Level of the cardiovascular system (CVS) according to the Phaseography method (FL); Expert Assessment of a Doctor (EOL).

The results of the study of the current physical and functional state and their analysis using the method of generalizing assessments on a 5-point scale showed that, divided into types of constitution, employees have average group health values at an average level, regardless on the type of constitution and age groups, with the exception of the age group 45–65 years and 66–75 years, where it is the lowest for hypersthenics – 2.8 and 2.9 points, respectively, due to the low Physical condition Index according to Pirogova, Ketele's Body Mass Index and low Adaptive Potential of Baevsky. In contrast, young hypersthenics showed an excellent result according to Pirogova's Physical condition Index and "good" according to the Vega Kerdo's Index, Functional Level of the cardiovascular system (FL), Expert Assessment of the Doctor and the General Health Assessment (GHA). At the same time, there is an average assessment according to the Baevsky Index, which indicates the tension of regulatory systems, but unsatisfactory adaptation occurs in middle-aged and mature age groups, regardless of the type of constitution. In addition, analysis of Heart Rate Variability data according to phaseography and Kerdo's Vega Index showed a tendency to sympathicotonia in the entire sample.

When analyzing personal and family history data, it was found that the vast majority of respondents (about 90%) have psychosomatic diseases, in particular, arterial hypertension, ischemic heart disease, diseases of the digestive system, including gastric and duodenal ulcers, diabetes mellitus, vascular diseases of the extremities, bronchial asthma and others. The basis of these diseases is hypersympathicotonia, an invariable companion of any stress. This was confirmed by a study of a contingent of scientists on the level of stress resistance according to scales, which showed an average and low level of this phenomenon in the majority of the studied individuals. Physiologically it manifests itself by a low level of Baevsky's adaptive potential, which indicates unsatisfactory adaptation to stress and exhaustion of resources, which invariably leads to somatic diseases of a psychogenic nature.

Conclusions

The hypothesis of the stress-inducing effect of the current social situation on the functional, physical and psycho-emotional state was confirmed, as evidenced by a decrease in the level of stress resistance, adaptive po-

tential and general health, which is determined by the indicators included in the General Health Assessment (GHA).

The phenomenon of the constitution, including the type of temperament and the phenomenon of stress resistance are important information indicators of the development of psychosomatic diseases under the influence of negative psychogenic factors, which is most clearly reflected in the following scales: positive mental health, HADS and Eysenck's mental states, as well as the DS 14 scale for determining the distressing "D" type. We believe that these scales are appropriate for monitoring the current psycho-emotional state of employees as a control in further screening studies.

The conducted research has multifaceted importance, as it makes it possible the monitoring the functional state and identifying the dangerous for health and life conditions of employees, using simple screening tools, such as questionnaires and simple non-invasive methods and refer them to the medical institutions early and provide advice on lifestyle adjustments.

REFERENCES

1. Bulah, V. P. Stress and its Effects on a Human Body. *Nursing*, 2015, Issue 3, 10–15. [In Ukrainian: Булах В.П. Стрес та його вплив на організм людини. *Медсестринство*]
2. Bardyn N.M., Zhydetskyy Yu.Ts., Kirzhetskyy Yu.I. et al. *Stress resistance: tutorial book*. Lviv State University of Internal Affairs, Lviv, 2021, 204 p. [In Ukrainian: Бардин Н.М., Жидецький Ю.Ц., Кіржецький Ю.І. та ін. *Стресостійкість: навчальний посібник*]
3. Korolchuk M.S., Korolchuk V.M., Kulazhenko A.I. *Psychological features of remote consequences of stress-related influences*. Monograph edited by Dr. of Psychology, Prof. M. S. Korolchuk; National Trade and Economics University, Kyiv, KNTEU, 2014, 275 [In Ukrainian: Корольчук М.С., Корольчук В.М., Кулаженко А.І. та ін. *Психологічні особливості віддалених наслідків стресогенних впливів*]
4. Shyts A. M., Berezovsky V. A., Mostovy S. Ye., Dynnyk O. B. Heart rate variability in assessing the state of the cardiovascular system in servicemen of the Armed Forces of Ukraine from the zone of the anti-terrorist operation with concomitant post-traumatic stress disorder. *Modern aspects of military medicine: collection of scientific works*, Main military clinical hospital, Kyiv, 2016, Vol. 23, 232–244. [In Ukrainian: Шиць А.М., Березовський В.А., Мостовий С.Є., Динник О.Б. Варіабельність серцевого ритму в оцінці стану серцево-судинної системи у військовослужбовців Збройних Сил України із зони проведення антитерористичної операції з супутнім посттравматичним стресовим розладом. *Сучасні аспекти військової медицини* : збірник наукових праць Національного військово-медичного клінічного центру «ГВКГ» МО України]
5. Chaban O.S., Khaustova O.O. Medical and psychological consequences of war distress in Ukraine: what do we expect and what should be taken into account when providing medical aid? *Ukrainian Medscl Journal*, Vol. 4 (150), VII/VIII, 2022. [In Ukrainian: Чабан О.С., Хаустова О.О. Медико-психологічні наслідки дистресу війни в Україні: що ми очікуємо та що потрібно враховувати при наданні медичної допомоги? *Укр. Мед. Часопис*] <https://doi.org/10.32471/umj.1680-3051.150.232297>
6. Kornatsky V.M. Health problems in wartime. *Stress and Cardiovascular Diseases in Martial Law*. Monograph, Kyiv, 2022, 5–23. [In Ukrainian: Корнацький В.М. Проблема здоров'я в умовах війни. *Стрес і серцево-судинні захворювання в умовах воєнного стану*]

7. Dudka T.M. Psychological features of stress resistance of personality. [In Ukrainian: Дудка Т. М. Психологічні особливості стресостійкості особистості.] URL: <http://kspodn.onu.edu.ua/index.php/kunena/sektsiya-3-fenomeni-psikhologichnogo-zdorov-ya-ta-ortobiozu-lyudini-psikhoistorichnij-vimir/203-psikhologichni-osoblivosti-stresostijkosti-osobistosti#203> [Accessed 15 Jul. 2024]
8. Kraynyuk V.M. *Psychology of personality stress resistance*. Monograph, Nika Centre, Kyiv, 2007, 432. [In Ukrainian: Крайнюк В.М. *Психологія стресостійкості особистості*]
9. Sonnyk H.T., Napryeuenko O.K., Skrupnikov A.M., Zhyvotovska L.V., Napryeuenko N.Yu. *Psychiatry and narcology*. Textbook (Higher Education University III-IV grades), Ed. Napryeuenko O.K., VSV, Medicina, Kyiv, 2017, 424 p. [In Ukrainian: Сонник Г.Т., Напрєєнко О.К., Скрипніков А.М., Животовська Л.В., Напрєєнко Н.Ю. *Психіатрія і наркологія: підручник*]
10. Kobzar T.A., Kryachok T.V., Chalyu P.V. Stress resistance and psychosomatic. *XV International Conference on Applied Biophysics, Bionics and Biocybernetics April 11-12 2024*, Kyiv, 2024, 2–22. [In Ukrainian: Кобзар Т.А., Крячок Т.В., Чалий П.В. Стресостійкість & психосоматика]
11. Kobzar T.A., Krychok T.V., Semichova O.V. Information-Structural Model of Formation of Stress-induced Somatic Disorders Considering Constitutional Types. *Control Systems and Computers*, 2023, Issue 4, 64–72. <https://doi.org/10.15407/csc.2023.04.064>
12. Kobzar T.A., Hontar T.M., Kryachok T.V., Semykhova E.S., Vetkina Z.V. Self-assessment of health using the generalized assessment method. *Ukrainian Journal of Medicine, Biology and Sports*, 2020, Vol. 5 (1), 256–262. [In Russian]

Received 07.12.2024

Т.А. КОБЗАР, канд. мед. наук, пров. наук. співроб.
Інститут інформаційних технологій та систем НАН України,
просп. Акад. Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-2035-4781>
kobzarta@ukr.net

Т.В. КРЯЧОК, наук. співроб.,
Інститут інформаційних технологій та систем НАН України,
просп. Акад. Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна
<https://orcid.org/0009-0003-3794-1720>
kondratyuktanya@gmail.com

О.С. СЕМИХОВА, наук. співроб.,
Інститут інформаційних технологій та систем НАН України,
просп. Акад. Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна
<https://orcid.org/0009-0008-4475-3940>
elenasemikhova77@gmail.com

П.В. ЧАЛИЙ, головн. інженер,
Інститут інформаційних технологій та систем НАН України,
просп. Акад. Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна
<https://orcid.org/0009-0003-3083-6562>
polkit59@gmail.com

АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПСИХОЕМОЦІЙНОГО І ФУНКЦІЙНОГО СТАНУ ЛЮДИНИ ЗА СТРЕСОГЕННИХ УМОВ

Вступ. Тривалий стрес від негативних емоцій, що їх переживають внаслідок психотравмуючих подій, призводить до розладу адаптаційних механізмів з погіршенням функційного стану та, як наслідок, до психосоматичних захворювань. Наразі особливої актуальності набуває задача завчасного виявлення таких стресогенних станів.

Мета. Розробити алгоритм визначення особливостей психоемоційного і функційного стану людини за стресогенних умов.

Дослідити контингент наукових працівників у віковому та гендерному аспекті на наявність функційних та органічних розладів органів та систем у взаємозв'язку з типом їх конституції; відібрати найефективніші методики оцінювання цих станів; дослідити феномен стресостійкості в осіб з різним конституційним типом, психотипом, особливостями характеру, фізичним та психоемоційним станом; провести кількісне оцінювання рівня функційного та фізичного стану за методом узагальнювальних оцінок.

Об'єкт і методи дослідження. Для дослідження поточного психоемоційного, фізичного та функційного стану людини в умовах стресу було використано програмно-апаратний методичний комплекс «ЕКСПРЕСмедОГЛЯД» [12], доповнений рядом методик та шкал на визначення психоемоційних та психосоціальних характеристик, зокрема: типу темпераменту (тест Г. Айзенка); визначення поточного психоемоційного стану — оцінювання психічних станів за Г. Айзенком (шкала фрустрації, шкала тривожності, шкала агресивності, шкала ригідності), визначення стресостійкості та соціальної адаптації за шкалою Холмса і Раге, визначення стійкості до стресу, шкала позитивного ментального здоров'я, визначення належності до дистресорного «Д» типу особистості, визначення схильності до ПТСР, госпітальною шкала тривоги та депресії (HADS); а також оцінюванням особливостей характеру індивіда за програмою «ТОХО». Лікарі проводили огляд та експертне оцінювання стану здоров'я за 5-ти бальною шкалою — експертне оцінювання лікарем (ЕОЛ). Всі отримані первинні параметри використовувались і для самостійного аналізу, і для обчислення ряду індексів та оцінок здоров'я, зокрема біологічного віку, темпу старіння, рівня фізичного стану за Пироговою (1986). Для оцінювання загального функційного стану використали метод узагальнювальних оцінок [12].

Отримані результати та їх аналіз. Всього було протестовано 63 науковця різного віку і статі. Віковий та гендерний розподіл, порівнюваний між усіма групами, був таким: 18–45 років (жінок — 10 осіб, чоловіків — 10 осіб); 46–65 років (жінок — 12 осіб, чоловіків — 10 осіб); 66–75 років (жінок — 11 осіб, чоловіків — 10 осіб).

Було виявлено зниження рівня стресостійкості, що найвиразніше відобразилось за шкалами позитивного ментального здоров'я, HADS, психічних станів Айзенка, шкалі DS 14 на визначення дистресорного «Д» типу; зниження адаптаційного потенціалу; зниження загального рівня здоров'я, що визначається за показниками, які увійшли до узагальнювальної оцінки здоров'я «УОЗ». При аналізі даних персонального і сімейного анамнезу було виявлено, що у переважній більшості респондентів (близько 90 %) є захворювання психосоматичного характеру, зокрема артеріальна гіпертензія, ішемічна хвороба серця, захворювання травної системи, у тому числі виразкова хвороба шлунку і 12-палої кишки, цукровий діабет, судинні захворювання кінцівок, бронхіальна астма тощо. Було показано, що в основі цих захворювань — гіперсимпатикотонія, незмінна супутниця будь-якого стресу. У переважній кількості досліджуваних осіб було виявлено низький рівень адаптаційного потенціалу Баєвського, що свідчить про незадовільну адаптацію до стресу та виснаження ресурсів, яке незмінно веде до соматичних захворювань психогенного характеру.

Висновки. Проведене дослідження має багатоаспектне значення, оскільки дає можливість простими скринінговими засобами, якими є опитувальники та нескладні неінвазивні методи, проводити моніторинг функційного стану працівників та виявляти небезпечні для здоров'я і життя стани, щоб завчасно скеровувати людей до медичних установ та надавати поради щодо коригування способу життя.

Ключові слова: тривалий стрес, функційний стан, адаптаційні механізми, стресостійкість, тип конституції.

AUTHOR GUIDELINES

The journal publishes the results of research in the field of computer science, information technologies and systems and their applications in various fields of activity, system analysis, intelligent control, cyber security, biological and medical cybernetics, digital economy and learning in the digital age, etc.

Target audience – scientists, engineers, graduate students and students of higher educational institutions of the relevant specialty.

Requirements for manuscripts

1. 1. The manuscript is accepted in electronic form, if possible – on paper in one copy (language of the article – English (*in priority*) or Ukrainian, manuscript up to 30 pages). The manuscript should contain:

- information about the Authors in English and Ukrainian: Full name, Academic Degree, Academic Title, Position, Affiliations, Postal address of the organization, Direct links to author's ORCID (if necessary, Researcher ID) and E-mail, Author-correspondent and their telephone number (*for contacting the editor*);

- Short Abstract with keywords in paper language, and Extended Abstract with keywords in either Ukrainian for English-language paper or English for Ukrainian-language paper. The text of the Extended Abstract is not less than 1800 characters with spaces, by headings: *Introduction, The purpose of the paper, Methods, Results, Conclusions, Keywords* (5–8 words);

- *REFERENCES* – a list of sources in English in the order of mention in the text. For Non-English-language sources, citation are translated, the original language is indicated in square brackets, for Ukrainian-language papers information about authors and the title in the original language is given. Examples for design of the References is given below;

- *LITERATURE* – a list of sources in Ukrainian do not use for English-language papers;

- if desired, the authors provide information about the grant or financial support of the research;

- the license agreement is signed automatically when the submission is created in the electronic editorial system.

2. The text of the article should be submitted with the following mandatory headings: *Introduction, Problem Statement / Problem Definition, Objective, Results, and clearly formulated Conclusions*.

Requirements for the text file

File format: *.doc, *.rtf. Applicable styles: Times New Roman font, 12 pt, without a hyphen for a line break, line spacing – 1.5. Paper size: A4, all sides – 2 cm.

Formulas are typed in Formula Editors (preferably Microsoft Equation Editor 3.0. and MathType 6.9b.) Formula Editor options are (10.5; 8.5; 7.5; 14; 10). **The width of formulas is up to 12 cm.**

Figures must be of high quality, they are provided in separate files of appropriate formats (*.png, *.jpg, *.tiff, etc.). **The width of the figures is up to 12 cm.**

Tables are created using a standard text editor built into the Table toolkit. **The width of the table is up to 12 cm.**

КЕРІВНИЦТВО ДЛЯ АВТОРІВ

В журналі друкуємо результати досліджень у сфері інформатики, інформаційних технологій та систем і їх застосувань у різних сферах діяльності, системного аналізу, інтелектуального керування, кібербезпеки, біологічної та медичної кібернетики, цифрової економіки та навчання в цифрову епоху тощо.

Цільова аудиторія — науковці, інженери, аспіранти та студенти вищих навчальних закладів відповідного фаху.

Вимоги до рукописів статей

1. Рукопис приймаємо в електронному виді, за можливості — на папері в одному примірнику (мова статті — англійська (*в пріоритеті*) або українська, рукопис до 30 стор.). Рукопис має містити:

- відомості про авторів англійською та українською мовами: ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посаду, місце роботи, поштову адресу організації, прямі посилання авторських ідентифікаторів ORCID (за потреби Researcher ID) та E-mail, автор-кореспондент із номером телефону (*для зв'язку з редактором*);

- Коротку анотацію з ключовими словами мовою статті та розширену анотацію з ключовими словами українською для англійської статті або ж англійською для україномовної статті. Текст розширеної анотації не менше 1800 знаків з пробілами, за рубриками: *Introduction / Вступ, The purpose of the paper / Мета роботи, Methods / Методи, Results / Результати, Conclusions / Висновки, Keywords / Ключові слова* (5–8 слів);

- **ЛІТЕРАТУРА** — перлік джерел для україномовних статей українською мовою оригіналу в порядку згадування в тексті, для неукраїномовних джерел посилання даються англійською, в квадратних дужках вказується мова оригіналу;

- **REFERENCES** — перлік джерел англійською мовою в порядку згадування в тексті. Для неанглійських джерел в квадратних дужках вказується мова оригіналу, для україномовних після двокрапки наводиться інформація про авторів та назва джерела мовою оригіналу. Приклади оформлення переліку посилань наведено далі;

- за бажанням автори надають інформацію про грант або фінансову підтримку дослідження;

- ліцензійний договір підписується автоматично при створенні подання в системі електронної редакції.

2. Текст статті подають з обов'язковими рубриками: *Вступ, Постановка завдання / Окреслення проблеми, Мета, Результати, чітко сформульовані Висновки.*

Вимоги до текстового файлу

Формат файлу *.doc, *.rtf. Застосовні стилі: шрифт Times New Roman, 12 пт, без переносів, міжрядковий інтервал — 1,5. Формат паперу А4, всі береги — 2 см.

Формули набирають у редакторах формул (бажано Microsoft Equation Editor 3.0 та MathType 6.9b.) Опції редактора формул — (10,5; 8,5; 7,5; 14; 10).

Ширина формул — до 12 см.

Рисунки мають бути якісними, їх надають окремими файлами відповідних форматів (*.png, *.jpg, *.tiff тощо). **Ширина рисунків — до 12 см.**

Таблиці виконують стандартним вбудованим у інструментарій «Таблиця» текстового редактора. **Ширина таблиці — до 12 см.**


Journal “*Information Technologies and Systems*” that is a merger of two academic journals with a long history – Control Systems and Computers journal ISSN (Print) 2706-8145, ISSN (Online) 2706-8153 (published since 1972) and Cybernetics and Computer Engineering journal ISSN (Print) – 2663-2578, ISSN (Online) – 2663-2586 (published since 1965). The organization responsible for publishing the journal is Institute of Information Technologies and Systems of National Academy of Sciences of Ukraine.

The journal publishes original scientific and review papers about fundamental and applied research results of informatics and information technologies, intelligent control and systems, methods and means of information technology support of knowledge, application of the mentioned technologies in various fields of life. Number of Issues is 6 per year. Currently, the journal does not charge any fees to the authors from submission to publication. The papers are an Open Access under the CC BY-NC-ND 4.0 license.



Журнал «Інформаційні технології та системи» є результатом об'єднання двох академічних журналів з багаторічною історією – журналу «Системи керування та обчислювальна техніка» ISSN (друковане видання) 2706-8145, ISSN (онлайн) 2706-8153 (видається з 1972 року) та журналу «Кібернетика та обчислювальна техніка» ISSN (друковане видання) – 2663-2578, ISSN (онлайн) – 2663-2586 (видається з 1965 року). Організацією, відповідальною за видання журналу, є Інститут інформаційних технологій та систем Національної академії наук України.

Журнал публікує оригінальні наукові та оглядові статті про фундаментальні та прикладні результати досліджень інформатики та інформаційних технологій, інтелектуального керування та систем, методів та засобів інформаційно-технологічної підтримки знань, застосування згаданих технологій у різних сферах життя. Кількість випусків – 6 на рік. Наразі журнал не стягує жодних гонорарів з авторів від моменту подання до публікації. Статті знаходяться у відкритому доступі за ліцензією CC BY-NC-ND 4.0.



ISSN 3083-6573 INFORMATION TECHNOLOGIES AND SYSTEMS 2025, N^o1. 1-90