

ISSN 2518-1092

НАУЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

RESEARCH RESULT. INFORMATION TECHNOLOGY

7(2) 2022

16+

Сайт журнала:
rinformation.ru
сетевой научный рецензируемый журнал
online scholarly peer-reviewed journal





Том 7, № 2. 2022

СЕТЕВОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с 2016 г.

ISSN 2518-1092



Volume 7, № 2. 2022

ONLINE SCHOLARLY PEER-REVIEWED JOURNAL

First published online: 2016

ISSN 2518-1092

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА: **Жихарев А.Г.**, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных и робототехнических систем Белгородского государственного национального исследовательского университета.

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ: **Болгова Е.В.**, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета.

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

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

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

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

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

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

Калмыков И.А., доктор технических наук, профессор (Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь)

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

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

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

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

Таранчук В.Б., доктор физико-математических наук, профессор, (Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь)

EDITORIAL TEAM:

EDITOR-IN-CHIEF: **Andrey A. Chernomorets**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor, Belgorod State National Research University

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF: **Zhikharev A.G.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Belgorod State National Research University

EXECUTIVE SECRETARY: **Evgeniya V. Bolgova**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Belgorod State National Research University

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

EDITORIAL BOARD:

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

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

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

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

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

Igor A. Kalmykov, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

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

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

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

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

Valery B. Taranchuk, Doctor of Physico-mathematical Sciences, Professor (Belarus)

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Мигаль Л.В., Бондарев В.Г. Компьютерная визуализация пространственной структуры атомного ядра	3	Migal L.V., Bondarev V.G. Computer visualization of the spatial structure of the atomic nucleus	3
Урсол Д.В., Черноморец Д.А., Болгова Е.В., Черноморец А.А. Обнаружение объектов на основе взаимной корреляции фрагментов видео кадров морской поверхности	19	Ursol D.V., Chernomorets D.A., Bolgova E.V., Chernomorets A.A. Objects detection based on the sea surface video fragments cross-correlation	19
Кузьминых Е.С., Маслова М.А. Анализ основных мобильных угроз и способы защиты от вирусов	28	Kuzminykh E.S., Maslova M.A. Analysis of the main mobile threats and ways to protect against viruses	28
Бузов П.А., Жихарев А.Г., Маторин С.И. Функционально-стоимостной анализ для системы менеджмента качества	35	Buzov P.A., Zhikharev A.G., Matorin S.I. unctional-cost analysis for the quality management system	35
Костин К.В., Егоров С.Ф., Чистяков С.В. Влияние эффекта четырехволнового смешения на качество передачи оптических сигналов	42	Kostin K.V., Egorov S.F., Chistyakov S.V. The influence of the four-wave mixing effect on the transmission quality of optical signals	42

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

AUTOMATION AND CONTROL

Кнаан А.-Р., Польщиков К.А. Анализ реакции общественности на электронное обучение в Твиттере	48	Knaan A.-R., Polshchikov K.A. Analysis of public reaction to e-learning on Twitter	48
---	-----------	---	-----------

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

COMPUTER SIMULATION

Самигулин Т.Р., Смирнов И.З., Лаушкина А.А. Определение маркеров агрессивного поведения человека на основе анализа аудио и текстового каналов	55	Samigulin T.P., Smirnov I.Z., Laushkina A.A. Determination of markers of aggressive behavior based on the analysis of audio and text channels	55
Медведев А.А., Лаптев А.А. Алгоритм выявления невербальных маркеров поведения человека на видео	58	Medvedev A.A., Laptev A.A. An algorithm for detecting non-verbal markers of human behavior on video	58

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ INFORMATION SYSTEM AND TECHNOLOGIES

UDC 539.142.2

DOI: 10.18413/2518-1092-2022-7-2-0-1

Migal L.V.
Bondarev V.G.

COMPUTER VISUALIZATION OF THE SPATIAL
STRUCTURE OF THE ATOMIC NUCLEUS

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

e-mail: Migal@bsu.edu.ru

Abstract

Based on the model of the nuclear shells, a computer model of the spatial structure of the atomic nucleus was constructed. The application of the new approach, by analogy with the modeling of the atom electron shell, allowed us to visualize the structure of the atomic nucleus. In the presented spatial model, the concept of nucleon is also extended to include, besides protons and neutrons, deuterons in the nuclear shell. The nature of quantum and magic numbers is clarified, and the structure of the nuclear shell is shown. The resulting spatial arrangement of nucleons clearly shows the presence of a fine structure in the nucleus. Adequacy of the model is confirmed by correlations of the dependences of the nucleus radius on the charge number, as well as by the curve of the asymmetric nucleus shape dependence on the charge number which almost entirely coincides with a similar dependence of the electric quadrupole moment. The reasons for limiting the number of isotopes existing in nature have been considered. Based on the results obtained, equations for estimating the limiting number of isotopes in atoms for the NP-diagram have been determined.

Keywords: atomic nucleus; model of the nucleus structure; nucleon; quantum number; magic number; radius; asymmetry; isotope

For citation: Migal L.V., Bondarev V.G. Computer visualization of the spatial structure of the atomic nucleus // Research result. Information technologies. – T.7, №2, 2022. – P. 3-18. DOI: 10.18413/2518-1092-2022-7-2-0-1

Мигаль Л.В.
Бондарев В.Г.

КОМПЬЮТЕРНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ
ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ АТОМНОГО ЯДРА

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

e-mail: Migal@bsu.edu.ru

Аннотация

На основе модели ядерных оболочек проведено построение компьютерной модели пространственной структуры атомного ядра. Применение нового подхода, по аналогии с моделированием электронной оболочки атома, позволило провести визуализацию структуры атомного ядра. В представленной пространственной модели также расширено понятие нуклона, которое дополнено включением в него кроме протонов и нейтронов, также и дейтронов, размещенных в ядерной оболочке. Выяснена природа квантовых и магических чисел, а также показана структура ядерной оболочки. Полученное пространственное расположение нуклонов наглядно показывает наличие в ядре тонкой структуры. Подтверждением адекватности построенной модели являются корреляции зависимостей радиуса ядра от зарядового числа, а также кривая зависимости

асимметричности формы ядра от зарядового числа, которая по форме практически полностью совпадает с аналогичной зависимостью электрического квадрупольного момента. Рассмотрены причины ограничения количества изотопов, существующих в природе. На основе полученных результатов определены уравнения для оценки предельного количества изотопов в атомах для NP-диаграммы.

Ключевые слова: атомное ядро; модель структуры ядра; нуклон; квантовое число; магическое число; радиус; асимметрия; изотоп

Для цитирования: Мигаль Л.В., Бондарев В.Г. Компьютерная визуализация пространственной структуры атомного ядра // Научный результат. Информационные технологии. – Т.7, №2, 2022. – С. 3-18. DOI: 10.18413/2518-1092-2022-7-2-0-1

INTRODUCTION

At the present stage of the development of science, the study of features in the structure of atomic nuclei is of particular interest. Here, the atomic nucleus is understood as a system of interconnected nucleons, in which various changes in their relative position and the nature of movement are possible [1]. The complexity of the behavior of nucleons in various processes has led to the fact that a consistent theory of the atomic nucleus has not yet been developed. Therefore, in order to simplify the theoretical description of atomic nuclei, it is customary to use models based on the representation of the nucleus as an object with well-known characteristic properties.

Nominally, nuclear models are divided into two classes – microscopic and collective [2]. The behavior of individual nucleons of the nucleus is considered in microscopic models. Moreover, it is believed that the movement of a single nucleon in the nucleus does not depend on the movement of the rest. The collective models already take into account the consistent behavior of large groups of nucleons.

The most common microscopic model of the nucleus is the shell model [3], in which the energy of the nucleons takes certain discrete values, that is, the nucleons are at certain energy levels. The shell model of the nucleus describes the structure of nuclei in a mostly stable state. According to this model, the nucleons in the nucleus are arranged in shells, and only a certain number of nucleons can be on each shell. There are two systems of nucleon energy levels: one for neutrons, the other for protons, and each system is filled with nucleons independently of each other. With an increase in the number of protons or neutrons in the nucleus, certain numbers of nucleons appear, at which the binding energy of the next nucleon is much less than that of the last one inhabited. Atomic nuclei with fully filled nucleon shells have augmented stability. Atomic nuclei containing magic numbers are particularly stable 2, 8, 20, 28, 50, 82 for protons and neutrons, as well as 126 for neutrons [4].

In the nuclear shell model, single-particle conditions are characterized by a set of quantum numbers: n , l , j , m [5]. Here n is the main quantum number, which numbers one-partial orbits with the same lj in ascending order of their energy; l is the orbital moment of the amount of motion of the nucleon; j is the total moment of the amount of motion of the nucleon and m is the magnetic quantum number, defined as the projection of the moment of the amount of motion on the base axis. At the same time, to estimate the position of nucleons in the nucleus, it is desirable to use such quantum numbers as orbital, magnetic, as well as an additional quantum number introduced, called the basic quantum number [6]. The model of nuclear shells is the basis of modern understanding of the structure of the atomic nucleus, in its essence being a semi-empirical scheme that allows us to understand some patterns in the structure of nuclei. However, it is not able to quantify the basic properties of the core consistently. So, for example, it is not able to find out the order of filling shells theoretically, and, consequently, the magic numbers for nuclear shells. Within the framework of this model, visualization of the ground state of the nucleus, which can be represented in terms of the number of nucleons inhabiting individual subshells, could be of great importance. The obtained information of this type could allow for a targeted verification of the predictive predictions of various theoretical models.

The main tools for describing the characteristics of the nucleus, in addition to theoretical and experimental research methods, can also be graphical methods of visual representation of the structure of the atomic nucleus [7, 8]. A number of authors are actively working in this direction [9]. At the same

time, along with the well-known classical models of the nucleus, a whole family of so-called lattice models appeared. Thus, Garai [8] proposed to consider the formation of tetrahedrons consisting of identical spheres arranged in an FCC packing, which can be extended by adding layers of equilateral triangles arranged in a two-dimensional packing. If layers are added to the outer sides of the tetrahedron, then in this case a core shell can be formed. Similar approaches were considered by a number of other authors [7, 9, 10]. In addition, one can note the works of G. Anagnostatos [11], in which neutrons and protons are considered as hard spherical balls. In this semi classical model, the nucleons on each shell are in dynamic equilibrium, and their average positions correspond to the vertices of the polyhedron. The shell dimensions are determined from the requirement of dense packing of nucleons; the wave functions of nucleons are calculated in the potential of a harmonic oscillator, so this model essentially describes atomic nuclei as crystals. The model quite well reproduces the experimental data on the binding energies of nuclei, the root-mean-square radii of the charge and nucleon distributions.

Analyzing the above ways of surveying atomic nuclei, as well as the known models of the nucleus, it was decided to choose as the goal of the work the construction of a computer model for visualizing the spatial formation of the structure of the atomic nucleus, when it is described within the framework of the shell model in accordance with a set of quantum numbers characterizing nuclear shells.

1. GENERAL FORMULATION OF THE PROBLEM

During the visualization process, we will take the statement about the possibility of considering the atomic nucleus as a collection of nucleons located on one common axis and jointly rotating around this axis as a single whole [12] as a basis. In this case, we will assume that the problem of describing the spatial structure of the atomic nucleus is to determine the location of the nucleons in accordance with their placement near the base axis of rotation of the nucleus. The nucleons themselves can be considered as structureless material objects whose position in space can be set by three quantum numbers: basic, orbital and magnetic (side) [6].

Let protons and neutrons inside nuclei exist not only in the form of independent particles, but also bound proton-neutron pairs – deuterons (more complex nuclei in the framework of this model will not be considered) [13]. A deuteron is formed by the fusion of a proton and a neutron into a separate particle, and its shape may have some elongation exceeding the scope of a strong interaction. This fact affects the size of the deuteron, whose radius is the value: $R_d = 2.13 \text{ fm}$. It should be noted that the radii of the proton and neutron are approximately the same and equal to $r \approx 0.84 \text{ fm}$ [9]. In addition, the deuteron has a small mass defect, which allows us to assert that it is not a mechanically coupled p - n system, but can be considered as an independent particle with its own characteristics.

In further consideration, we confine ourselves to the condition that all nucleons in the first approximation have a shape close to spherical. However, at the same time, we note that the difference in size of deuterons from protons and neutrons will have a significant impact on the properties of the atomic nucleus, which will lead to some shift in the position of a number of nucleons.

At the next step of our consideration, we will determine a possible correspondence between quantum numbers and spatial coordinates. Thus, the axis of rotation associated with the base quantum number x is the basis for the placement of s -particles [12]. Another quantum number l , related to the orbital momentum, indicates the possibility of separating the nuclear structure into separate layers, such as p -, d -, f -layer, etc. In this case, it is necessary to consider the nucleus as a system of particles, the position of which is determined by using a cylindrical coordinate system [6]. In this case, the magnetic quantum number m will be responsible for the number of particles installed in each of the considered layers, for certain values of the base and orbital quantum numbers.

Summarizing the above surveyed, we can conclude that for us the most convenient coordinate system, as well as for the electron shell of an atom, is a cylindrical system having a dedicated base axis, which is associated with the base quantum number x . The other two components will be the quantum numbers l and m , which are also analogs of coordinates [6].

2. SIMULATION

Let us assume that the nucleus of an atom in a normal condition consists of neutrons N and protons Z , as well as their possible combination in the form of deuterons. For the purpose of simplification, we will consider only spherical nucleons. We will assume that the nucleons are placed on the corresponding shells and subshells. Each nucleon is characterized by the following basic parameters: charge (proton), radius of finite size and its position inside the nucleus, determined on the basis of quantum numbers. For convenience of representation, taking into account the selected value of the orbital quantum number, each of the protons can be associated with a specific color identifier (Table 1).

Table 1

Color identification of protons, according to the values of the orbital quantum number

Таблица 1

Цветовая идентификация протонов, в соответствии со значениями орбитального квантового числа

Orbital quantum number	s	p	d	f	g	h
Colour	Yellow	Green	Red	Blue	Azure	Violet

We will look for a solution to the problem of forming a 3D-dimensional structure of the nucleus in a way that uses a graphical representation of the shell model developed to represent the electron shell of an atom [6]. However, the presence of two parallel shells – proton and neutron – makes it difficult to build a model defining the nucleus from common unified positions. The way out of this situation is possible when considering the scheme of the nucleus in the form of a set of structural cells with subsequent settlement of their nucleons. To this end, we will divide the spatial region near the base axis of the nucleus into separate cells, in each of which it will be possible to populate either only a proton or a neutron, or together in the form of a deuteron.

In the first approximation, we will assume that the deuteron is spherically symmetric, although, as noted above, in reality it also has an ellipsoidal (cylindrical) shape. This statement is due to the fact that the deuteron spends a certain part of its time in a form close to a sphere, but the "recession" of its constituent nucleons makes it possible to consider its shape as cylindrical.

Let's consider the general model of the atomic nucleus. It should be noted that according to this model, the nucleus contains the so-called base nucleus zone consisting of $1s$ -protons, as well as the periphery zone represented by $1p$ -protons. During the formation of a new shell, bonds arise at the level of individual protons of various subshells.

If we consider the structure of the $1p$ -shell consisting of deuterons (Fig. 1), it can be noted that only two of the three deuterons are in direct contact with the protons of the $1s$ -shell.

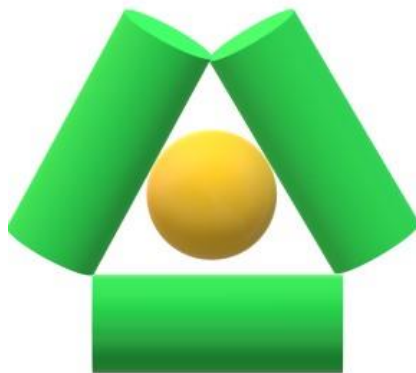


Fig. 1. Diagram of the spatial arrangement of deuterons in the structure of the $1p$ -shell (the graphic image is shown perpendicular to the direction of the base axis)

Рис. 1. Схема пространственного расположения дейтронов в структуре $1p$ -оболочки (графическое изображение показано перпендикулярно направлению базовой оси)

This fact leads to the presence of a set of $1p$ -protons having two different energy levels. Of course, such a graphical description of the core structure is approximate, but it will be convenient enough for its visual representation.

For fixation of the static nature of the structure, we will assume that there are no processes of reconfiguration of protons near the nucleus in this model, with the exception of the occupation of subshells by nuclear kinosymmetries. There is no provision for taking into account the mechanical inertia of particles determined by their mass, as well as taking into account their own rotational motion of particles. We will also assume that all kinetic energy is concentrated only in the rotational motion of the entire atom as a whole.

Summarizing all the explanations considered, it was decided, when conducting computer modeling of the spatial structure of the atomic nucleus, to accept the following assumptions:

1. We can consider only nuclei that are in a normal state.
2. Nucleons have a spherical shape and a finite radius.
3. The nucleus as a whole is in a state of rotation around some selected base axis.
4. The modified Pauli principle determines the spatial arrangement of nucleons relative to each other and is based on three quantum numbers: x , l , and m .
5. The magnetic quantum number m makes it possible to determine the number of nucleons placed on a common plane perpendicular to the base axis at given values of the base and orbital quantum numbers.
6. The principle of minimum energy determines the order of settlement of nucleons having different values of potential energy.
7. The settlement of nucleons in the atomic nucleus occurs in accordance with previously established principles and rules.
8. The mechanism of paired interaction of protons and neutrons is assumed, taking into account the effects of proton-neutron pairing [13].

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 THE LOCATION OF PROTONS IN THE NUCLEAR SHELL MODEL

Let us consider the possible configurations of closed and semi-closed subshells of the spatial structures of atomic nuclei that arise during the occupation of the proton shell.

Atomic number $Z = 2$. Two protons cannot form a nucleus in the absence of at least one neutron (Fig. 2).

To form a bond between protons, it is necessary to place at least one additional neutron in one of the spatial cells. It is this neutron, which forms a neutron together with a proton, and will be considered as the basis for the beginning of the formation of the nucleus of an atom.

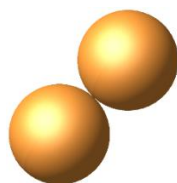


Fig. 2. Diagram of the arrangement of protons in the nucleus model with $Z=2$ in the $1s^2$ nuclear configuration in a plane passing through the axis of rotation of the nucleus at an angle of 45°

Рис. 2. Схема расположения протонов в модели ядра с $Z=2$ в ядерной конфигурации $1s^2$ в плоскости, проходящей через ось вращения ядра под углом в 45°

In other words, a deuteron can be taken as the power center of the nucleus, to which other nucleons will be added.

Atomic number $Z = 8$. Figure 3 shows the structure of the nucleus with a charge number $Z = 8$.

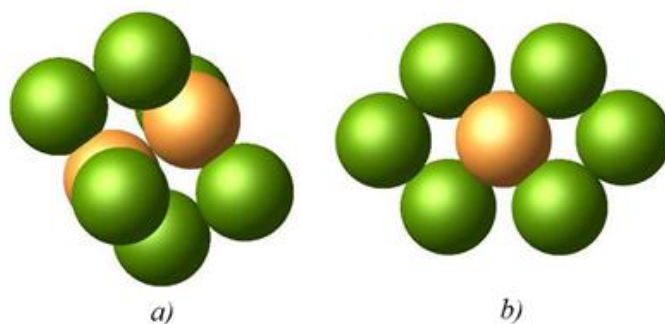


Fig. 3. Diagram of the arrangement of protons in the nucleus model with $Z=8$ in two projections:
a) in plane passing through the axis of rotation of the nucleus at an angle of 45° ;
b) in plane perpendicular to the axis of rotation and passing through the center of the nucleus.

● – s-protons, ● – p-protons

Рис. 3. Схема расположение протонов в модели ядра с $Z=8$ в двух проекциях:

a) в плоскости, проходящей через ось вращения ядра под углом в 45° ;

b) в плоскости, перпендикулярной оси вращения и проходящей через центр ядра.

● – s-протоны, ● – p-протоны

When surveying this closed shell, one can clearly see the division of the $1p$ shell into two parts, having 4 protons in contact with the lower $1s$ -shell and 2 protons located at a slightly greater distance from the $1s$ -protons (Fig. 3b). For example, in the $1p$ -subshell, the first 2 protons occupy cells with a positive base quantum number, the next 2 with a negative value of this number. The remaining 2 protons, respectively, also have the same potential energy values when occupied, for different signs of the base quantum number.

Atomic number $Z = 20$. To obtain a closed shell with atomic number $Z = 20$, formed by colonizing with protons a $1d$ -shell with a capacity of up to 10 protons (Fig. 4).

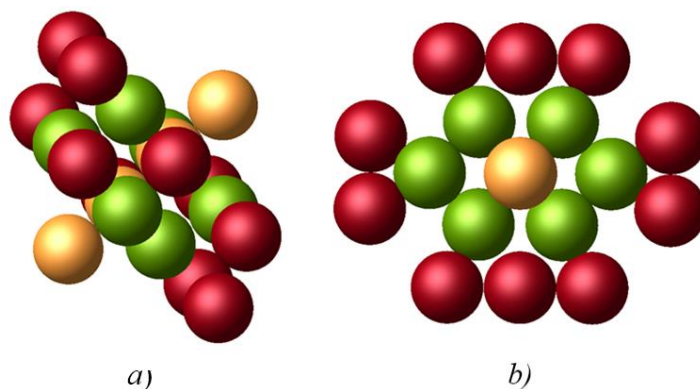


Fig. 4. The arrangement of protons in the model of the nucleus with $Z = 20$ in two projections:
a) in plane passing through the axis of rotation of the nucleus at an angle of 45° ;
b) in plane perpendicular to the axis of rotation and passing through the center of the nucleus.

● – s-protons, ● – p-protons, ● – d-protons

Рис. 4. Схема расположения протонов в модели ядра с $Z=20$ в двух проекциях:

c) в плоскости, проходящей через ось вращения ядра под углом в 45° ;

d) в плоскости, перпендикулярной оси вращения и проходящей через центр ядра.

● – s-протоны, ● – p-протоны, ● – d-протоны

Here it is also possible to obtain the separation of the $1d$ -shell into two parts having, respectively, 6 and 4 protons (Fig. 4b).

Atomic number $Z = 28$. Adding 8 more f -subshell protons to the nucleus, we get the following magic number $Z = 28$ (Fig. 5).

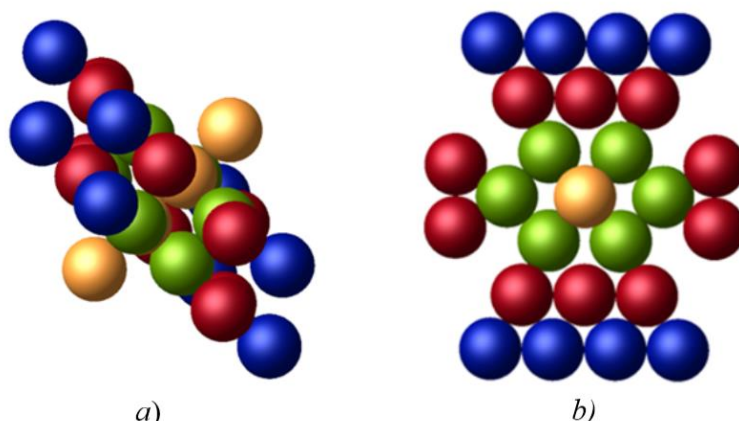


Fig. 5. The arrangement of protons in the model of the nucleus with $Z = 28$:

- a) in plane passing through the axis of rotation of the nucleus at an angle of 45° ;
b) in plane perpendicular to the axis of rotation and passing through the center of the nucleus.

● – s-protons, ● – p-protons, ● – d-protons, ● – f-protons

Рис. 5. Схема расположения протонов в модели ядра с $Z=28$:

- с) в плоскости, проходящей через ось вращения ядра под углом в 45° ;
d) в плоскости, перпендикулярной оси вращения и проходящей через центр ядра.

● – s-протоны, ● – p-протоны, ● – d-протоны, ● – f-протоны

Let us turn our attention to the shape of the nucleus (Fig. 5b). Unlike nuclei with $Z = 8$ and $Z = 20$, which have a slight elongation in the horizontal position, there is also some asymmetry of the nucleus, but in the vertical direction. Both in the previously considered nuclei, and in this case, the difference between the shape of the nucleus and the symmetric one is minimal.

Atomic number $Z = 50$. Let's move on to another semi-closed 1g-shell, which is part of the nucleus having atomic number $Z = 50$ (Fig. 6).

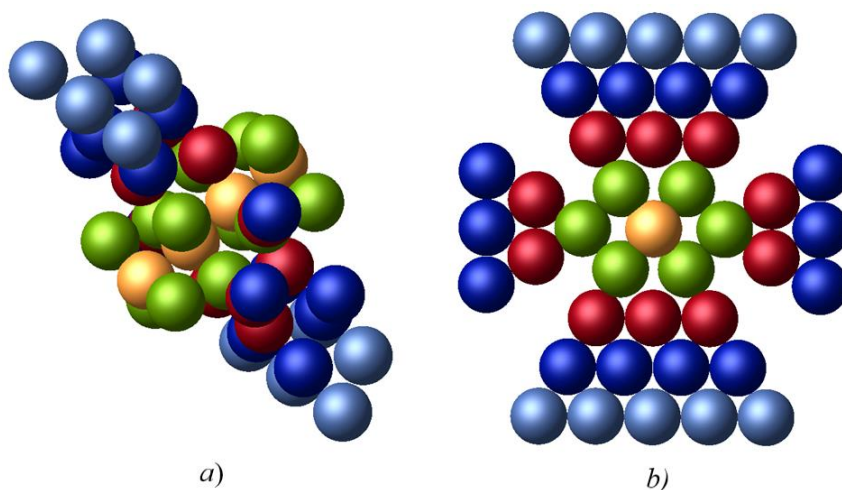


Fig. 6. The arrangement of protons in the model of the nucleus with $Z = 50$:

- a) in plane passing through the axis of rotation of the nucleus at an angle of 45° ;
b) in a plane perpendicular to the axis of rotation and passing through the center of the nucleus.

● – s-protons, ● – p-protons, ● – d-protons, ● – f-protons, ● – g-protons

Рис. 6. Схема расположения протонов в модели ядра с $Z=50$:

- a) в плоскости, проходящей через ось вращения ядра под углом в 45° ;
b) в плоскости, перпендикулярной оси вращения и проходящей через центр ядра.

● – s-протоны, ● – p-протоны, ● – d-протоны, ● – f-протоны, ● – g-протоны

Here, the occupation of spatial cells is carried out in accordance with the scheme of the arrangement of the energy levels of protons [14]. First, $2p$ -subshell protons and the remaining $1f$ -subshell protons are placed, and then part of the cells and $1g$ -subshells are occupied.

Atomic number $Z = 82$. The nucleus with a charge number $Z = 82$ (Fig. 7) at first glance does not have a completely symmetrical shape. However, the horizontal “extension” of protons compensates for this fact, bringing the nucleus with the considered atomic number to an almost symmetrical shape.

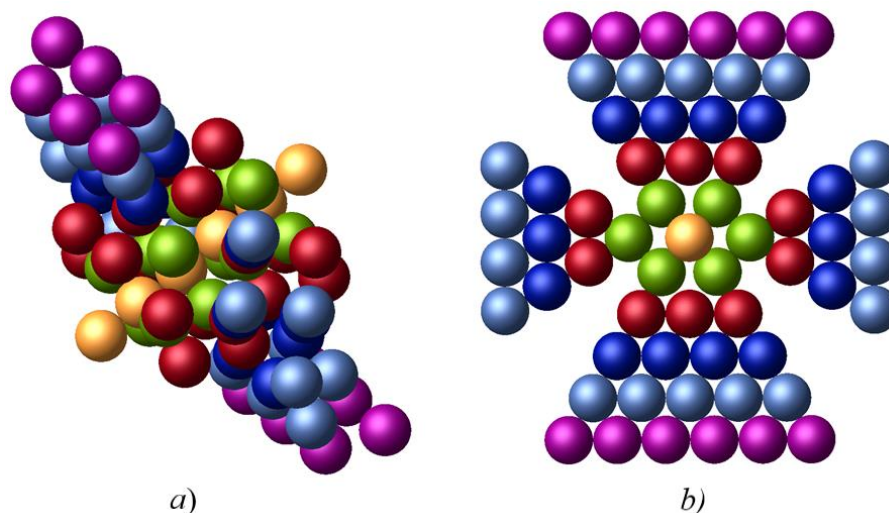


Fig. 7. The arrangement of protons in the model of the nucleus with $Z = 82$:
a) in plane passing through the axis of rotation of the nucleus at an angle of 45° ;
b) in a plane perpendicular to the axis of rotation and passing through the center of the nucleus.

● – s-protons, ● – p-protons, ● – d-protons, ● – f-protons, ● – g-protons, ● – h-protons

Рис. 7. Схема расположения протонов в модели ядра с $Z=82$:

a) в плоскости, проходящей через ось вращения ядра под углом в 45° ;
b) в плоскости, перпендикулярной оси вращения и проходящей через центр ядра.

● – s-протоны, ● – p-протоны, ● – d-протоны, ● – f-протоны,
● – g-протоны, ● – h-протоны

Due to the uncertainty in the order of proton population, we will take as a basis the known experimental data on the determination of the electric quadrupole moment [14]. When structural cells are occupied with protons from $Z= 54$ to $Z= 70$, they are simultaneously occupied with neutrons, which distort the order of filling the proton shell. This leads to the initial occupation of all protons in cells having a positive base quantum number up to and including $1h$ -subshells. It should be noted here that in the process of proton occupation at this interval, neutron occupation of cells with both positive and negative base quantum numbers occurs in parallel. This process leads to the appearance of nucleus asymmetry, which is reflected in the magnitude of the electric quadrupole moment. With the further filling of the structural cells, the proton occupation of cells with a negative base quantum number already occurs.

Atomic number $Z = 112$. At the end of our survey of the spatial structure of the atomic nucleus, we will focus on the nucleus with the charge number $Z = 112$ (Fig. 8).

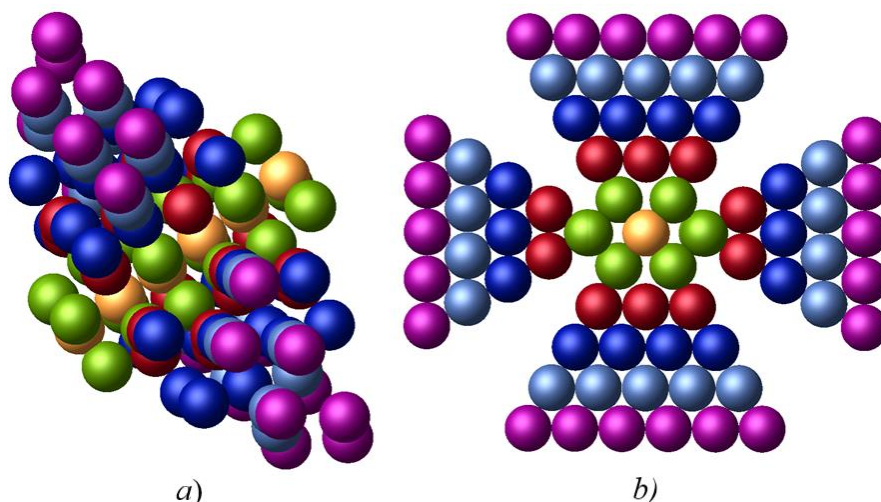


Fig. 8. Diagram of the arrangement of protons in the nucleus model with $Z=112$:
a) in plane passing through the axis of rotation of the nucleus at an angle of 45° ;
b) in plane perpendicular to the axis of rotation and passing through the center of the nucleus.

● – s-protons, ● – p-protons, ● – d-protons, ● – f-protons, ● – g-protons, ● – h-protons
Рис. 8. Схема расположения протонов в модели ядра с $Z=112$:

a) в плоскости, проходящей через ось вращения ядра под углом в 45° ;
b) в плоскости, перпендикулярной оси вращения и проходящей через центр ядра.

● – s-протоны, ● – p-протоны, ● – d-протоны, ● – f-протоны,
● – g-протоны, ● – h-протоны

When cells are occupied with protons with charge numbers greater than $Z = 82$, similar processes are repeated, in which there is also a unilateral filling of structural cells with protons having a positive base quantum number. Therefore, initially only 5 protons will be populated in the $1h$ -subshell, then 7 protons in the $2f$ -subshell cells and at the end 3 $p/3, +\text{БЖ}$ rotons in the $3p$ -subshell cells. And only then will protons fill the cells of the same subshells with negative base quantum numbers.

3.2 SIZING OF THE ATOMIC NUCLEUS

The radius of the nucleus is usually called the distance from its center to the point at which the density decreases by half compared to the density in the center [13]. Currently, data on the size of atomic nuclei obtained by various experimental methods are known [14-16]. The standard deviation of the radius values obtained experimentally lies in the range from 0.106 to 0.023 fm . The most accurate results on measuring the size of nuclei were obtained by scattering fast electrons on nuclei and from mesoatom spectra. There, measurements give the so-called root-mean-square electric radius of the nucleus.

Based on the proportionality of the binding energy of the nucleus to the number of nucleons N , it was concluded that the radius of the nucleus R is approximately described by the empirical formula

$$R = r_0 N^{1/3}, \quad (1)$$

where $r_0 = (1.0 \div 1.1) fm$. Another definition of the radius of the core is often used, approximating it with a sphere of uniform density (without a blurred surface layer). In this case: $r_0 = (1.2 \div 1.3) fm$. It follows from formula (1) that the volume of the nucleus is proportional to the number of nucleons located in the nucleus.

To determine the dependence of the radius of the nucleus on the atomic number, within the framework of the model under consideration, it is necessary to estimate the distances of each of the nucleons located in separate subshells from the center of the nucleus. At the same time, it is necessary to take into account that two nucleons can be populated simultaneously in a separate cell – both a proton and a neutron. The experimental data were taken from the work on the estimation of the radius of the nucleus performed by I. Angeli [15].

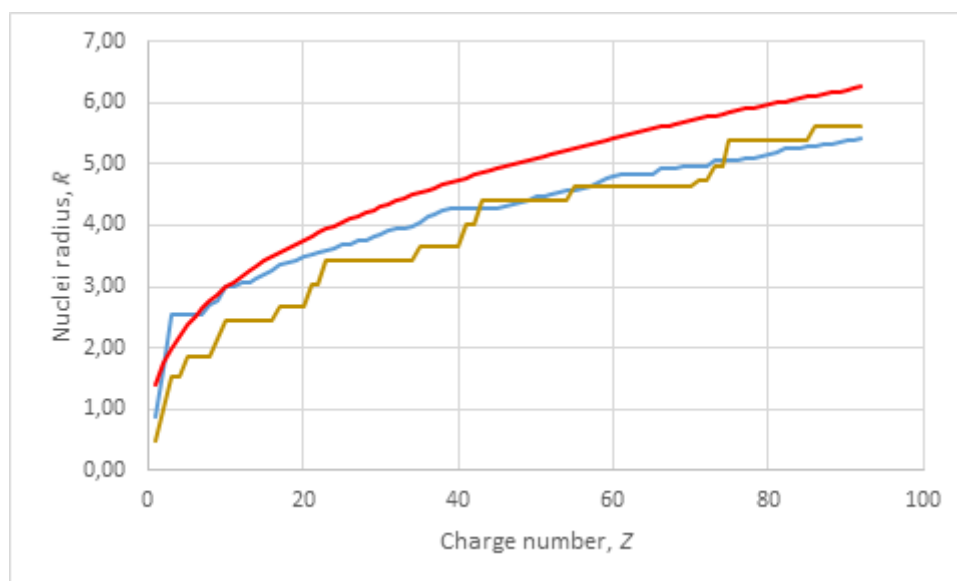


Fig. 9. Dependence of the radius of the nucleus on the atomic number:

— experiment [Angeli]; — model (present article); — empirical influence by the formula (1) at $r_0 = 1.1 \text{ fm}$

Рис. 9. Зависимость радиуса ядра от зарядового числа:

— experiment [Angeli]; — model (данная статья); — эмпирическая зависимость по формуле (1) при $r_0 = 1.1 \text{ fm}$

As it can be seen from the dependence of the radius of the nucleus on the atomic number presented in Figure 9, a comparison of the sizes of nuclei obtained by various methods allows us to reveal a certain correlation of their trends. The model curve on the graph has a number of "steps" indicating the filling of cells of a certain layer. In a somewhat weakened form, such "steps" also take place with the results of experimental investigation of the radius of the nucleus.

3.3 ASYMMETRY OF THE ATOMIC NUCLEUS

The difference between the distribution of electric charge and the spherically symmetric one in the atomic nucleus is characterized by the electric quadrupole moment of the nucleus Q . If we assume that the nucleus is an ellipsoid of rotation with a charge density constant in volume, then the quadrupole moment can be determined by the formula [14]

$$Q = \frac{2}{5} Ze(b^2 - a^2), \quad (2)$$

where Z is the atomic number of the nucleus; b and a are the semi-axes of the ellipsoid along and perpendicular to the axis of symmetry. It is known that nuclei with closed shells and subshells have zero quadrupole moment, and the greatest values of quadrupole moments are for nuclei where the subshells are only partially filled.

To estimate the magnitude of the nucleus deformity, along with the electric quadrupole moment, we introduce an auxiliary concept – the asymmetry of the nucleus A , which will be determined by summing the ratio of the basic quantum numbers x of protons, each of which makes a certain contribution to the overall value of the asymmetry, to the modules of the same numbers

$$A = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^Z \frac{x_i}{\text{mod}(x_i)}, \quad \text{при } x \neq 0. \quad (3)$$

In order to compare the data on the electric quadrupole moment [17] with the results of the calculation of the nucleus asymmetry, a coefficient numerically equal to 0.25 was additionally introduced into formula (3).

When constructing the dependence of the asymmetry of the nucleus on the charge number, we do not have a clear unambiguous representation of the order of the nucleon occupation of the atomic nucleus. For this reason, it was decided to fill the proton shell by taking into account the behavior of the dependence of the electric quadrupole moment on the number of installed protons [13]. With this approach, it was found that after $Z = 54$, occupation already takes place unilaterally, without sequential installation of protons in accordance with their energy levels. The probable reason for this "behavior" of protons may be an increased number of neutrons, the presence of which affects the order of occupation of proton shell particles.

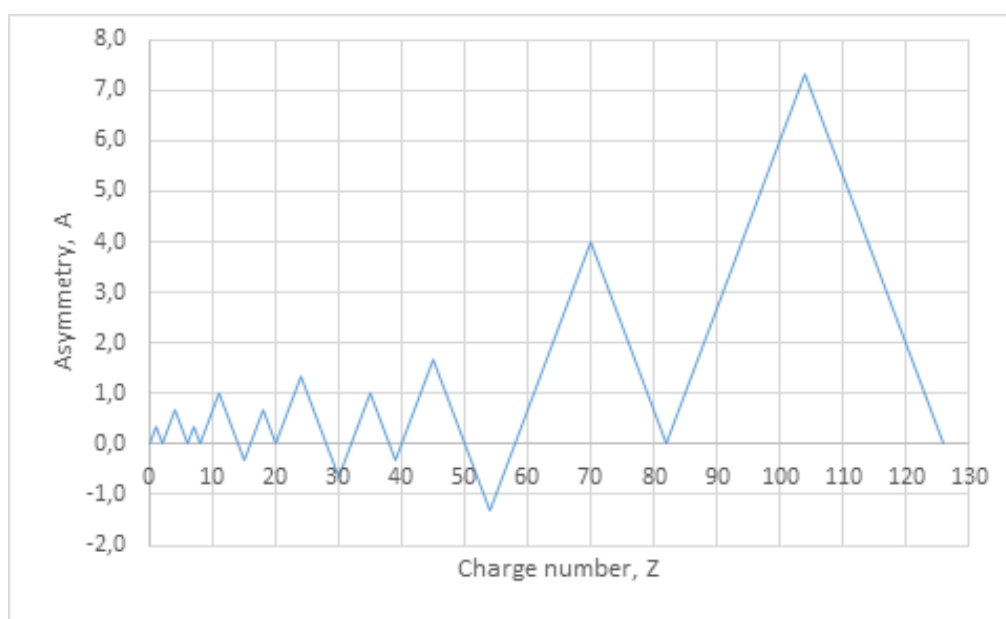


Fig. 10. Dependence of the asymmetry of the nucleus on the atomic number

Рис. 10. Зависимость асимметрии ядра от зарядового числа

The analysis of the obtained dependence of the asymmetry of the nucleus A on the charge number Z shows that in this graph (Fig. 10) it can be distinguished as standard magic numbers 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126, and additional – 6, 14, 16, 32, 40 and 58. In addition, there are a number of extreme values for the asymmetry of the nucleus, of which 45, 54, 70 and 104 are the most clearly expressed. The calculated data obtained confirm their close correspondence to the known results of experimental studies of both spherical and deformed nuclei [19, 20].

3.4 ULTIMATE MASS NUMBERS OF NUCLIDES

Another example confirming the correctness of the chosen approach to the representation of the spatial structure of the atomic nucleus is the possibility of estimating the limiting mass numbers of nuclides on the N-Z diagram. To analyze the limiting mass numbers, we formulate rules that allow us to determine the mass numbers of nuclei. To this end, we will divide all neutrons into four groups. In the first group we place N_d neutrons, which combine with protons to form deuterons. The second group includes N_s neutrons necessary for binding only s-protons. The third group of N_b neutrons allows for the creation of bonds between individual protons (with the exception of s-protons) installed in a certain nuclear substructure. The last, fourth group of neutrons N_f can occupy the cells of the proton subshell, which remained free in the selected closed subshell. This neutron separation allows us to propose the following formula for estimating the minimum mass number of A_{min} nuclides represented in the N-Z diagram

$$A_{min} = Z + N_d + N_s + (2B + 1)N_b + N_f, \quad (4)$$

where B is a coefficient numerically equal to: $B = 0$ – for nuclear kinosymmetries; $B = 1$ – when estimating the number of binding neutrons of other subshells.

The maximum mass number of the A_{max} nuclide is determined by the sum of protons and neutrons necessary for the formation of deuterons, as well as the number of neutrons in the remaining free cells of the next closed proton subshell of the atomic nucleus

$$A_{max} = Z + N_d + N_s + N_b + 2B(N_b + 2) + N_f, \quad (5)$$

As an example, we will use the proposed formulas (4) and (5) to determine the limiting boundaries of the region of possible existence of isotopes of closed subshells, including the nucleus with a charge number $Z = 1$.

Atomic number $Z=1$. In our case, when the atomic nucleus consists of one stable proton, the presence of neutrons that make up the nucleus is not a prerequisite. Therefore, the minimum mass number will be numerically equal to: $A_{min}(Z=1) = 1$.

Let's determine what is the ultimate maximum number of neutrons can be located near a proton. According to our approach, the number of cells free for neutron population near the proton is determined in accordance with the model of nuclear shells. Considering that we can have only one deuteron ($N_d = 1$), formed, then $N_f = 5$ free cells remain for neutron occupation (Fig. 3b). Consequently, for a nuclide consisting of a single proton, the possible maximum mass number will be equal to 7. However, there is some probability of occupying the remaining two cells displaced by a certain distance, also belonging to the $1p$ -subshell, theoretically allowing the appearance of isotopes with mass numbers 8 and 9. Based on this assumption, it can be argued that the maximum value of the mass number of this nuclide can be the value: $A_{max}(Z=1) = 9$.

Atomic number $Z=2$. When considering a $1s$ -shell containing two protons, only one binding neutron is needed to obtain the minimum mass number. Therefore, the minimum mass number will be numerically equal to: $A_{min}(Z=2) = 3$.

In the case of estimating the maximum value of the mass number for nuclide isotopes, with the atomic number $Z = 2$, it is necessary to form two deuterons ($N_d = 2$) and fill the entire $1p$ subshell with free neutrons up to the next magic number, adding: $N_f = 6$, and the resulting number can already be considered as the limit value of neutrons placed in this the nucleus. In this case, the maximum mass number will be the value: $A_{max}(Z=2) = 10$.

Atomic number $Z=8$. If we take as a basis, to determine the minimum value, the number of neutrons sufficient to "interlinked" protons in individual subshells, then in our case this number can have a minimum value equal to: $N_b = 4$. This value is determined by installing a $1p$ -subshell between 3 protons with positive values of the base quantum number of two binding neutrons and two more neutrons will be placed between the protons of this subshell with negative values of the base quantum number (Fig. 3a). To bind the protons of the inner $1s$ -shell, the same neutrons that are installed for the $1p$ -subshell will be used, that is, the number of s -neutrons: $N_s = 0$. In this case, the minimum mass number will be numerically equal to: $A_{min}(Z=8) = 12$.

The maximum value of the mass number of a nuclide is determined by forming, on the basis of this nucleus, a closed $1p$ -subshell already populated with deuterons with $N_d = 8$. We also take into account the population of neutrons and $2s$ -subshells, giving an additional two neutrons ($N_s = 2$), and then add ten neutrons to the free cells of the $1d$ -subshell ($N_f = 10$), until the next magic number is obtained: $N = 20$, in the end we get the value of the maximum mass number equal to: $A_{max}(Z=8) = 28$.

Atomic number $Z=20$. According to formula (4), to estimate the minimality of the neutrons number in this subshell, we will get an additional 8 binding neutrons for the $1d$ -subshell (4 for each value of the base quantum number) and 2 neutrons for the $2s$ -subshell (Fig. 4). Consequently, the total number of neutrons, taking into account the previously populated 4 neutrons, It will be equal to 14 neutrons, which also corresponds to the known minimum value of the mass number for a nuclide containing 20 protons: $A_{min}(Z=20) = 34$.

The maximum value of the mass number of this nuclide will be obtained similarly to the analysis for the previous charge number. In this case, we will have 20 neutrons and 8 free neutrons in $1f$ -subshell. However, the resulting value of 28 neutrons is underestimated, so it must be assumed that part of the $2p$ -subshell may also be populated. In accordance with formula (5), in addition to the settlement of 4

neutrons, there are also bonds with $1p$ -subshell, giving 8 more neutrons. As a result, for the maximum value of the mass number of the considered nuclide, we obtain the value: $A_{\max}(Z=20) = 60$.

Atomic number $Z=28$. Adding 8 more $1f$ -subshell protons to our nucleus, we get the following magic atomic number $Z = 28$ (Fig. 5). Here, according to the proposed equation (4), it is necessary to determine the minimum number of nucleons only by using neutron binding of these protons into groups, in accordance with the sign of the base quantum number, that is, 4 protons each. Therefore, we need to add only 6 neutrons, which will allow us to estimate the total number of neutrons, taking into account the previously populated 14 neutrons, equal to the value $N = 20$, which for this mass number coincides with the known experimental value: $A_{\min}(Z=28) = 48$.

The maximum value of the mass number at the atomic number $Z = 28$ is determined as follows. Having 2 more free places in the $2p$ -subshell ($N_f = 2$), and also taking into account the need for their connection with the protons of the $1p$ -subshell ($N_b = 4$), it is possible to occupy 6 neutrons. Additionally, 6 more neutrons can be populated in $1f$ -subshell. In this case, the total number of neutrons in the nucleus becomes equal to: $N = 52$. Of course, it is possible to completely populate the $1g$ -subshell, which would include 10 more neutrons in the nucleus, but in reality this position remains vacant here for now: $A_{\max}(Z=28) = 80$.

Atomic number $Z=50$. Let's move on to another semi-closed $1g$ -subshell, which is part of the nucleus having atomic number $Z = 50$ (Fig. 6). For this nucleus, the minimum value of neutrons can be specified as $N = 48$ (we will always consider only even values as the number of neutrons). Since we already have 20 neutrons occupied, with this charge number, their number should increase by 28 neutrons. The increase is due to the occupation of 4 binding neutrons inside the $2p$ -subshell, as well as the creation of 12 bonds with $1p$ -protons, since each proton of the $2p$ -subshell contacts two protons belonging to the $1p$ -subshell at once. Therefore, we can add 16 neutrons at once. In addition, we get a bunch of protons of part $1f$ -subshell 4 neutrons and 8 neutrons bind protons of $1g$ -subshell, which together gives us the desired 28 neutrons: $A_{\min}(Z=50) = 98$.

The maximum limit of the number of isotopes for the nucleus in question requires the addition of at least another 38 neutrons. These neutrons will go partially to occupy the $1g$ -subshell (8 neutrons), $2d$ -subshells with a bundle of $1d$ -protons (30 neutrons), 2 neutrons will be located in the cells of the $3s$ -subshell (the cells of the $1h$ -subshell are not populated with neutrons). The total number of neutrons obtained in this case is $N = 92$, which makes it possible to estimate the value of the maximum mass number: $A_{\max}(Z=50) = 142$.

Atomic number $Z=82$. Nuclei with atomic number $Z=82$ (Fig. 7) have an isotope with a minimum number of neutrons equal to $N_{\min}=96$, which requires the addition of 48 more neutrons to perform proton binding. 6 neutrons must be added for $1g$ -subshell protons, 28 neutrons will be required for $2d$ -subshell, 2 neutrons will bind $3s$ -subshell protons and 10 neutrons for $1h$ -subshell: $A_{\min}(Z=82) = 178$.

The maximum number of neutrons in this nucleus is $N_{\max}=138$, therefore, to already existing 82 neutrons included in the deuterons, it is necessary to add another 56 neutrons. We should immediately note that we need to limit ourselves to free cells up to $Z = 112$, and not up to a value of 126 protons, otherwise it is not possible to obtain normal values close to those set in the N - Z diagram. This number of neutrons can be occupied as follows: 10 neutrons will be placed on the $1h$ -subshell, 14 free cells will be populated on the $2f$ -subshell, as well as 28 neutrons will organize the bonds of $2f$ -protons with the $1f$ -subshell and 12 neutrons will be populated in a similar way on the part consisting of 4 protons of the $3p$ -subshell. The obtained additional value of 64 neutrons indicates a slightly increased limit value of the number of neutrons in the isotopes of this nuclide: $A_{\max}(Z=82) = 228$.

Atomic number $Z=112$. At the end of our survey of the spatial structure of the atomic nucleus, we will focus on the nucleus with a charge number $Z = 112$ (Fig. 8). In the case of determining an isotope with a minimum number of neutrons, we need to occupy additionally, relative to the previous nucleus, about 70 neutrons: 8 binding neutrons will be placed on the $1h$ -subshell, 40 neutrons – on the $2f$ -subshell and 16 neutrons on a $3p$ -subshell. The total number of occupied neutrons will be 64 neutrons, which is 6 neutrons less than is known at this point in time: $A_{\min}(Z=112) = 270$.

Now let's move on to determining the isotope with the maximum number of neutrons. Here, as the boundary number of neutrons for our case, we indicate a nucleus having 136 neutrons. The reason for this restriction is the same as in the previous review. The existing limit on the number of isotopes for the nucleus in question requires the addition of at least 62 neutrons. Let's populate neutrons for a nuclear isotope with a charge number $Z = 112$. So 14 neutrons will be placed on the $1i$ -subshell and 30 neutrons will be placed on the $2g$ -subshell. In addition, the part consisting of 6 protons of the $3d$ -subshell will be populated with 18 neutrons. The value of 62 neutrons almost completely coincides with the experimentally obtained result, which allows us to assert the correctness of the chosen approach to determine the maximum value of the mass number of the isotope of the selected nuclide: $A_{max}(Z=112) = 286$.

All the obtained limit values of mass numbers for nuclides of closed and semi-closed subshells in the N-Z diagram were included in the general table upon completion of their survey (Table 2).

Table 2

Limit values of mass numbers for nuclides in the N-Z diagram

Таблица 2

Предельные значения массовых чисел для нуклидов на NP-диаграмме

Nuclide atomic number	Minimum mass number		Maximum mass number	
	Experiment [18]	Computing	Experiment [18]	Computing
1	1	1	7	7 (9)
2	3	3	10	10
8	12	12	28	28
20	34	34	58	60
28	48	48	80	80
50	99	98	139	142
82	178	178	220	228
112	276	270	285	286

A comparative analysis of the experimental and computed data presented in Table 2 shows a fairly good coincidence of most of the limit values indicating the boundaries of the region of existence of atomic nuclei. In a number of data where there is no such coincidence, additional studies may be required to clarify them.

A comparative analysis of the experimental and computed data presented in Table 2 shows a fairly good coincidence of most of the limit values indicating the boundaries of the region of existence of atomic nuclei. In a number of data where there is no such coincidence, additional studies may be required to clarify them.

4. CONCLUSION

The paper develops a new approach for describing the spatial arrangement of nucleons in nuclei, based on the model of nuclear shells. Unlike most of the approaches known from the scientific literature, the method presented by us is applicable to the graphical representation of the atomic nucleus. The computer model of the spatial structure of the atomic nucleus developed on the basis of this method can be considered as a graphical representation of the well-known model of nuclear shells, which is the basis of the modern understanding of the structure of the atomic nucleus. It is shown that the settlement of structural cells of subshells with nucleons of various types occurs in parallel. The inclusion of the atomic nucleus, along with the nucleons, and the deuteron in the consideration of the model made it possible to clearly explain the cause of the appearance of the fine structure of the nucleus. The analysis of the obtained data revealed the features of filling and mutual arrangement of neutron and proton subshells of these nuclei, their relationship with other observed properties is shown: the radius of the nucleus and its asymmetry.

In this paper, the features of the limit values of isotopes in the N-Z diagram are also considered. We have shown that nuclear shells consisting of nucleons, including neutrons and protons, allow us to model the limit values of nuclides as a function of the mass number.

The proposed computer model, in the future, may be suitable for predicting additional magic numbers and studying nuclides far from the region of stable nuclei, as well as for predicting the properties of various processes in poorly studied areas. The approach developed in the work significantly expands the possibilities of studying the behavior of nuclei, for example, the currently actively studied super heavy atoms, and also increases the visibility of their representation. The obtained information of this type will allow for an effective verification of various experimental data and theoretical models.

References

1. Nemirovskii P.E. Contemporary models of the atomic nucleus. – New York: Elsevier, 2013. – 344 p.
2. Rowe D.J., Wood J.L. Fundamentals of nuclear models: foundational models. World Scientific, Singapore, 2010. – 676 p.
3. Goeppert-Mayer M., Jensen J.H.D. Elementary theory of nuclear shell structure. – New York: Wiley, 1955. – 296 p.
4. Eisenberg J.M., Greiner W. Microscopic theory of the nucleus. – New York: Elsevier, 1972. – 519 p.
5. Valentin L. Physique subatomique: noyaux et particules, Vol. 2. – Paris: Hermann, 1982. – 652 p.
6. Migal L.V., Bondarev V.G. Computer visualization of the spatial structure of the electronic atom shell // Research result. Information technologies. – T.7, №1, 2022. – P. 3-18.
7. Bihari G. Geometric models of atomic nuclei // World journal of nuclear science and technology. – 2017, No 7. – P. 206-222.
8. Garai J. Double Tetrahedron structure of the nucleus [Electronic resource]. Access mode: <http://lanl.arxiv.org/abs/nucl-th/0309035>.
9. Cook N.D. Models of the atomic nucleus: unification through a lattice of nucleons. – Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, 2006. – 291 p.
10. Nasser G.A. Body-centred-cubic (BCC) lattice model of nuclear structure [Electronic resource]. Access mode: <https://vixra.org/pdf/1312.0184v1.pdf>
11. Anagnostatos G.S. Cluster approach to atomic nuclei // HNPS Proceedings. – 1994, Vol. 5. – P. 42-56.
12. Gryziński M.A. Collisions between systems of Coulomb particles. I. Small-angle scattering for time-dependent fields / J. Chem. Phys. – 1975, Vol. 62, No. 7. – P. 2610-2619.
13. Ishkhanov B.S., Kapitonov I.M., Yudin N.P. Particles and atomic nuclei. – M.: LKI Publishing House, 2019. – 672 p. (in Russian).
14. Kapitonov I.M. Introduction to the physics of the nucleus and particles. – M.: Fizmatlit, 2010. – 512 p. (in Russian).
15. Angeli I. A consistent set of nuclear RMS charge radii: properties of the radius surface $R(N,Z)$ // Atomic data and nuclear data tables. – 2004, Vol. 87. – P. 185-206.
16. Elton L.R.B. Nuclear sizes. – New York: Oxford Univ. Press, 1961. – 115 p.
17. Stone N.J. Table of nuclear electric quadrupole moments. – Vienna: Vienna International Centre, 2013. – 59 p.
18. National Nuclear Data Center: [Electronic resource]. Access mode: <https://www.nndc.bnl.gov>.
19. Okunev V.S. Investigation of the stability of magical, near-magical and deformed atomic nuclei // Vestnik MSTU, 2013. – № 4(51). – P. 34-55. (in Russian).
20. Boboshin I.N. New magic nuclei and neutron-proton pairing // Nuclear Physics. – 2008, vol.71, No. 7. – P. 1278-1282. (in Russian).

Список литературы

1. Nemirovskii P.E. Contemporary models of the atomic nucleus. – New York: Elsevier, 2013. – 344 p.
2. Rowe D.J., Wood J.L. Fundamentals of nuclear models: foundational models. World Scientific, Singapore, 2010. – 676 p.
3. Goeppert-Mayer M., Jensen J.H.D. Elementary theory of nuclear shell structure. –New York: Wiley, 1955. – 296 c.
4. Eisenberg J.M., Greiner W. Microscopic theory of the nucleus. – New York: Elsevier, 1972. – 519 p.
5. Valentin L. Physique subatomique: noyaux et particules, Vol. 2. – Paris: Hermann, 1982. – 652 p.
6. Migal L.V., Bondarev V.G. Computer visualization of the spatial structure of the electronic atom shell //

Research result. Information technologies. – Т.7, №1, 2022. – P. 3-18.

7. Bihari G. Geometric models of atomic nuclei // World journal of nuclear science and technology. – 2017, No 7. – PP. 206-222.

8. Garai J. Double Tetrahedron structure of the nucleus [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://lanl.arxiv.org/abs/nucl-th/0309035>.

9. Cook N.D. Models of the atomic nucleus: unification through a lattice of nucleons. – Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, 2006. – 291 p.

10. Nasser G.A. Body-centred-cubic (BCC) lattice model of nuclear structure [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vixra.org/pdf/1312.0184v1.pdf>

11. Anagnostatos G.S. Cluster approach to atomic nuclei // HNPS Proceedings, Vol. 5, 1994. – P. 42-56.

12. Gryziński M.A. Collisions between systems of Coulomb particles. I. Small-angle scattering for time-dependent fields / J. Chem. Phys. – 1975, Vol. 62, No. 7. – P. 2610-2619.

13. Ишханов Б.С., Капитонов И.М., Юдин Н.П. Частицы и атомные ядра. – М.: Изд-во ЛКИ, 2019. – 672 с.

14. Капитонов И.М. Введение в физику ядра и частиц. – М.: Физматлит, 2010. – 512 с.

15. Angeli I. A consistent set of nuclear RMS charge radii: properties of the radius surface $R(N,Z)$ // Atomic data and nuclear data tables. – 2004, Vol. 87. – P. 185-206.

16. Elton L.R.B. Nuclear sizes. – New York: Oxford Univ. Press, 1961. – 115 p.

17. Stone N.J. Table of nuclear electric quadrupole moments. – Vienna: Vienna International Centre, 2013. – 59 p.

18. National Nuclear Data Center: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.nndc.bnl.gov>.

19. Окунев В.С. Исследование устойчивости магических, околomagических и деформированных атомных ядер // Вестник МГТУ, 2013. – № 4(51). – С. 34-55.

20. Бобошин И.Н. Новые магические ядра и нейтрон-протонное спаривание // Ядерная Физика. – 2008, Т.71, №7. – С. 1278-1282.

Migal Larisa Vladimirovna, associate professor of information and robotic systems, candidate of physical and mathematical sciences, associate professor

Bondarev Vladimir Georgiyevich, teacher of the CEC of general education disciplines, Candidate of Technical Sciences, associate professor

Мигаль Лариса Владимировна, доцент кафедры информационных и робототехнических систем, кандидат физико-математических наук, доцент

Бондарев Владимир Георгиевич, преподаватель ЦИК общеобразовательных дисциплин, кандидат технических наук, доцент

UDC 621.396.969.3

DOI: 10.18413/2518-1092-2022-7-2-0-2

Ursol D.V.¹
Chernomorets D.A.²
Bolgova E.V.²
Chernomorets A.A.²

OBJECTS DETECTION BASED ON THE SEA SURFACE VIDEO FRAGMENTS CROSS-CORRELATION

¹⁾ Industrial Electronic Systems LLC, 121a Mikhailovskoe shosse, Belgorod, 308000, Russia

²⁾ Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia
e-mail: chernomorets_d@bsu.edu.ru

Abstract

The work is devoted to the development of a method for the objects detecting on an agitated sea surface video based on the analysis of the differences in the variability of the object and the sea surface image fragments on the neighboring frames. The proposed method does not use data about the object size, its shape, brightness, etc. The decision function has been developed that can be used to estimate the variability of a given frames fragment, based on the normalized cross-correlation coefficients values of the corresponding fragments on a video subsequent frames. The decision rule has been developed based on the proposed decision function, in which we use the threshold value (the critical domain boundary) determined at the training stage when analyzing the frames sequence fragments containing only the agitated sea surface image. The efficiency of the developed objects detection method on the agitated sea surface is demonstrated based on computational experiments. The values of the decision function critical domain boundary obtained at the training stage and the corresponding values of the type II error probability at the detection stage are given. The presented computational experiments results demonstrate that the developed method makes it possible to detect the object on video frames with the type II error probability equal to zero.

Keywords: object detection; video recording; agitated sea surface; sequential frames; image fragment distortion; normalized cross-correlation coefficient

For citation: Ursol D.V., Chernomorets D.A., Bolgova E.V., Chernomorets A.A. Objects detection based on the sea surface video fragments cross-correlation // Research result. Information technologies. – T.7, №2, 2022. – P. 19-27. DOI: 10.18413/2518-1092-2022-7-2-0-2

Урсол Д.В.¹
Черноморец Д.А.²
Болгова Е.В.²
Черноморец А.А.²

ОБНАРУЖЕНИЕ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ВЗАИМНОЙ КОРРЕЛЯЦИИ ФРАГМЕНТОВ ВИДЕО КАДРОВ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

¹⁾ ООО «Промышленные электронные системы», ул. Михайловское шоссе 121а, г. Белгород, 308000, Россия

²⁾ Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
ул. Победы д. 85, г. Белгород, 308015, Россия
e-mail: chernomorets_d@bsu.edu.ru

Аннотация

Работа посвящена разработке метода обнаружения объектов на видеозаписи взволнованной морской поверхности на основе анализа различий в изменчивости изображений объекта и фрагментов изображения морской поверхности на соседних кадрах. В предложенном методе не используются данные о размерах объекта, его форме, яркости и др. Разработана решающая функция, которая может быть использована для оценивания изменчивости заданного фрагмента кадра на последующих кадрах видео, на основе значений нормированных коэффициентов взаимной корреляции соответствующих фрагментов. Разработано решающее правило на основе предложенной решающей функции, в котором применяется пороговое значение (граница критической области), определяемое на этапе обучения при анализе фрагментов последовательности кадров, содержащих только изображение взволнованной морской поверхности. Продемонстрирована работоспособность разработанного метода обнаружения объектов на взволнованной морской поверхности на основе вычислительных экспериментов.

Приведены значения границы критической области решающей функции, полученные на этапе обучения, и соответствующие значения вероятности ошибки 2-го рода на этапе обнаружения. Приведенные результаты вычислительных экспериментов демонстрируют, что разработанный метод позволяет обнаружить изображение объекта на кадрах видеозаписи при вероятности ошибки 2-го рода равной нулю.

Ключевые слова: обнаружение объектов; видеозапись; взволнованная морская поверхность; последовательные кадры; искажение фрагмента изображения; нормированный коэффициент взаимной корреляции

Для цитирования: Урсол Д.В., Черноморец Д.А., Болгова Е.В., Черноморец А.А. Обнаружение объектов на основе взаимной корреляции фрагментов видео кадров морской поверхности // Научный результат. Информационные технологии. – Т.7, №2, 2022. – С. 19-27. DOI: 10.18413/2518-1092-2022-7-2-0-2

1. INTRODUCTION

The tasks of detecting various objects in the video frames arise during the development of surveillance, control and management systems in the human activity various fields. For example, the solution of detection tasks is required when creating machine vision systems in industrial production to control production processes, in the transport sector - to monitor the traffic situation, in the field of monitoring the individual territories - to monitor the current situation, in medicine - to analyze the results of surveys, etc. Various fields of the surveillance systems application require the development of various methods for detecting objects in images and video recordings frames, taking into account the detecting objects specific properties, as well as the features of their environment (background).

Methods based on the optical flow calculations [1, 2], as well as the use of the Kalman filter [3] are widely used to detect moving objects. The methods given in [4-6] allow objects to be detected based on the calculation of various similarity measures of the analyzed images fragments. The entropy-based method [7], the method of clustering wavelet coefficients [8], the maximal reference cell approach [9], the detection method for the hyperspectral images [10], the Reed, Mallett and Brennan algorithms [11], the detection method in clutter [12], as well as methods based on the detection and analysis of key, special features in which the variety of detectors and descriptors are used [13] are also used to detect objects. A significant group of detection methods is based on the use of the various types neural networks, for example, [14].

One of the rather difficult tasks of detection on video frames is the objects detection on an agitated sea surface, which is due to the complex structure of the sea surface images on a separate frame, to the significant variability of the sea surface images on neighboring frames, as well as possible movements and distortions of the observed objects. To solve these tasks if there is information about changes in the pixels brightness of the objects and background images, methods based on matched subspace detectors [15, 16] and their various modifications are used [17-19]. A method for detecting small objects floating on an agitated sea surface is given in [20].

It should be noted that one of the significant drawbacks of many known detection methods is the requirement for a priori information about various properties of the object and the background, which are quite difficult to obtain when solving the problem of detecting objects on an agitated sea surface.

The paper proposes a method for detecting objects on an agitated sea surface, which does not require a priori information about the shape, size and other characteristics of the desired objects.

2. THE METHOD

The method for the objects detecting on the agitated sea surface video developed in the work is based on the practical observations results showing that in most cases the object image changes slightly on video neighboring frames, unlike the sea surface video frames containing an images of the different lengths and different propagation directions waves. At the same time, the developed method does not require information about the objects size, shape, their pixels brightness changes frequency on a frames sequence, etc.

Initially, to solve the objects detection problem on the agitated sea surface video frames, we formulate the main hypothesis H_0 : the object image is present in the given frame fragment. Checking the fulfillment of this hypothesis allows you to split the frame fragments into two classes: containing the object image and all the others. It is proposed to use the corresponding fragments cross-correlation coefficients values as the features that allow us to estimate the separate frame fragment belonging to one of these classes.

To test the main hypothesis validity, we developed the following decision function, which is a given fragment variability estimate on the video subsequent frames. This decision function is based on the normalized cross-correlation coefficients analysis for a given frame fragment with the images on subsequent video frames.

To test the above hypothesis validity, we develop the following decision function, which is an estimate of the given fragment variability on subsequent frames of the video. This decision function is based on the normalized cross-correlation coefficients analysis of the given fragment image on the frame with the images on subsequent video frames.

Consider a sequence $S = (S_k)$, $k = 1, 2, \dots, K$, containing K subsequent video frames with $N_1 \times N_2$ pixel dimensions. On the first frame S_1 of the sequence S we will set a fragment $F = (f_{ij})$, $i_1 = 1, 2, \dots, M_1$, $i_2 = 1, 2, \dots, M_2$, with $M_1 \times M_2$ pixel dimensions:

$$N_1 > M_1, \quad N_2 > M_2. \quad (1)$$

For each next frame S_k , $k = 2, 3, \dots, K$, we calculate the maximum normalized cross-correlation coefficients values σ_k of this frame S_k and a given fragment F based on the following ratio [21-23]:

$$\sigma_k = \max_{j_1, j_2} \frac{\sum_{i=1}^{M_1} \sum_{j=1}^{M_2} (s_{k,i+j_1-1,j+j_2-1} - a_{k,j_1 j_2})(f_{ij} - a_F)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{M_1} \sum_{j=1}^{M_2} (s_{k,i+j_1-1,j+j_2-1} - a_{k,j_1 j_2})^2 \sum_{i=1}^{M_1} \sum_{j=1}^{M_2} (f_{ij} - a_F)^2}}, \quad (2)$$

$$j_1 = 1, 2, \dots, N_1 - M_1 + 1, \quad j_2 = 1, 2, \dots, N_2 - M_2 + 1,$$

$$k = 2, 3, \dots, K,$$

where $S_k = (s_{k,ij})$ – the frame S_k , $k = 2, 3, \dots, K$, with $N_1 \times N_2$ pixel dimensions,

$a_{k,j_1 j_2}$ – the average pixel value of the frame fragment S_k , corresponding to different values j_1 and j_2 , $j_1 = 1, 2, \dots, N_1 - M_1 + 1$, $j_2 = 1, 2, \dots, N_2 - M_2 + 1$,

$$a_{k,j_1 j_2} = \frac{1}{M_1 M_2} \sum_{i=1}^{M_1} \sum_{j=1}^{M_2} s_{k,i+j_1-1,j+j_2-1}, \quad (3)$$

$F = (f_{ij})$ – the frame fragment F with $M_1 \times M_2$ pixel dimensions, corresponding to a given frame fragment S_1 ,

a_F – the average value of frame fragment F pixels:

$$a_F = \frac{1}{M_1 M_2} \sum_{i=1}^{M_1} \sum_{j=1}^{M_2} f_{ij}. \quad (4)$$

The coefficients (2) values change in the interval $[-1, 1]$.

The decision function has the form:

$$W(F) = \sum_{k=2}^K \sigma_k \theta(\sigma_k - T_\sigma), \quad (5)$$

where $\theta(\sigma_k - T_\sigma)$ – the Heaviside function [24] having the next form:

$$\theta(\sigma_k - T_\sigma) = \begin{cases} 1, & \sigma_k \geq T_\sigma, \\ 0, & \sigma_k < T_\sigma. \end{cases} \quad (6)$$

T_σ – a threshold value that characterizes the sea surface images variability, for example,

$$T_\sigma = 0.85. \quad (7)$$

The threshold T_σ changing allows you to change the developed method sensitivity when analyzing of the sea surface images with the different degree of sea agitation.

The decisive rule which allow you to form the decision function $W(F)$ (5) critical domain, is proposed in the following form:

$$\sum_{k=2}^K \sigma_k \theta(\sigma_k - T_\sigma) < T_w, \quad (8)$$

where T_w – where is the threshold value (the critical domain boundary), which value is determined at the training stage when analyzing the frames sequence fragments that do not contain an object image, for example, $T_w = 0.91$.

Thus, we have that the interval $[0, T_w[$ is the decision function $W(F)$ (5) critical domain in which the main hypothesis H_0 is rejected; the interval $[T_w, 1]$ is the decision function $W(F)$ values domain when the main hypothesis (a given fragment contains an object image) is accepted.

At the training stage, it is proposed to choose the decision function $W(\tilde{F})$ (5) maximum value as a threshold value T_w , obtained by analyzing fragments $\tilde{F}$ that do not contain an object image and are located in a given training area L on a frames sequence,

$$T_w = \max_{\tilde{F} \subset L} W(\tilde{F}). \quad (9)$$

To reduce the false selections amount of the sea surface fragments as containing an object image, it is proposed to use the following modified threshold value T_w :

$$T_w = \max_{\tilde{F} \subset L} W(\tilde{F})(1 + \varepsilon), \quad (10)$$

where ε – a small positive number, for example,

$$\varepsilon = 0.01. \quad (11)$$

3. THE COMPUTATIONAL EXPERIMENTS

The computational experiments were carried out to evaluate the developed method operability for selecting the frames fragments containing an object image. The study was carried out at different values of the fragment dimension, the threshold value T_σ (7) which characterize the sea surface images variability, as well as at different amount K of analyzed sequential frames (the frames amount in the block).

For conducting the computational experiments we selected the Video1, obtained from open Internet sources, which first frame is shown in Figure 1. The Video1 contains images of a fairly fast moving boat on a relatively calm sea surface.

Figure 1 shows the learning and detection areas marked in the first frame of the Video 1.

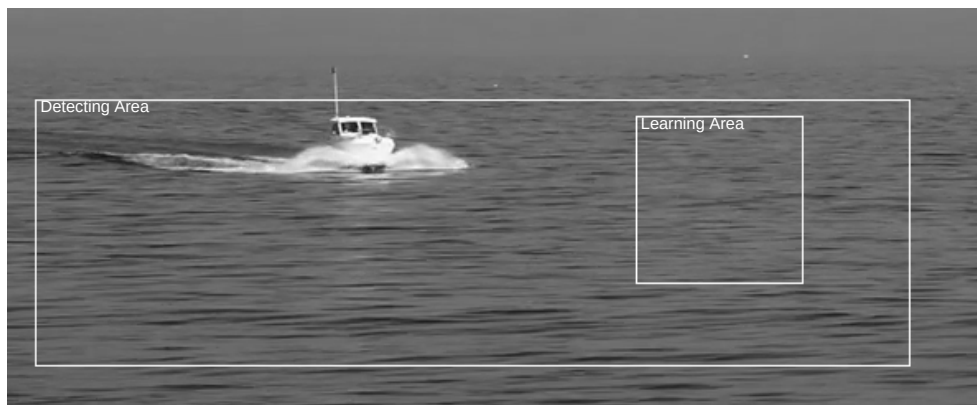


Fig. 1. The learning and detection areas (the first frame of the Video 1)

Рис. 1. Области обучения и обнаружения (первый кадр Video1)

Table 1 shows the critical domain boundary values T_w (threshold value) obtained at the training stage when analyzing fragments of the Video1 frames in the training area shown in Figure 1, with the various developed method parameters: such as the frames amount K in the block, the analyzed fragments dimension $M_1 = M_2$ and the threshold value T_σ (7).

Table 1

The critical domain boundary T_w , the Video1 frames

Таблица 1

Граница T_w критической области, кадры видео Video1

T_σ		0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95
M_1							
The frames amount in the block, $K = 5$							
5		0.9954	0.9954	0.9954	0.9954	0.9954	0.9954
10		0.9714	0.9714	0.9714	0.9714	0.9714	0.9714
15		0.9411	0.9411	0.9411	0.9411	0.9411	0.4835
20		0.9236	0.9236	0.9236	0.9236	0.7061	0.2462
The frames amount in the block, $K = 10$							
5		0.9863	0.9863	0.9863	0.9863	0.9863	0.9863
10		0.9153	0.9153	0.9153	0.9153	0.7175	0.4317
15		0.8913	0.8913	0.8913	0.6133	0.5188	0.2149
20		0.8347	0.7548	0.5809	0.4105	0.3138	0.1094
The frames amount in the block, $K = 15$							
5		0.9701	0.9701	0.9701	0.9701	0.9701	0.9014
10		0.8944	0.8944	0.8383	0.7779	0.4612	0.2776
15		0.6746	0.5730	0.5730	0.3943	0.3335	0.1381
20		0.6951	0.5390	0.3734	0.2639	0.2017	0.0703

In Table 1, the critical domain boundary values T_w are marked in gray, which do not change when the threshold value T_σ decreases (7).

To estimate the developed method operability, it is advisable to use the type II error probability when the sea surface fragment is selected as an object image and not to estimate the type I error probability when a separate fragment containing an object image is not selected), since for solving the problem considering in this paper there is no need to identify the location of all object fragments, but it is sufficient to indicate the presence of the separate object fragments on the frame.

The type II error probability is calculated based on the following ratio:

$$P_2 = \frac{N_{fd}}{N_s}, \quad (12)$$

where N_{fd} – is the selected fragments amount that do not contain an object image (falsely selected), N_s – is the fragments amount in the detection area that do not contain an object image (fragments of the sea surface).

Table 2 shows the type II error probability values obtained at the detection stage when analyzing the Video1 frames fragments in the detection area shown in Figure 1, in accordance with the developed method parameters values given in Table 1. When conducting these computational experiments the ε value (11) was chosen to be 0.01 to modify the critical domain boundary value (10).

Table 2 does not contain the values corresponding to the developed method parameters given in Table 1, with which the fragments containing the object images were not selected. This result is caused, first of all, by the critical domain boundary value being close to unity values (see Table 1), which were obtained as a result of the presence in the training area of the small sea surface fragments that practically do not change from frame to frame.

Table 2

The type II error probability ($\varepsilon = 0.01$), the Video1 frames

Таблица 2

Вероятность ошибки 2-го рода ($\varepsilon = 0,01$), кадры видео Video1

$M_1 \backslash T_\sigma$	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95
The frames amount in the block, $K = 5$						
10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
15	0.0330	0.0330	0.0330	0.0330	0.0302	0.0440
20	0.0316	0.0316	0.0316	0.0316	0.0316	0.0474
The frames amount in the block, $K = 10$						
10	0.0207	0.0207	0.0207	0.0181	0.0155	0.0078
15	0.0165	0.0165	0.0165	0.0275	0.0137	0.0440
20	0.0053	0.0158	0.0211	0.0526	0.0316	0.0474
The frames amount in the block, $K = 15$						
5	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0063
10	0.0155	0.0142	0.0310	0.0181	0.0259	0.0103
15	0.0934	0.0824	0.0330	0.0357	0.0137	0.0440
20	0.0105	0.0105	0.0263	0.0526	0.0316	0.0474

It should be noted, analyzing the data given in Table 2, that with the fragments dimension $M_1 = 10$ and the frames amount in the block $K = 5$, the developed method made it possible to detect the object fragments with the type II error probability $P_2 = 0$. The remaining values of the type II error probability in Table 2 correspond to a certain amount of correctly selected fragments.

Table 3 shows the type II error probability values obtained at the detection stage when analyzing the Video1 frames fragments in the detection area shown in Figure 1, in accordance with the developed method parameters values given in Table 1. When conducting these computational experiments the ε value (11) was chosen to be 0.05 to modify the critical domain boundary value (10). Table 3 does not contain the values corresponding to the developed method parameters given in Table 1, with which the fragments containing the object images were not selected.

Table 3

The type II error probability ($\varepsilon = 0.05$), the Video1 frames

Таблица 3

Вероятность ошибки 2-го рода ($\varepsilon = 0,05$), кадры видео Video1

$M_1 \backslash T_\sigma$	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95
The frames amount in the block, $K = 5$						
15	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0192
20	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0211	0.0474
The frames amount in the block, $K = 10$						
10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0103	0.0078
15	0.0027	0.0027	0.0027	0.0247	0.0027	0.0192
20	0.0000	0.0053	0.0105	0.0368	0.0211	0.0474
The frames amount in the block, $K = 15$						
10	0.0000	0.0000	0.0194	0.0142	0.0246	0.0103
15	0.0797	0.0687	0.0302	0.0330	0.0027	0.0192
20	0.0105	0.0105	0.0105	0.0368	0.0211	0.0474

Note that all the type II error probability values, given in Table 3, are obtained in the presence of correctly selected object fragments.

Thus, the data given in Tables 1 and 2 demonstrate that the developed method makes it possible to select frame fragments containing the object image with the type II error probability $P_2 = 0$.

It is assumed that when analyzing videos containing an image of a more agitated sea surface than on Video1, the type II error probability will be zero or have lower values than in Tables 2 and 3, with various parameters of the developed method.

As an example of detecting the object fragments with the type II error probability $P_2 = 0$, the Figure 2 shows in white the fragments which are classified as fragments containing an object image based on the developed method with the following parameters:

- frames amount in a block, $K = 10$,
- dimension of the analyzed fragments, $M_1 = M_2 = 10$ pixel,
- threshold value characterizing the variability of sea surface images, $T_\sigma = 0.85$,
- the ε value (11) used to modify the critical domain boundary value (10), $\varepsilon = 0.05$.



Fig. 2. Fragments selected as containing an object image, when $K = 10$, $M_1 = M_2 = 10$, $T_\sigma = 0.85$, $\varepsilon = 0.05$

Рис. 2. Фрагменты, выделенные как содержащие изображение объекта, при $K = 10$, $M_1 = M_2 = 10$, $T_\sigma = 0.85$, $\varepsilon = 0.05$

Figure 2 shows that the fragments containing the image of the boat swirl are attributed to the object. Since these fragments characterize the presence of an object in the image, it can be assumed that with the specified parameters of the method in Figure 2, only fragments containing the object image are selected.

Thus, the results of computational experiments show that the developed method for detecting the objects on the agitated sea surface allows to select fragments containing object images, and the developed method does not allow false selection of fragments that do not contain an object with certain values of the method parameters.

CONCLUSIONS

The method for the objects detecting on an agitated sea surface video based on the observation that in neighboring video frames the object image often changes less compared to fragments of the sea surface image is proposed in this work. In the proposed method, to detect an object, data about the object size, its shape, changes in its brightness on frames, etc. are not required.

The main hypothesis is formulated in the paper: the object image is present in a given frame fragment, to verify the implementation of which the set of the frame fragments is divided into two classes based on the analysis of the features values obtained as a result of calculating the cross-correlation coefficients values of the corresponding fragments on the video subsequent frames. A corresponding decision function has been developed that can be used to estimate the variability of a given fragment on the subsequent video frames.

A decision rule has been developed based on the proposed decision function, in which a threshold value (the critical domain boundary) is applied, determined at the training stage when analyzing the frames sequence fragments containing only the agitated sea surface image.

The efficiency of the developed objects detection method on the agitated sea surface is demonstrated based on computational experiments. The analyzed video contains images of a fairly fast moving boat on a relatively calm sea surface. Computational experiments were carried out at various values of the developed method parameters. The values of the decision function critical domain boundary obtained at the training stage and the corresponding values of the type II error probability at the detection stage are given. The type I error probability were not evaluated in the work, since in the problem under consideration it is sufficient to detect several separate object fragments on an agitated sea surface video frame. The presented computational experiments results demonstrate that the developed method makes it possible to detect the object on video frames with the type II error probability equal to zero.

References

1. Y. Ahmine, G. Caron, El.M. Mouaddib, F. Chouireb. 2019. Adaptive Lucas-Kanade tracking. Image and Vision Computing 88(9).
2. N. Wang, M. Luo, X. Luo. 2015. Multi-object Tracking In The Overlapping Area Based on Optical Flows. 2015 International Industrial Informatics and Computer Engineering Conference.
3. Sudipta Roy, Anirban Mitra. 2017. Moving Object Detection and Segmentation using Background Subtraction by Kalman Filter. Indian Journal of Science and Technology. 10(19):1 11.
4. R. Kerekes and B. V. Vijaya Kumar. 2009. Enhanced video-based target detection using multiframe correlation filtering. IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst. AES-45(1), 289–307.
5. A. Margalit, I. Reed, and R. Gagliardi. 1985. Adaptive optical target detection using correlated images. IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst. AES-21(3), 394–405, (1985).
6. K. Briechele, U.D. Hanebeck. 2001. Template matching using fast normalized cross correlation // Proc. SPIE. Vol. 4387. Optical Pattern Recognition. XII. P. 95 - 103.
7. J. Tang et al. 2009. On detection performance of MIMO radar: a relative entropy-based study. IEEE Signal Process. Lett. 16(3), 184–187.
8. A. Onur Karali, O.E. Okman, and T. Aytag. 2011. Adaptive image enhancement based on clustering of wavelet coefficients for infrared sea surveillance systems. Infrared Phys. Technol. 54, 382–394.
9. R. Zhang et al. 2013. Constant false alarm rate detector based on the maximal reference cell. Digital Signal Process. 23(6), 1974–1988.
10. D. Manolakis and G. Shaw. 2002. Detection algorithms for hyperspectral imaging applications. IEEE

Sign. Proc. Mag. 19(1), 29–43.

11. I.S. Reed, J.D. Mallet, and L.E. Brennan. 1974. Rapid convergence rate in adaptive arrays. IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., vol. AES-10, no. 1, pp. 853–863, Nov.

12. J. Chen and I. Reed. 1987. A detection algorithm for optical targets in clutter. IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst. AES-23(1), 46–59.

13. H. Bay, A. Ess, L.V. Gool, T. Tuytelaars, 2008. SURF: speed up robust features. Computer Vision and Image Understanding (CVIU), Vol.110, No.3, pp. 346-359

14. C. Szegedy, A. Toshev, D. Erhan. 2013. Deep Neural Networks for object detection. Advances in Neural Information Processing Systems. 26.

15. L. Scharf. 1991. Statistical Signal processing: Detection, Estimation and Time Series Analysis. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts.

16. M. Greco, F. Fini, A. Farina, and J.B. Billingsley. 2001. Validation of windblown radar ground clutter spectral shape. IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., vol.37, no.2, pp.538 547.

17. V. Golikov, O. Lebedeva. 2013. Adaptive Detection of Subpixel Targets With Hypothesis Dependent Background Power. Signal Processing Letters, IEEE 20(8):751-754.

18. V. Golikov, O. Lebedeva, A. Castillejos-Moreno, and V. Ponomaryov. 2011. Asymptotically optimum quadratic detection on the case of subpixel targets. IEICE Trans. Fund., vol. E94-A, no. 9, pp. 1786–1792, Sep.

19. V. Golikov, M.A. Rodriguez-Blanco, O. Lebedeva. 2016. Robust multipixel matched subspace detection with signal-dependent background power. Journal of Applied Remote Sensing. 10 (1):015006.

20. A. Borghgraef et al. 2010. An evaluation of pixel-based methods for the detection of floating objects on the sea surface,” EURASIP J. Adv. Signal Process. 2010 (1), 978451 (2010).

21. J.P. Lewis. 1995. Fast Normalized Cross-Correlation. Industrial Light & Magic.

22. R.M. Haralick, S.G. Linda, 1992. Computer and Robot Vision, Volume II, Addison-Wesley.

23. D.A. Chernomorets, V. Golikov, T.N. Balabanova, E.I. Prokhorenko, E.V. Bolgova, A.A. Chernomorets. Correlation Properties of Sea Surface Images on Video Stream Frames. 2021. International Journal of Nonlinear Analysis and Applications, DOI: 10.22075/IJNAA.2021.25012.2883. https://ijnna.semnan.ac.ir/article_5689.html.

24. Davies, Brian (2002). Integral Transforms and their Applications (3rd ed.). Springer. 368.

Ursol Denis Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences, Software Engineer

Chernomorets Darya Andreevna, postgraduate student of the Department of Information and Telecommunications Systems and Technologies

Bolgova Evgeniya Vitalievna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies

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

Урсол Денис Владимирович, кандидат технических наук, инженер-программист

Черноморец Дарья Андреевна, аспирант кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий

Болгова Евгения Витальевна, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

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

УДК 004.056

DOI: 10.18413/2518-1092-2022-7-2-0-3

Кузьминых Е.С.
Маслова М.А.

**АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ МОБИЛЬНЫХ УГРОЗ
И СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ОТ ВИРУСОВ**

Севастопольский государственный университет, ул. Университетская, д. 33, г. Севастополь, 299053, Россия

e-mail: egor2014ru@mail.ru, mashechka-81@mail.ru

Аннотация

В век расцвета информационных технологий и развития функциональных возможностей мобильных телефонов человек начинает больше пользоваться телефоном, ведь это очень удобно, к тому же телефоны в последнее время становятся всё мощнее и мощнее. Но не стоит забывать про злоумышленников, которые начинают всё сильнее охотиться за данными пользователей на телефонах, ведь получить доступ к мобильнику гораздо легче, чем к хорошо защищённому и сложно оборудованному компьютеру, потому что мало кто пользуется специальными методами по защите своего телефона от потенциальных угроз. Если брать во внимание новые уязвимости, которые появляются после каждого обновления, что приводит к появлению угроз «нулевого дня», то бороться с такими угрозами становится невозможно для рядового пользователя. В данной статье будут рассмотрены основные мобильные угрозы, как с ними бороться, что делать, если все же угроза наступила и ваше мобильное устройство в опасности, так же произведена аналитика развития и актуальности мобильных вирусных ПО.

Ключевые слова: мобильные угрозы; вирусы; вирусное программное обеспечение (ВПО); защита от вируса; безопасность; защита мобильного телефона; антивирусы

Для цитирования: Кузьминых Е.С., Маслова М.А. Анализ основных мобильных угроз и способы защиты от вирусов // Научный результат. Информационные технологии. – Т.7, №2, 2022. – С. 28-34. DOI: 10.18413/2518-1092-2022-7-2-0-3

Kuzminykh E.S.
Maslova M.A.

**ANALYSIS OF THE MAIN MOBILE THREATS
AND WAYS TO PROTECT AGAINST VIRUSES**

Sevastopol state University, 33 Universitetskaya St., Sevastopol, 299053, Russia

e-mail: egor2014ru@mail.ru, mashechka-81@mail.ru

Abstract

In the age of the heyday of information technology and the development of the functionality of mobile phones, people are starting to use the phone more, because it is very convenient, besides phones have recently become more and more powerful. But do not forget about intruders who are starting to hunt more and more for user data on phones, because it is much easier to get access to a mobile phone than to a well-protected and complexly equipped computer, because few people use special methods to protect their phone from potential threats. If we take into account the new vulnerabilities that appear after each update, which leads to the emergence of "zero-day" threats, then it becomes impossible for an ordinary user to deal with such threats. This article will discuss the main mobile threats, how to deal with them, what to do if the threat has come and your mobile device is in danger, as well as the analysis of the development and relevance of mobile virus software.

Keywords: mobile threats; viruses; virus software (VPO); virus protection; security; mobile phone protection; antiviruses

For citation: Kuzminykh E.S., Maslova M.A. Analysis of the main mobile threats and ways to protect against viruses // Research result. Information technologies. – T.7, №2, 2022. – P. 28-34. DOI: 10.18413/2518-1092-2022-7-2-0-3

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия функции мобильных телефонов значительно прогрессируют. Мобильные телефоны уже не отстают от возможностей компьютеров. Нынешнее программное обеспечение мобильных телефонов вполне способно выполнять такие же действия, как и компьютер. Если сравнивать мобильный телефон с персональным компьютером (ПК), то есть конечно минусы – это размер экрана, но на фоне плюсов он совсем не значительный, т.к. в нем можно увеличивать размер шрифта, приближать объекты и всё же мобильник не такой мощный, в отличии от компьютера. Зато плюсов очень много, а именно: автономность работы; удобность в использовании (телефон всегда находится у человека, здесь его минус в маленьком размере, становится плюсом, т.к. он занимает мало места и помещается в карман и благодаря этому им можно пользоваться где угодно от дома до работы и отдыха на природе); звонки можно осуществлять в любой момент с любой точки доступа (при наличии мобильной связи), выполнение редактирования файлов word, excel, редактирование видео и фото. Неотъемлемой частью являются развлечение и отдых - просмотр фильмов и видео, возможность играть в игры, ну а если необходимо найти необходимую информацию, воспользовавшись мобильным интернетом, голосовым помощником и найти интересующую информацию очень быстро.

Все эти модификации и улучшения мобильных телефонов породило хакеров «расшевелиться» и придумывать различные виды вирусных программ для них. Всё же с большинством компьютерных вирусов мы уже немного знакомы, а вирусы на мобильных телефонах еще остаются для многих людей чем-то новым, непонятным и незнакомым. Если на компьютере почти каждый пользователь может использовать даже самый простой антивирус для даже слабой защиты компьютера, то на телефонах очень мало кто пользуется антивирусами. Мобильные вирусы «поймать» на телефон не так уж и легко, но возможно. Проведем анализ существующих вирусов, существующие угрозы и способы их распространения, а также защита от них [1].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

История развития вирусов для мобильных телефонов началась не так давно, но набирает стремительные обороты. Первым мобильным вирусом в 2004 году был Cabir, работавший на ОС Symbain, который был на телефонах Nokia, в то время такие телефоны были редкостью, поэтому вирус не получил сильной огласки. Так как это был первый вирус в истории, он не мог многого, он только распространялся посредством передачи себя через Bluetooth на другие телефоны с нагрузкой их на центральный процессор, что быстро разряжало их. Теперь же вирусы стали более «умными» и «вредными», рассмотрим основные из них [10]:

- Adware и кликеры. Иногда для данного вида угроз используется термин «Madware» (Mobile Adware). Основная цель этого класса вредоносного программного обеспечения (ВПО) – показ пользователю нерелевантной рекламы и генерирование искусственных переходов на сайты рекламодателей. С помощью «Madware» злоумышленники зарабатывают «клики» и демонстрируют оплачивающим их компаниям иллюзию интереса пользователей.

- Spyware – ПО, осуществляющее кражу персональных данных или слежку за своим носителем. Фактически, мобильное устройство может превратиться в полноценный «жучок», передавая злоумышленникам данные о сетевой активности, геолокации, истории перемещений, а также фото и видеoinформацию, данные о покупках, кредитных картах и др.

- Дроппер – ВПО, целью которого является скачивание другого вредоносного ПО.

- Вирус – ПО, которое наносит явный вред, например, выводит из строя конкретное приложение или одну из функций устройства.

- Бот – агент бот-сетей, ВПО, которое по команде C&C-сервера осуществляет требуемую злоумышленнику сетевую активность [13].

Чтобы не стать жертвой злоумышленника, не обязательно знать каждый тип вируса, достаточно иметь поверхностные знания, что такое ВПО [4]. Самое главное, пожалуй, это знать, где вас может «подкараулить» вирус и как от него избавиться, если вы поняли, что ваш телефон даёт сбой.

Выделим основные источники угроз:

- установка приложений из неофициальных источников (кряки, взломы),
- получение SMS, или письма на почту с вредоносной ссылкой/приложением,
- социальная инженерия, а именно звонки от операторов с целью «выудить» у вас конфиденциальную информацию, или просьба подключиться к удалённому доступу, после чего злоумышленник сможет сделать всё, что угодно с компьютером и его содержимым.

Рассмотрев «предка» всех вирусов, основные виды ВПО, каналы их распространения и в кульминации необходимо понять, как же бороться с этими злосчастными вирусами.

Если вы хотите добиться максимальной защиты своего мобильного телефона, то необходимо выполнять следующие основные методы:

- одно из главных условий, необходимо установить на свое устройство антивирус. Желательно, чтоб он был не самый ресурсно-затратный, но и не самый простой (проанализировать их и выбрать удобный для вас можно в топе лучших антивирусов для мобильных телефонов);
- если у вас присутствуют важные для вас данные, тогда нужно их шифровать, даже если это обычный текст, или целые папки, ведь при взломе вашего телефона злоумышленнику будет сложно расшифровать их, или скорее всего невозможно;
- необходимо защищать сетевой трафик, пользоваться VPN, или специальными корпоративными шлюзами, фильтрующими и защищающими трафик;
- своевременно обновлять свою операционную систему, обновлять все приложения;
- запретить телефону устанавливать приложения без вашего ведома, а также запретить выполнение других важных действий;
- установить двухфакторную аутентификацию на важные для вас приложения;
- настроить очистку данных на устройстве при попытке взлома методом удалённого ввода команды, или же после нескольких неудачных попыток входа в систему [12].

Что делать если вас всё же взломали, и злоумышленник уже имеет доступ к вашему телефону? Во-первых, главное не паникуйте, скорее всего злоумышленник получил ваши данные и не имеет удалённого доступа к вашему телефону, это значит, что он просмотрит ваши данные через какое-то время и у вас есть время на смену всех паролей и очистку телефона. А если хакер всё-таки получил удалённый доступ к телефону, то вам ничто не мешает просто его выключить и повторить прошлые шаги [11].

Вирус RAT также один из применяемых вирусов заражения телефона RAT (Remote Access Trojan), через APK (Android Package), установив их в браузер, или через Google Play. [2]

Такие вирусы могут иметь возможности:

- «склеивание» вирусов и готовых приложений;
- создание зараженных приложений с невидимыми иконками;
- маскировка вируса под иконкой готового приложения;
- запуск вируса в текущей сессии или после перезагрузки устройства

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

История развития вирусного ПО в сфере мобильных телефонов довольно обширна, рассмотрим статистику, относящуюся к истории их развития, как увеличивалось количество известных семейств мобильных вирусов (рис. 1).

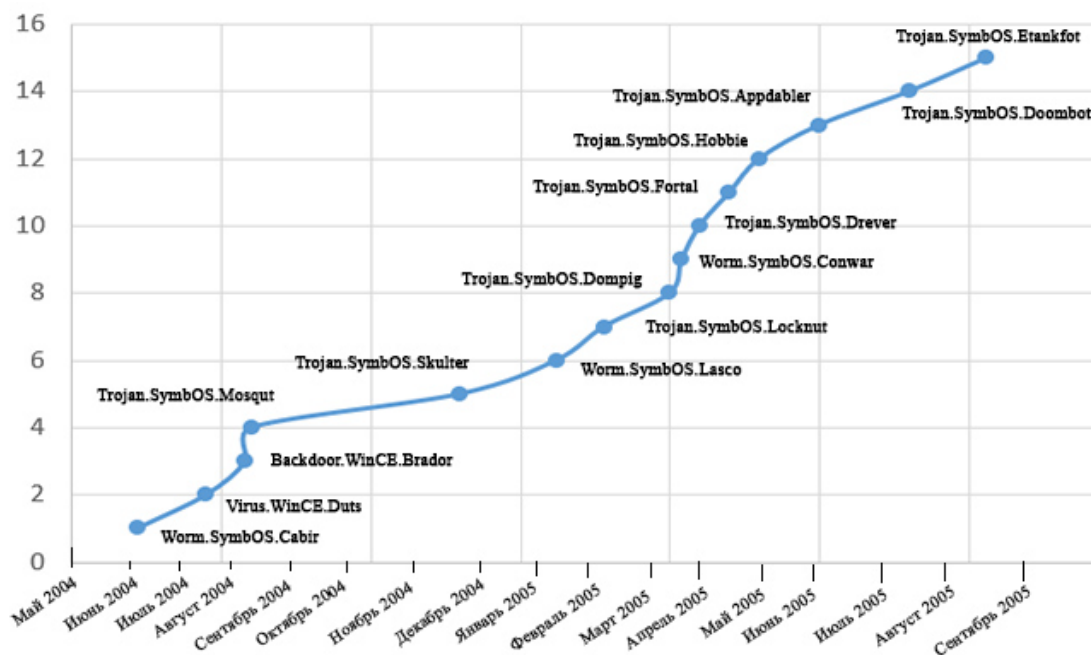


Рис. 1. Увеличение количества известных семейств мобильных вирусов [5]

Fig. 1. An increase in the number of known families of mobile viruses [5]

Вернёмся на 20 лет назад и попытаемся понять, когда же вирусное ПО получило свою огласку и стало настолько масштабно распространяться, что мировые компании обратили своё внимание на них и начали предпринимать специальные действия для борьбы с ними. К примеру «Лаборатория Касперского» является крупнейшей компанией, предоставляющей антивирусные услуги в Российской Федерации, они каждый год публикуют статистику по активности ВПО в РФ и аналитику на следующий год. Произведём сравнение опубликованных диаграмм далее.

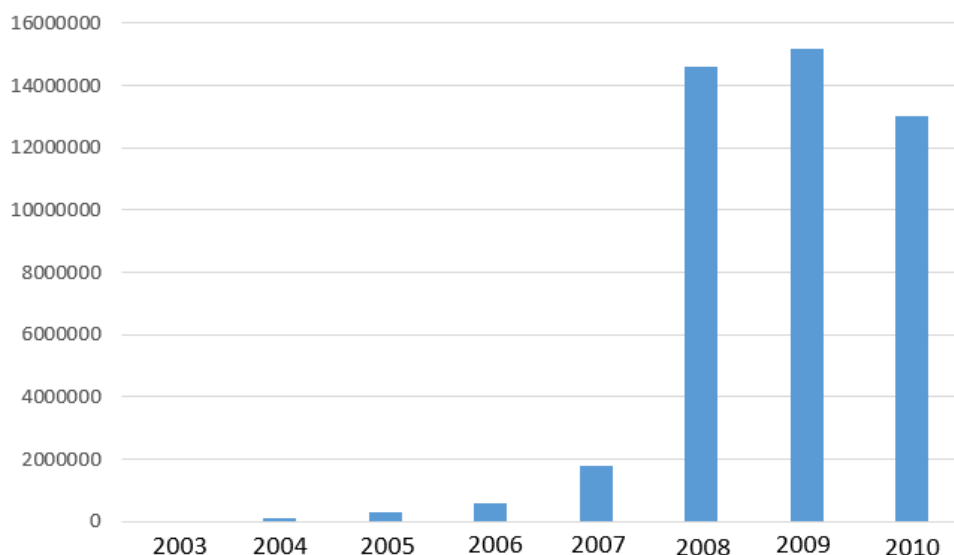


Рис. 2. Число новых вредоносных программ [8]

Fig. 2. Number of new malware [8]

Проанализировав данный график можно понять, что до 2008 года хакеры проводили так называемую «разведку», что же могут ВПО и как сложно их создать и поняв всю суть, в 2008 году появился громадный наплыв вирусов на мобильные устройства пользователей, что повергло всех в шок, ведь никто не был готов к такому развитию. Начиная с 2008 года к мобильным вирусам

перестали относиться, как к чему-то незначающему и начали серьёзно относиться к данной проблеме и постоянно искать способы уничтожения и предотвращения их появления.

После 2010 года пошёл небольшой спад, но не на долго, уже в 2011 году начали выпускать улучшения старым вирусами, что дало новый толчок в сфере мобильных ВПО и уже в 2012 году появился большой наплыв уже модифицированных вирусов. Статистика обнаружения модифицированных ВПО в 2011-2012 годах по кварталам (К) (рис. 3).

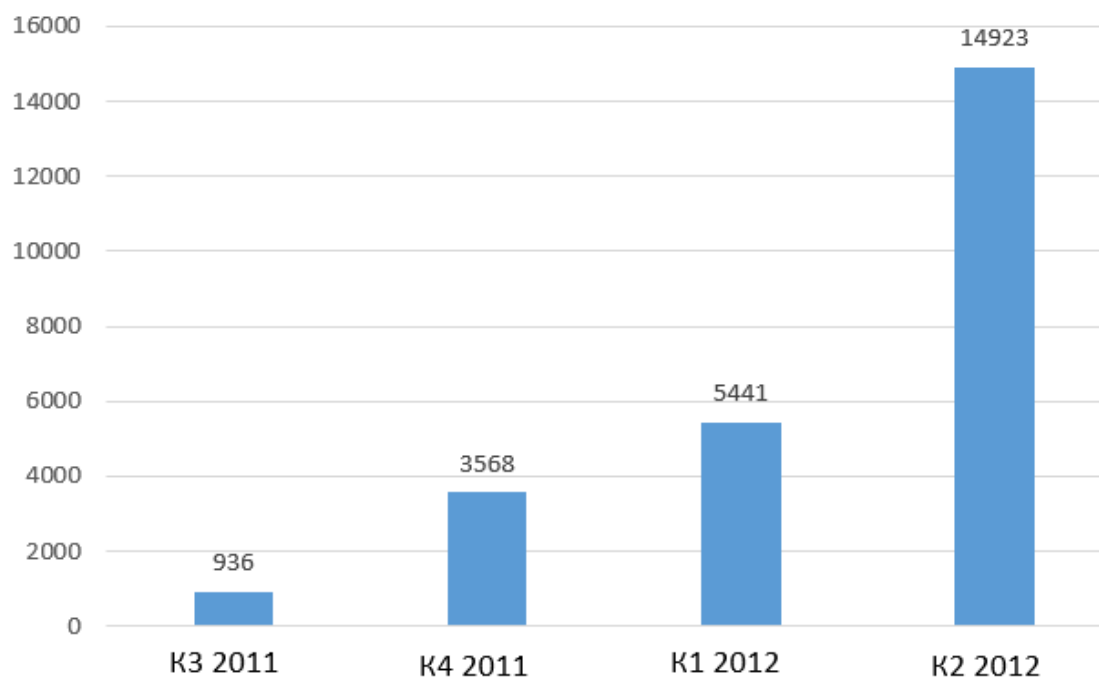


Рис. 3. Количество обнаруженных модификаций ВПО в 2011-2012 годах [7]

Fig. 3. Number of detected malware modifications in 2011-2012 [7]

В заключении далее предоставлен график, показывающий насколько спало количество появления ВПО в настоящее время. Всё довольно просто, пользователи стали информационно образованны, большинство из них теперь знает, как не попасться в «капкан», так же и антивирусы стали более умными, некоторые из них вполне способны справиться с вирусами «нулевого дня». В пример можно привести самый известный антивирус в РФ – Kaspersky, он нѐм, казалось бы, слышали все, в организации работают профессионалы своего дела, антивирус постоянно обновляется, качественно справляется со всеми вирусами и способен бороться с вирусами «нулевого дня». Версия Kaspersky EDR более полезна для компаний, данная версия помогает сотрудникам компании бороться с большинством угроз, влияющих на работу организации (рис 4).

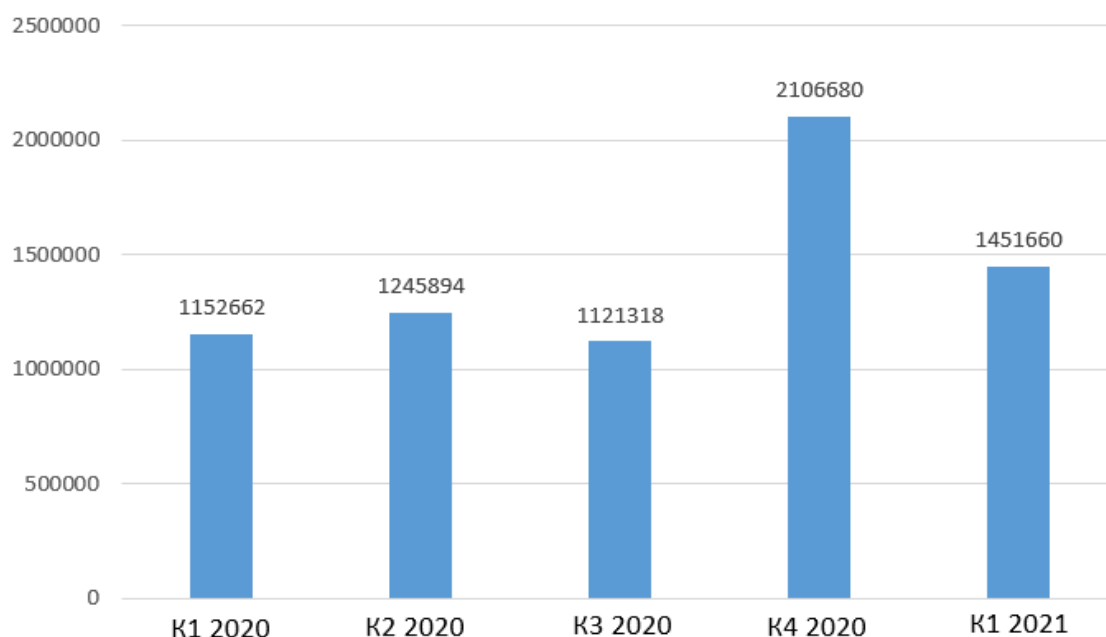


Рис. 4. Количество обнаруженных ВПО в 2020-2021 годах [6]

Fig. 4. Number of malware detected in 2020-2021 [6]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из приведённых данных становится понятно, как появились ВПО, что они могут сделать с мобильным телефоном, насколько они опасны. Были проанализированы и приведён список основных ВПО, список основных мобильных угроз и рекомендации по борьбе с ними если пользователь уже попал в «капкан». Если постоянно мониторить рынок, использовать основные способы защиты, устанавливать новые антивирусы и программы защиты, то можно защитить свой мобильный телефон на 99,9%. Полной защиты добиться практически невозможно, так как выпускаются постоянно не только новые защиты, но и новые вирусы. Если вы обычный пользователь, то вряд ли будете вызывать у хакера большой интерес, поэтому вполне достаточно будет установить обычную среднюю защиту, чтобы ваши данные были в безопасности и соблюдать основные правила пользования мобильным телефоном.

Если проанализировать все графики, приведённые в статье, и посмотреть статистику вирусов для персональных компьютеров, будет видно, что история с компьютерами повторилась, также никто не был готов к такому громадному наплыву ВПО. Оказалось всё довольно просто, хакеры нашли достаточно уязвимостей, подготовились, провели «разведку» и отправили на пользователей волну вирусов, когда к этому были плохо готовы, в последствии конечно же с ними стали усердно бороться и вирусов стало гораздо меньше.

Подводя итоги, можно выделить, чтобы оставаться в безопасности, не стоит заходить на сайты, вызывающие подозрения, не качать никакие файлы с пиратских сайтов, ну и конечно же соблюдать шаги по обеспечению безопасности своего мобильного, перечисленные в данной статье и тогда никто не украдёт пароль от вашей карточки, или социальной сети.

Список литературы

1. Исследование уязвимости мобильных устройств систем Apple и Google / Михайлов Д.М., Зуйков А.В., Жуков И.Ю., Бельтов А.Г., Стариковский А.В., Фроимсон М.И., Толстая А.М. // Спецтехника и связь. – 2011. – №. 6. – С. 38-40.
2. Какаев Д.В., Маслова М.А. Обзор вирусов удаленного доступа для мобильных устройств // Научный результат. Информационные технологии. – 2020. – Т. 5. – № 1. – С. 27-34.
3. Мобильные угрозы и методы борьбы с ними. URL: <https://clck.ru/gvaQa> (дата обращения: 15.04.2022).

4. Ожиганова М.И. Архитектура безопасности киберфизической системы // Защита информации. Инсайд. – 2022. – № 2(104). – С. 5-9.
5. Появление и развитие вирусов для мобильных устройств. URL: <https://clck.ru/gvZCх> (дата обращения: 17.04.2022).
6. Развитие информационных угроз в первом квартале 2021 г. URL: <https://clck.ru/ZRvjF> (дата обращения: 22.04.2022).
7. Развитие информационных угроз во втором квартале 2012 г. URL: <https://clck.ru/gva7i> (дата обращения: 17.04.2022).
8. Развитие угроз в 2010 году. URL: <https://clck.ru/gvZyT> (дата обращения: 15.04.2022).
9. Уязвимости и угрозы мобильных приложений. URL: <https://clck.ru/bmpYJ> (дата обращения: 15.04.2022).
10. Унучек Р. Мобильные угрозы // Системный администратор. – 2016. – №. 11. – С. 38-41.
11. Унучек Р.С., Чебышев В. В. Мобильные угрозы 2013 // Вопросы кибербезопасности. 2014. – №. 3(4). – С. 57-64.
12. Цыганенко Н. П. Статический анализ кода мобильных приложений как средство выявления его уязвимостей // Труды БГТУ. Серия 3: Физико-математические науки и информатика. – 2015. – № 6(179). – С. 200-203.
13. Cabir – первый мобильный вирус в мире. URL: <https://clck.ru/gunA9> (дата обращения: 15.04.2022).

References

1. Exploring the vulnerability of Apple and Google mobile devices / D.M. Mikhailov, A.V. Zuykov, I.Yu. Zhukov, A.G. Beltov, A.V. Starikovskiy, M.I. Fromoimson, A. Tolstaya. M. // Special equipment and communications. – 2011. – No. 6. – P. 38-40.
2. Kakaev D.V., Maslova M.A. Overview of remote access viruses for mobile devices // Research result. Information Technology. – 2020. – V. 5. – No. 1. – P. 27-34.
3. Mobile threats and methods of dealing with them. URL: <https://clck.ru/gvaQa> (date of access: 15.04.2022).
4. Ozhiganova M.I. Security Architecture of a Cyber-Physical System // Information Security. Inside. – 2022. – No. 2(104). – P. 5-9.
5. Emergence and development of viruses for mobile devices. URL: <https://clck.ru/gvZCх> (date of access: 17.04.2022).
6. Development of information threats in the first quarter of 2021. URL: <https://clck.ru/ZRvjF> (date of access: 22.04.2022).
7. Development of information threats in the second quarter of 2012. URL: <https://clck.ru/gva7i> (date of access: 17.04.2022).
8. Development of threats in 2010. URL: <https://clck.ru/gvZyT> (date of access: 15.04.2022).
9. Vulnerabilities and threats of mobile applications. URL: <https://clck.ru/bmpYJ> (date of access: 15.04.2022).
10. Unuchek R. Mobile threats // System administrator. – 2016. – No. 11. – P. 38-41.
11. Unuchek R.S., Chebyshev V.V. Mobile threats 2013 // Cyber security issues. – 2014. – No. 3(4). – P. 57-64.
12. Tsyganenko N. P. Static analysis of mobile application code as a means of identifying its vulnerabilities // Proceedings of BSTU. Series 3: Physical and mathematical sciences and informatics. – 2015. – No. 6(179). – P. 200-203.
13. Cabir is the first mobile virus in the world. URL: <https://clck.ru/gunA9> (date of access: 15.04.2022).

Кузьминых Егор Сергеевич, студент кафедры Информационная безопасность Института радиоэлектроники и информационной безопасности

Маслова Мария Александровна, старший преподаватель кафедры Информационная безопасность Института радиоэлектроники и информационной безопасности

Kuzminykh Yegor Sergeevich, student of the Department Information security, Institute of Radioelectronics and Information security

Maslova Maria Alexandrovna, senior lecturer of the Department Information security, Institute of Radioelectronics and Information security

УДК 658.56; 336.532.3

DOI: 10.18413/2518-1092-2022-7-2-0-4

Бузов П.А.¹
Жихарев А.Г.²
Маторин С.И.³

ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОЙ АНАЛИЗ ДЛЯ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

¹⁾ АО «СофтКоннект», ул. Студенческая д. 19, корпус 2, г. Белгород, 308023, Россия

²⁾ Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ул. Костюкова, 46, Белгород, 308012, Россия

³⁾ Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы, 85, Белгород, 308015, Россия

e-mail: info@softconnect.ru, zhikharev@bsu.edu.ru

Аннотация

В статье рассматривается актуальная задача совершенствования функционально-стоимостного анализа в интересах внедрения системы менеджмента качества, так как традиционное понимание этого анализа не удовлетворяет всем требованиям управления качеством. Для решения поставленной задачи применен системно-объектный подход, позволяющий представить систему в виде элемента «Узел-Функция-Объект» (функционального объекта), учитывающего более широкий спектр входных и выходных связей. В результате проведенного исследования разработана усовершенствованная методика функционально-стоимостного анализа, соответствующая требованиям стандарта ИСО 9001:2015, и позволяющая более точно учитывать расходы, необходимые для получения конечного продукта. Приведен пример декомпозиции производственного процесса средствами системно-объектного подхода, что позволило представить производственный процесс более подробно и адекватно, в соответствии с требованиями системы менеджмента качества и реальными входными и выходными связями процессов, выполняемых функциональными объектами.

Ключевые слова: система менеджмента качества; функционально-стоимостной анализ; системно-объектный подход; функциональный блок; функциональный объект; декомпозиция

Для цитирования: Бузов П.А., Жихарев А.Г., Маторин С.И. Функционально-стоимостной анализ для системы менеджмента качества // Научный результат. Информационные технологии. – Т.7, №2, 2022. – С. 35-41. DOI: 10.18413/2518-1092-2022-7-2-0-4

Buzov P.A.¹
Zhikharev A.G.²
Matorin S.I.³

FUNCTIONAL-COST ANALYSIS FOR THE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM

¹⁾ AO "Softconnect" (Close Joint-stock Company), 19-2 Studencheskaya St., Belgorod, 308023, Russia

²⁾ Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 46 Kostyukova St., Belgorod, 308012, Russia

³⁾ Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

e-mail: info@softconnect.ru, zhikharev@bsu.edu.ru

Abstract

The article deals with the urgent task of improving the functional cost analysis in the interests of introducing a quality management system, since the traditional understanding of this analysis does not meet all the requirements of quality management. To solve the problem, a system-object approach was used, which allows presenting the system as an element "Node-Function-Object" (functional object), taking into account a wider range of input and output connections. As a result of the study, an improved method of functional cost analysis has been developed that meets the requirements of ISO 9001:2015 and allows more accurate accounting of the costs necessary to obtain the final product. An example of the decomposition of the production process by means of a system-object approach is given, which made it possible to present the production process in more detail and adequately, in accordance with the requirements of the quality management system and the real input and output links of the processes performed by functional objects.

Keywords: quality management system; functional cost analysis; system-object approach; functional block; functional object; decomposition

For citation: Buzov P.A., Zhikharev A.G., Matorin S.I. Functional-cost analysis for the quality management system // Research result. Information technologies. – Т.7, №2, 2022. – P. 35-41. DOI: 10.18413/2518-1092-2022-7-2-0-4

ВВЕДЕНИЕ

В рыночных условиях качество является основой конкурентоспособности организаций. Опросы показывают, что 80% потребителей ставят качество на первое место при принятии решения о покупке, а в 40% случаев качество является приоритетным фактором при выборе поставщика. Для обеспечения качества нужны не только современные материально-техническая база, заинтересованный квалифицированный персонал, но и четкая система управления. По утверждению Дж. Джурана, за 85% проблем качества отвечает система качества, а за остальные 15% — исполнители. Э. Деминг отмечал, что 96% качества — это ответственность системы, на долю исполнителя приходится лишь 4%. В связи с этим в настоящее время сложилась тенденция внедрения в организациях производственной и непроизводственной сферы систем менеджмента качества (СМК), на которые возлагается основная ответственность за качество. Внедрение СМК на предприятиях гарантирует постепенный рост показателей эффективности их деятельности. Базой СМК являются стандарты ИСО серии 9000, на основе которых формируются интегрированные системы управления [1, 2].

Основой СМК является управление всеми процессами организации, т.е. СМК базируется на процессном подходе в соответствии с требованиями стандарта ИСО 9001:2015 [3], в котором процесс рассматривается как «совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих видов деятельности, использующие входы для получения намеченного результата» [4]. Таким образом, повышение эффективности деятельности любой организации должно осуществляться путем совершенствования происходящих в ней процессов.

Для обеспечения совершенствования процессов организации необходимо иметь возможность измерять их стоимость и стоимость получаемых с их помощью результатов. Такую возможность обеспечивает, так называемый, функционально стоимостной анализ (ФСА), применение которого позволяет представить информацию по менеджменту качества в виде финансовых показателей [2, 5-7].

Рассмотрим существующие возможности ФСА и их соответствие требованиям СМК.

ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОЙ АНАЛИЗ И ЕГО СООТВЕТСТВИЕ СМК

ФСА — это инструмент управления процессами, измеряющий стоимость их выполнения. Если финансовые и бухгалтерские методы определяют затраты на некоторый вид деятельности лишь по категориям расходов, то ФСА показывает стоимость выполнения всех этапов процесса. Традиционные системы расчета затрат больше ориентированы на организационную структуру, а не на существующий процесс. Ориентированный на процессы метод ФСА дает менеджерам возможность наиболее точно провести соответствие между потребностями в ресурсах и доступными мощностями, а, следовательно, повысить производительность. Таким образом, ФСА — это «операционно-ориентированный» метод, альтернативный бухгалтерским финансовым методам, который, в отличие от них [2]:

- 1) предоставляет информацию в форме, понятной для персонала предприятия, непосредственно участвующего в бизнес-процессе;
- 2) распределяет накладные расходы в соответствии с детальным просчетом использования ресурсов, подробным представлением о процессах и их влиянием на себестоимость, а не на основании прямых затрат или учета полного объема выпускаемой продукции.

Рассмотрим процедуру определения стоимости при проведении ФСА с использованием системно-структурного подхода (см. рис. 1 и 2).

В рамках системно-структурного подхода ФСА базируется на трех принципах [2]:

1. Процесс характеризуется числом, которое представляет собой стоимость его выполнения.
2. Стоимость процесса, который не имеет декомпозиции, определяется разработчиком системы.

3. Стоимость процесса, который имеет декомпозицию, определяется как сумма стоимостей всех подпроцессов на данном уровне декомпозиции.

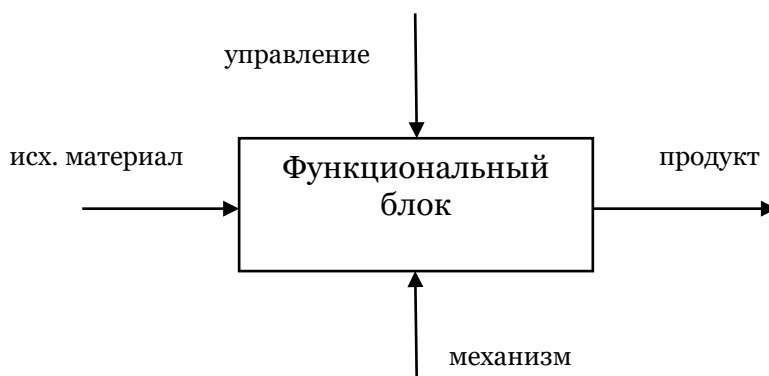


Рис. 1. Системно-структурная модель процесса на примере стандарта IDEF0
Fig. 1. System-structural model of the process using the IDEF0 standard as an example

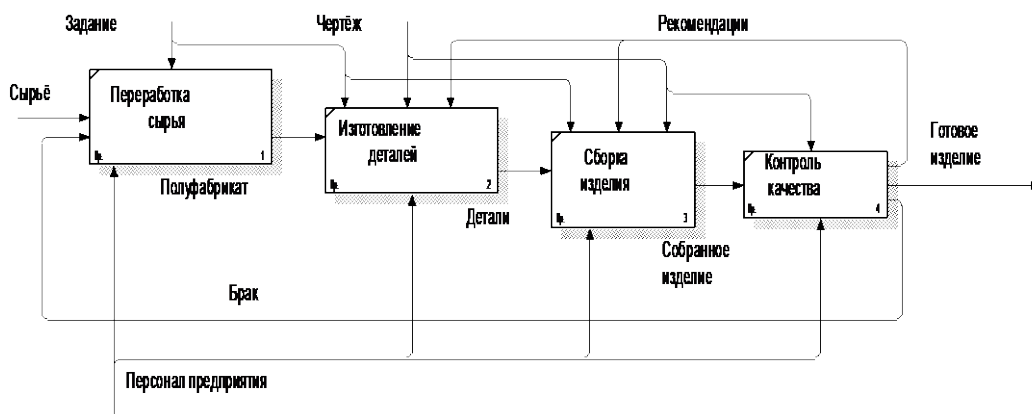


Рис. 2. Пример системно-структурной декомпозиции производственного процесса
Fig. 2. Example of a system-structural decomposition of the production process

При этом подаваемый на вход процесса «исходный материал» может представлять собой как материальные объекты, так и информацию, которые перерабатываются процессом для получения на выходе соответствующего «продукта». На вход «управление» всегда подается только информация, которая, как правило, содержится в документах (законы, стандарты, чертежи, технические задания, приказы, распоряжения, заявки, планы и т.д.). Эта информация не перерабатывается процессом, но обеспечивает его соответствие и соответствие продукта определенным требованиям. На вход «механизм» подается то, с помощью чего преобразуются материальные объекты или обрабатывается информация и получается требуемый продукт (оборудование, сотрудники и т.д.).

В соответствии со сказанным выше стоимость продукта на выходе некоторого процесса определяется с помощью ФСА в рамках системно-структурного подхода как сумма стоимости исходного материала, поступающего на вход процесса, стоимости управления процессом и стоимости используемого процессом механизма. Следовательно, в данном случае стоимость продукта определяется следующим соотношением:

$$\text{Спродукта} = \text{Сисх.мат.} + \text{Суправ.} + \text{Смехан.}$$

Анализ публикаций различных авторов, освещающих в своих работах методологию проведения ФСА, например, [5-8] свидетельствует о том, что в настоящее время методика ФСА не полностью удовлетворяет требованиям СМК. Например, выполнение любого процесса, согласно

стандарту ИСО 9001:2015 (п. 4.2.4.), всегда должно сопровождаться созданием записей (документов) в виде журналов, наряд-заказов, накладных, актов, отчетов, т.е. на выходе процесса, кроме продукта, должна быть еще и отчетная информация. Однако стоимость изготовления отчетной информации традиционным ФСА не учитывается. При этом о наличии на входе, кроме исходного материала, обеспечивающей информации, а на выходе, кроме продукта, отчетной информации утверждается, например, в работах [4, 9]. «На входе процесса может быть материальный объект или информация. Но материальный объект обычно сопровождается информацией об его свойствах, поэтому часто приходится иметь дело с комбинацией материальных и информационных входов. На выход процесса также обычно поступает информация или материальный объект, сопровождаемый информацией об его свойствах, и отчетные документы, содержащие свидетельства деятельности, осуществленной в ходе процесса» [4, с. 3].

Отсутствие учета расходов на отчетную информацию, а также еще некоторых расходов, с точки зрения авторов, обусловлено тем фактом, что к ФСА до сих пор не применялся современный системно-объектный подход.

ПРИМЕНЕНИЕ К ФСА СИСТЕМНО-ОБЪЕКТНОГО ПОДХОДА

В рамках системно-объектного подхода система рассматривается как триединая конструкция «Узел-Функция-Объект» (УФО-элемент), т.е. одновременно как структурный элемент (перекресток связей, узел), функциональный элемент (процесс, преобразующий вход в выход в данном узле) и материальный элемент (объект, реализующий процесс данного узла). Системно-объектный подход позволяет перейти от рассмотрения взаимосвязанных функциональных блоков (процессов) при системно-структурном моделировании к рассмотрению взаимосвязанных функциональных объектов, реализующих процессы в рамках некоторой структуры, при системно-объектном моделировании.

Таким образом, в рамках данного подхода части и деятельность организации могут быть представлены более полноценно и всесторонне по сравнению с системно-структурным подходом, что позволяет устранить отмеченные выше недостатки с точки зрения соответствия ФСА требованиям СМК. Это достигается путем усовершенствования, предложенного в работе [10] абстрактного образа системы как УФО-элемента в виде функционального объекта, представленного на рисунке 3.

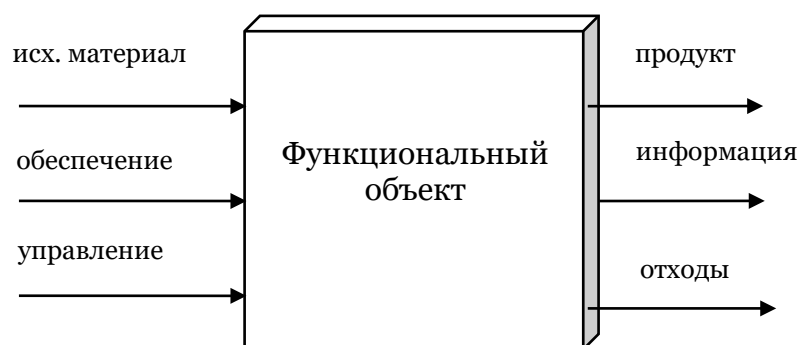


Рис. 3. Элемент системно-объектной модели «Узел-Функция-Объект»

Fig. 3. Element of the system-object model "Unit-Function-Object"

В данном случае подаваемый на вход процесса «исходный материал» так же может представлять собой как материальные объекты, так и информацию, которые перерабатываются процессом для получения на выходе соответствующего «продукта». На вход «управление» так же всегда подается только информация, которая, как правило, содержится в документах (законы, стандарты, чертежи, технические задания, приказы, распоряжения, заявки, планы и т.д.). Эта информация так же не перерабатывается процессом, но обеспечивает его соответствие и соответствие продукта определенным требованиям. В дополнение к этим входам учитывается

вход «обеспечение», по которому может подаваться информация об исходном материале (см. [4, 9]) или материальное, например, энергетическое обеспечение работы функционального объекта. Вместо входа «механизм» используется характеристика функционального объекта, который, собственно, и выполняет данный процесс, представляя собой оборудование или сотрудников. Выход «информация» обеспечивает получение отчетной информации о процессе и продукте в виде записей (документов: журналов, наряд-заказов, накладных, актов, отчетов и т.д.) в соответствии с требованиями стандарта ИСО 9001:2015 (п. 4.2.4.). Выход «отходы» обусловлен тем известным фактом, что любая деятельность связана с отходами и побочными продуктами, которые могут иметь и свою потребительскую стоимость.

Таким образом, в рамках системно-объектного подхода стоимость продукта на выходе некоторого процесса определяется с помощью усовершенствованной методики ФСА как сумма стоимости исходного материала, поступающего на вход функционального объекта, стоимости управления этим объектом, стоимости обеспечения (информационного или материального), стоимости эксплуатации функционального объекта (амортизация оборудования, зарплата сотрудников и т.д.), стоимости отчетной информации и стоимости отходов (которые могут общую стоимость как увеличивать, так и уменьшать). Следовательно, в данном случае стоимость продукта определяется следующим соотношением:

$$\text{Спродукта} = \text{Сисх.мат.} + \text{Суправ.} + \text{Собесп.} + \text{Сэксп.объекта} + \text{Синформ.} \pm \text{Сотх.}$$

Системно-объектная декомпозиция производственного процесса в виде структуры взаимодействующих элементов «Узел-Функция-Объект» с учетом потоков/связей, соответствующих рисунку 3, позволяет представить производственный процесс более подробно и адекватно, в соответствии с требованиями СМК и реальными входными и выходными связями процессов, выполняемых функциональными объектами (см. рис. 4).

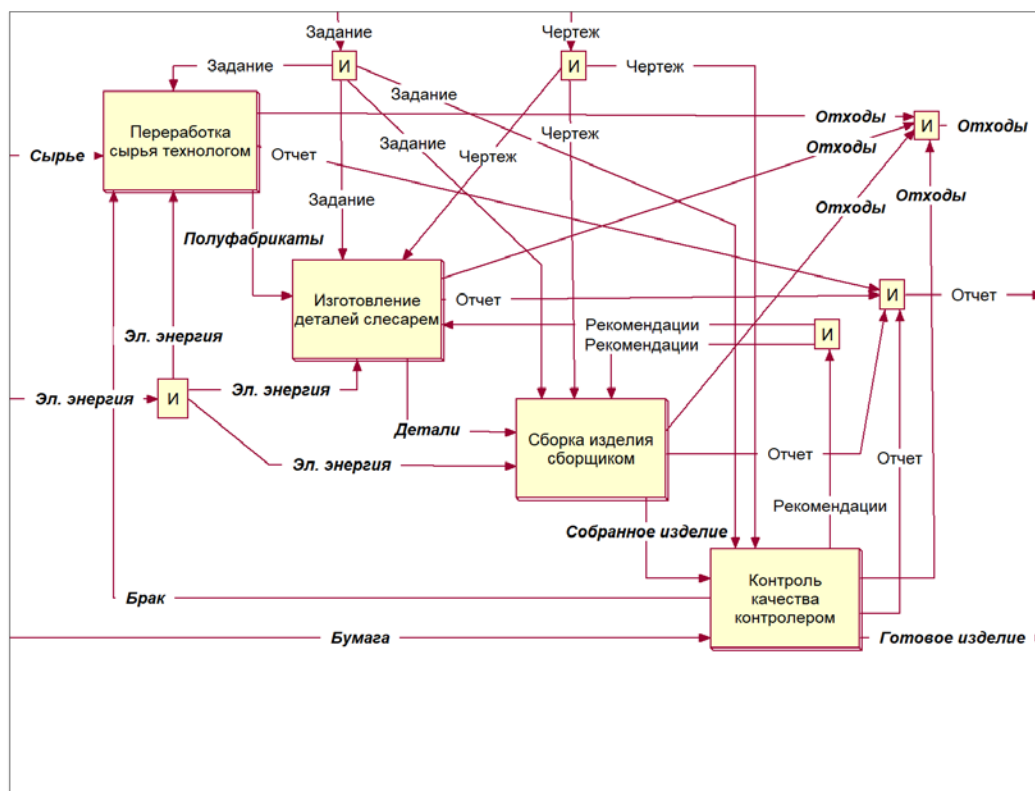


Рис. 4. Пример системно-объектной декомпозиции производственного процесса
Fig. 4. Example of system-object decomposition of the production process

Таким образом, применение системно-объектного подхода к ФСА обеспечивает устранение его несоответствия требованиям СМК и дополнительно позволяет создавать модели деятельности организации, более адекватно описывающие взаимодействие ее элементов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного исследования установлено, что традиционная методика ФСА не удовлетворяет всем требованиям стандарта СМК. Показано, что причиной несоответствия методики ФСА требованиям СМК является использование устаревшего системно-структурного подхода. На основе системно-объектного подхода предложен абстрактный образ системы в виде функционального объекта аналогичного функциональному блоку IDEF0, но учитывающего большее количество реально существующих входных и выходных связей. Использование такого функционального объекта позволило усовершенствовать методику ФСА, обеспечив учет всех требований стандартов СМК. Применение системно-объектного подхода для декомпозиции производственного процесса в виде структуры взаимодействия упомянутых функциональных объектов показало большую адекватность модели в части учета взаимодействия процессов по сравнению с системно-структурными моделями.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследования выполнены при финансовой поддержке проекта Российского фонда фундаментальных исследований № 19-29-01047мк.

Список литературы

1. Петренко С. Защищенная виртуальная частная сеть: современный взгляд на защиту конфиденциальных данных // Мир Internet. М. 2001. № 2.
2. Файльнер М. Виртуальные частные сети нового поколения LAN // Журнал сетевых решений. М. 2005. № 11.
3. Фратто М. Секреты виртуальных частных сетей. Сети и системы связи // Emergent Actors in World Politics: How States and Nations Develop and Dissolv. Princeton University Press. 1997. № 3.
4. Иванов М. А. Криптографические методы защиты информации в компьютерных системах и сетях. М. КУДИЦ-Образ. 2001.
5. Колесников О. Linux: создание виртуальных частных сетей (VPN): пер. с англ. / О. Колесников, Б. Хетч. М. КУДИЦ-Образ. 2004. 459 с.
6. M. W. Youssef, Hazem El-Gendy. Securing Authentication of TCP/IP Layer Two By Modifying Challenge-Handshake Authentication Protocol // Advanced Computing: An International Journal. 2012. P. 11.
7. Rand Morimoto, Kenton Gardinier, Michael Noel and Joe Coca. Microsoft Exchange Server 2003 Unleashed. 2003. P. 244.
8. Kaufman. C., Perlman. R., и Speciner. M., Network Security: Private Communications in a Public World // Prentice Hall. 1995.

References

1. Petrenko S. Protected virtual private network: a modern view on the protection of confidential data // World of the Internet. M. 2001. No. 2.
2. Faylner M. Virtual private networks of the new generation LAN // Journal of Network Solutions. M. 2005. No. 11.
3. Fratto M. Secrets of virtual private networks. Networks and communication systems // Emergent Actors in World Politics: How States and Nations Develop and Dissolv. Princeton University Press. 1997. No. 3.
4. Ivanov M. A. Cryptographic methods of protecting information in computer systems and networks. M. KUDITs-Obraz. 2001.
5. Kolesnikov O. Linux: the creation of virtual private networks (VPN): per. from English. / O. Kolesnikov, B. Hatch. M. KUDITs-Obraz. 2004. 459 p.
6. M.W. Youssef, Hazem El-Gendy. Securing Authentication of TCP/IP Layer Two By Modifying Challenge-Handshake Authentication Protocol // Advanced Computing: An International Journal. 2012. P. 11.
7. Rand Morimoto, Kenton Gardinier, Michael Noel and Joe Coca. Microsoft Exchange Server 2003 Unleashed. 2003. P. 244.

8. Kaufman. C., Perlman. R., and Speciner. M., Network Security: Private Communications in a Public World // Prentice Hall. 1995.

Бузов Павел Андреевич, генеральный директор АО «СофтКоннект»

Жихарев Александр Геннадиевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем

Маторин Сергей Игоревич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных и робототехнических систем

Buzov Pavel Andreevich, Director of AO “Softconnect” (Close Joint-stock Company)

Zhikharev Alexander Gennadievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Computer Engineering and Automated Systems Software

Matorin Sergey Igorevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information and Robotic Systems

УДК 535

DOI: 10.18413/2518-1092-2022-7-2-0-5

**Костин К.В.
Егоров С.Ф.
Чистяков С.В.**

ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТА ЧЕТЫРЕХВОЛНОВОГО СМЕЩЕНИЯ НА КАЧЕСТВО ПЕРЕДАЧИ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования
«Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации»,
ул. Приборостроительная, д. 35, г. Орёл, 302034, Россия
e-mail: kirya.kostin.99@mail.ru

Аннотация

В настоящее время практически каждый человек использует услуги передачи информации. Для удовлетворения всех потребностей, мощности и скорости передачи данных в современных оптических системах связи достигли огромных значений. При высоких передаваемых мощностях в оптическом волокне возникают нежелательные нелинейные эффекты, которые уменьшают эффективность всей оптической системы. Нелинейные эффекты в оптических волокнах накладывают различные ограничения на канал связи, и понимание таких эффектов является практически необходимым. Четырехволновое смещение является доминирующим нелинейным эффектом, присутствующим в сетях оптического мультиплексирования с разделением длин волн. Обоснованы общие положения о механизме проявления четырехволнового смещения в оптическом волокне. В статье приведен вариант классификации нелинейных эффектов. Рассмотрены виды четырехволнового смещения. В работе показана зависимость эффекта ЧВС от количества сигналов в тракте и соотношения фаз между взаимодействующими сигналами. Авторами предлагаются способы повышения достоверности передачи оптических сигналов в волоконно-оптических системах передачи.

Ключевые слова: четырехволновое смещение; волоконно-оптические системы передачи; нелинейные эффекты

Для цитирования: Костин К.В., Егоров С.Ф., Чистяков С.В. Влияние эффекта четырехволнового смещения на качество передачи оптических сигналов // Научный результат. Информационные технологии. – Т.7, №2, 2022. – С. 42-47. DOI: 10.18413/2518-1092-2022-7-2-0-5

**Kostin K.V.
Egorov S.F.
Chistyakov S.V.**

THE INFLUENCE OF THE FOUR-WAVE MIXING EFFECT ON THE TRANSMISSION QUALITY OF OPTICAL SIGNALS

Federal state military educational institution of higher professional education "Academy of the Federal security service of the Russian Federation", 35 Priborostroitelnaya St, Orel, 302034, Russia
e-mail: kirya.kostin.99@mail.ru

Abstract

Currently, almost everyone uses information transmission services. To meet all the needs, the power and data transmission rates in modern optical communication systems have reached enormous values. At high transmitted powers, undesirable nonlinear effects occur in the optical fiber, which reduce the efficiency of the entire optical system. Nonlinear effects in optical fibers impose various limitations on the communication channel, and understanding such effects is practically necessary. Four-wave mixing is the dominant nonlinear effect present in optical networks with wavelength-division multiplexing. The general provisions on the mechanism of manifestation of four-wave mixing in an optical fiber are substantiated. The article presents a variant of the classification of nonlinear effects. The types of four-wave mixing are considered. The paper shows the dependence of the FWM effect on the number of signals in the path and the phase ratio between the interacting signals. The authors propose ways to increase the reliability of optical signal transmission in fiber-optic transmission systems.

Keywords: four-wave mixing; fiber-optic transmission systems; nonlinear effects

For citation: Kostin K.V., Egorov S.F., Chistyakov S.V. The influence of the four-wave mixing effect on the transmission quality of optical signals. – Т.7, №2, 2022. – P. 42-47.
DOI: 10.18413/2518-1092-2022-7-2-0-5

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день, в условиях внутренних и внешних угроз государства, стремительно растёт необходимость сетей специального назначения в оперативной и актуальной информации. В связи с этим, к телекоммуникационным системам предъявляются жёсткие требования для качественной, корректной и эффективной отработки задач [8]. С постоянно растущими обрабатываемыми объёмами данных возникает необходимость в увеличении скорости передачи информационных потоков. Однако стремление повысить скорость передачи информации приводит к ухудшению качества передачи. Следовательно, следует учитывать параметры, которые негативным образом влияют на характеристики системы передачи.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Оптические системы связи, работающие при умеренной мощности (несколько милливатт) и скорости передачи данных (примерно до 2,5 Гбит/с) можно считать линейными системами. Однако при более высоких скоростях передачи данных, таких как 10 Гбит/с и выше, и/или при более высоких передаваемых мощностях важно учитывать влияние нелинейности. Нелинейные процессы при передаче сигналов через диэлектрический волновод возникают главным образом из-за превышения пиковой мощностью P_0 оптического сигнала определенного порогового значения $P_{\text{пор}}$ свойственного каждому конкретному материалу. В таком сильном электромагнитном поле отклик любого диэлектрика на световое воздействие становится нелинейным, а волноводная структура только усиливает этот эффект. В случае систем WDM нелинейные эффекты могут стать важными даже при умеренных мощностях и скоростях передачи данных.

Диэлектрический световод может играть роль среды, в которой несколько отдельно введенных оптических волн взаимодействуют друг с другом через нелинейный отклик электронов внешних оболочек. В данных условиях суммарное электромагнитное поле может порождать новые частотные компоненты. Такие процессы называются параметрическими, так как генерация новых спектральных компонентов обусловлена светоиндуцированным изменением параметров передачи среды. Основными параметрическими процессами ОВ, проявляющимися в ВОСП, являются четырехволновое смещение и генерация третьей гармоники (ГТГ) (рис. 1) [8].

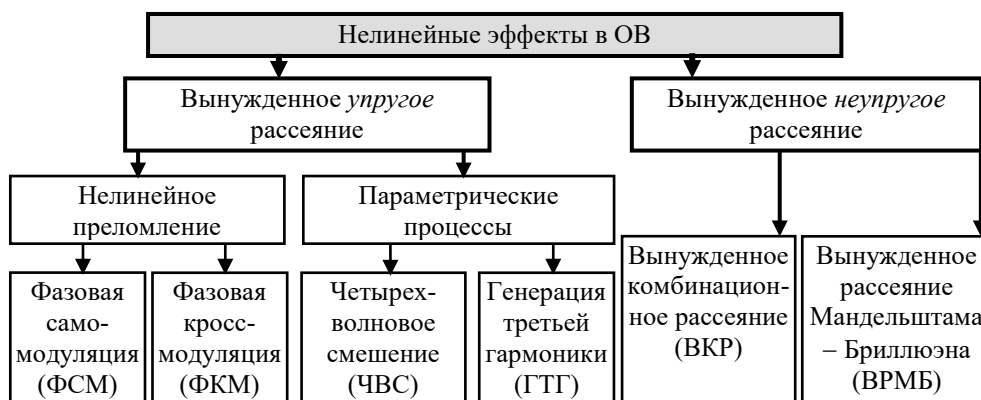


Рис. 1. Вариант классификации нелинейных эффектов в оптическом волокне
Fig. 1. A variant of classification of nonlinear effects in optical fiber

ЧВС – главный источник пересечений и потерь в системах WDM. Взаимное влияние нескольких каналов друг на друга создает новые посторонние сигналы. В худшем случае равного расстояния между каналами большинство новых частот накладываются на существующие и вызывают интерференцию. В лучшем случае наблюдается лишь уменьшение мощности WDM

каналов. В ходе работы будет решаться задача повышения качества передачи оптических сигналов за счёт оптимизации характеристик оптических трансиверов. Для постановки задачи был использован критерий превосходства и сделан акцент на характеристики трансиверов оптического излучения. Постановка задачи представлена формулой 1:

$$Q \geq Q_{don}(f(\{X\})), \quad (1)$$

где $\{X\}$ – множество параметров оптических трансиверов.

Четырехволновое смещение является параметрическим процессом третьего порядка, свойства которого обусловлены рассмотрением кубичной поляризованности [1;6;7]. Параметрический процесс в среде, где наименьший порядок ненулевой нелинейной восприимчивости равен трем, предполагает взаимодействие четырех оптических волн.

При передаче информационных импульсных последовательностей (при условии фазового согласования) на всех четырех частотах в каждом из случаев наблюдались бы переходные помехи, мешающие функционированию ВОСП. Следовательно, необходимо стремиться снизить проявление четырехволнового смещения (ЧВС). Таким образом, параметрическое четырехволновое смещение есть взаимодействие оптических волн в волокне, которое происходит из-за нелинейной зависимости показателя преломления среды от интенсивности оптического излучения. Это приводит к генерации волны частотой ω_j , полученной через смешивание трех волн частот: ω_i , ω_j , ω_k так, что $\omega_{ijk} = \omega_i + \omega_j + \omega_k$. В некоторых случаях генерируются две волны – ω_p и ω_s , соответствующие равенству $\omega_i + \omega_j = \omega_p + \omega_s$.

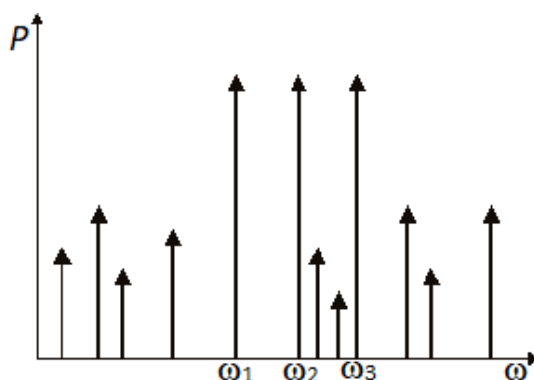


Рис. 2. Генерация новых частотных составляющих с помощью четырехволнового смещения

Fig. 2. Generation of new frequency components using four-wave mixing

В N -канальной системе передачи этот эффект приводит к большому количеству ложных сигналов:

$$N_{\text{лс}} = \frac{N^2(N-1)}{2}, \quad (2)$$

где $N_{\text{лс}}$ – количество ложных сигналов.

Эффект четырехволнового смещения зависит от соотношения фаз между взаимодействующими сигналами [5;8;9]. Если все мешающие сигналы распространяются с одинаковой групповой скоростью, как это было бы в случае отсутствия хроматической дисперсии, эффект усиливается. С другой стороны, при наличии хроматической дисперсии различные сигналы распространяются с разными групповыми скоростями. Различные волны попеременно перекрываются по фазе и не совпадают по фазе, и конечный эффект заключается в снижении эффективности смешивания. Разница скоростей больше, когда каналы расположены на большем расстоянии друг от друга (в системах с хроматической дисперсией). Из-за этого по мере распространения сигналов по ОВ происходит то установление, то нарушение синхронизации между спектральными компонентами. С одной стороны, это уменьшает мощность генерируемых

параметрических помех, с другой нестабильность процессов существенно усложняет общую картину искажений сигналов в ОВ и затрудняет поиск оптимального частотного плана размещения спектральных каналов.

Предположим, что каналы, расположенные на равном расстоянии друг от друга, передаются с одинаковой мощностью, а максимально допустимое затухание из-за четырехволнового смещения составляет 1 дБ. Тогда, если передаваемая мощность в каждом канале равна P , то максимальная мощность ЧВС в любом канале должна быть не более εP , где ε можно рассчитать как 0,034 для затухания в 1 дБ. Поскольку генерируемая ЧВС мощность увеличивается с увеличением длины канала, устанавливается ограничение на мощность передачи на канал в зависимости от длины канала [10].

В приведенном выше объяснении говорилось, что четыре различных частотных компонента взаимодействуют посредством четырехволнового смещения. Это называется невырожденным четырехволновым смещением. Однако существует также возможность вырожденного четырехволнового смещения, когда две из четырех частот совпадают.

Четырехволновое смещение в волокнах связано с фазовой самомодуляцией и фазовой кросс-модуляцией: все эти эффекты происходят из-за одной и той же нелинейности Керра и отличаются только вырождением участвующих волн.

При высоких интенсивностях оптического сигнала (выше 100 мВт) проявление ЧВС обнаруживается даже при распространении единственного сигнала по оптическому тракту. Например, из-за влияния фазовой самомодуляции имеет место генерация новых спектральных составляющих [20]. В свою очередь, эти спектральные составляющие, взаимодействуя друг с другом посредством ЧВС, порождают новые спектральные составляющие.

Четырехволновое смещение является серьезной проблемой в системах WDM, использующих оптическое волокно со смещенной дисперсией, но обычно оно не представляет серьезной проблемы в волоконно-оптических системах, использующих стандартное волокно. В частности, это послужило стимулом для разработки волокна с нулевым смещением дисперсии (NZ-DSF).

В целом, есть способы повышения достоверности передачи оптических сигналов в волоконно-оптических системах передачи:

1) Различное расстояние между каналами. Это может быть использовано только для систем, имеющих малое число каналов, и требует тщательных и точных вычислений.

2) Увеличение расстояния между каналами. Это увеличивает рассогласование групповой скорости между каналами. Недостатком этого способа является общее увеличение полосы пропускания системы и требует от волоконно-оптических усилителей высокой стабильности в более широкой полосе пропускания, и увеличение затухания из-за вынужденного комбинационного рассеяния.

3) Использование длин волн выше 1560 нм с одномодовым волокном со смещенной дисперсией (DSF). Даже при использовании DSF в этом диапазоне присутствует значительное количество хроматической дисперсии, что снижает эффект четырехволнового смещения. Недавно разработанные оптические усилители L-диапазона могут использоваться для передачи на большие расстояния по DSF.

4) Уменьшение мощности оптических систем связи. Как и в случае с другими нелинейностями, уменьшение мощности передатчика и расстояния между усилителями уменьшит затухание.

5) Введение разностных задержек для каждой длины волны, если длины волн могут быть мультиплексированы и демultipлексированы в середине пути передачи. Это перемешивает фазовое соотношение между различными длинами волн, что приводит к меньшему затуханию за счет ЧВС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Высокие требования, предъявляемые к системам передачи по скорости, качеству и объему предоставляемых услуг, определяют необходимость поиска решения проблемы, связанной с

повышением достоверности передачи оптических сигналов в волоконно-оптических системах передачи в условиях четырехволнового смещения.

Список литературы

1. Гауэр Д. Оптические системы связи // М.: Радио и Связь, 1989. – 501с.
2. Песков С.Н., Зима З.А. Шумы в оптических сетях // Теле-Спутник. 2005. №4.
3. Листвин А.В., Листвин В.Н., Швырков Д.В. Оптические волокна для линий связи // М.: "ЛЕСАРарт". 2003. – 288 с.
4. Скляров О.К. Волоконно-оптические сети и системы связи // М.: "Солон-Пресс", 2004. – 272 с.
5. Гринфилд Д. Оптические сети // М.: "Тид-Дс". 2002.– 256 с.
6. Наний О.Е., Трещиков В.Н., Убайдуллаев Р.Р. Дальность работы и пропускная способность когерентных систем связи // Вестник связи. 2013. № 9
7. Солитоны и нелинейные уравнения // Додд Р., Эйлбек Дж. Гиббон Дж., Моррис Х., изд. «Мир», М., 1988. – 697 с.
8. Сайтов И. А. Теоретические основы построения средств связи оптического диапазона. // Орёл: Академия ФСО России, 2008. – 491 с.
9. Бутусов М.М. Волоконно-оптические системы передачи: учебник для вузов // под ред. В.Н. Гомзина. – Москва: Радио и связь, 1992. – 416 с.
10. Агравал, Г. Нелинейная волоконная оптика // Москва: Мир, 1996. – 234 с.
11. Яременко, Ю.И. Теоретические основы построения и применения средств связи оптического диапазона: монография // Ленинград: ВАС, 1992. – 300 с
12. Скляров, О.К. Волоконно-оптические сети и системы связи // Москва: СОЛОН-пресс, 2004. – 255 с.
13. Цернике Ф., Мидвинтер Д. Прикладная нелинейная оптика // М.: Мир, 1976. – 262 с.
14. Бломберген Н. Нелинейная оптика // М.: Мир, 1966. – 424 с.
15. Шен И. Принципы нелинейной оптики // М.: Мир, 1989. – 560 с.
16. Дмитриев, С.А. Волоконно-оптическая техника: современное состояние и новые перспективы. Сборник статей // М.: Техносфера, 2015. – 452 с.
17. Заказнов Н.П., Кирюшин С.И., Кузичев В.И. Теория оптических систем // М.: Лань, 2016. – 448 с.
18. Янг, М. Оптика и лазеры, включая волоконную оптику и оптические // М.: Мир, 2018. – 544 с.
19. Родина, О. В. Волоконно-оптические линии связи: практическое руководство // Москва: Горячая линия-телеком, 2014. – 400 с.
20. Pocholle J.P., Raffy J., Papuchon M., Desurvire E., Raman and four-photon mixing amplification in single mode fibers // Opt. Eng. 24, 1985
21. Chongjin Xie. Impact of nonlinear and polarization effects on coherent systems // Optics Express. 2011. Vol. 19. Issue 26.

References

1. Dus Gower. Optical communication systems. — M.: Radio and Communications, 1989. – 501 p.
2. Peskov S.N., Zima Z.A. Noise in optical networks // Tele-Satellite. 2005. No.4.
3. Listvin A.V., Listvin V.N., Shvyrkov D.V. Optical fibers for communication lines, M.: "LESARart". 2003. 288 p.
4. Sklyarov O.K. Fiber-optic networks and communication systems. M.: "Solon-Press", 2004. 272 p.
5. Greenfield D. Optical networks, M.: "Tid-Ds". 2002. 256 p.
6. Naniy O.E., Treschikov V.N., Ubaydullaev R.R. Range of operation and throughput of coherent communication systems // Bulletin of Communications. 2013. No. 9
7. Solitons and nonlinear equations / Dodd R., Eilbeck J. Gibbon J., Morris H., ed. "Mir", Moscow, 1988 – 697 p.
8. Saitov I. A. Theoretical foundations of the construction of optical range communication means. – Orel: Academy of FSO of Russia, 2008. - 491 p
9. Butusov M.M. Fiber-optic transmission systems: textbook for universities / edited by V. N. Gomzin. – Moscow: Radio and Communications, 1992. – 416 p.
10. Agraval, G. Nonlinear fiber optics – Moscow: Mir, 1996. – 234 p.
11. Yaremenko, Yu.I. Theoretical foundations of the construction and application of optical range communications: monograph – Leningrad: VAS, 1992. – 300 p.

12. Sklyarov, O.K. Fiber-optic networks and communication systems. – Moscow: SOLON-press, 2004. – 255 p.
13. Zernike F., Midwinter D. Applied nonlinear optics. – М.: Mir, 1976. – 262 p.
14. Blombergen N. Nonlinear optics. – М.: Mir, 1966. – 424 p.
15. Shen Yi. Principles of nonlinear optics. – М.: Mir, 1989. – 560 p.
16. Dmitriev, S.A. Fiber-optic technology: current state and new prospects. Collection of articles. – Moscow: Technosphere, 2015. – 452 p.
17. Zakaznov N.P., Kiryushin S.I., Kuzichev V.I. Theory of optical systems – М.: Lan, 2016. – 448 p.
18. Yang, M. Optics and lasers, including fiber optics and optical – М.: Mir, 2018. - 544 p.
19. Rodina, O. V. Fiber-optic communication lines: a practical guide – Moscow: Hotline-telecom, 2014. – 400 p.
20. Pocholle J.P., Raffy J., Papuchon M., Desurvire E., Raman and four-photon mixing amplification in single mode fibers // Opt. Eng. 24, 1985
21. Chongjin Xie. Impact of nonlinear and polarization effects on coherent systems // Optics Express. 2011. Vol. 19. Issue 26.

Костин Кирилл Владиславович, студент Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации

Егоров Семён Фёдорович, студент Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации

Чистяков Сергей Владимирович, кандидат технических наук, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации

Kostin Kirill Vladislavovich, student Academy of the Federal security service of the Russian Federation

Egorov Semyon Fedorovich, student Academy of the Federal security service of the Russian Federation

Chistyakov Sergey Vladimirovich, candidate of technical sciences, Academy of the Federal security service of the Russian Federation

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ INFORMATION SYSTEM AND TECHNOLOGIES

УДК 004

DOI: 10.18413/2518-1092-2022-7-2-0-6

Кнаан А.-Р.
Польщиков К.А.

АНАЛИЗ РЕАКЦИИ ОБЩЕСТВЕННОСТИ
НА ЭЛЕКТРОННОЕ ОБУЧЕНИЕ В ТВИТЕРЕ

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
ул. Победы д. 85, г. Белгород, 308015, Россия
e-mail: Kanan.rashed@gmail.com

Аннотация

За последние несколько десятилетий из-за взрывного роста социальных сетей, онлайн-ресурсов и сайтов микроблогов, таких как Twitter был приток пользовательского контента. Данные, полученные из этих ресурсов, являются богатым источником информации для интеллектуального анализа данных. Анализ тональности – это актуальная и важная область исследований, которая пытается определить полярность текста. Решающее значение приобрело определение чувств по поводу текущих событий в мире. Статья посвящена интеллектуальному анализу данных в Twitter и определению мнений в отношении электронного обучения. Основное внимание уделяется выявлению настроений из текстов, связанных с электронным обучением, которые публикуются в Twitter. Было извлечено около 3000 твитов и обнаружена полярность этих твитов, а затем визуализированы полученные данные.

Ключевые слова: анализ тональности текста; электронное обучение; анализ данных; визуализация; Orange Data Mining

Для цитирования: Кнаан А.-Р., Польщиков К.А. Анализ реакции общественности на электронное обучение в Твиттере // Научный результат. Информационные технологии. – Т.7, №2, 2022. – С. 48-54. DOI: 10.18413/2518-1092-2022-7-2-0-6

Кнаан А.-Р.
Polshchikov K.A.

ANALYSIS OF PUBLIC REACTION
TO E-LEARNING ON TWITTER

Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia
e-mail: Kanan.rashed@gmail.com

Abstract

Over the past few decades, due to the explosive growth of social media, online resources, and microblogging sites such as Twitter. There was an influx of user-generated content. The data obtained from these resources is a rich source of information for data mining. Sentiment analysis is a current and important area of research that attempts to determine the polarity of a text. The definition of feelings about current events in the world has become crucial. This article focuses on data mining on Twitter and defining opinions regarding e-learning. The focus is on identifying sentiment from e-learning-related texts that are shared on Twitter. About 3,000 tweets were extracted and the polarity of those tweets was detected, and then visualize the resulting data.

Keywords: text sentiment analysis; e-learning; data analysis; visualization; Orange Data Mining

For citation: Knaan A.-R., Polshchikov K.A. Analysis of public reaction to e-learning on Twitter // Research result. Information technologies. – T.7, №2, 2022. – P. 48-54. DOI: 10.18413/2518-1092-2022-7-2-0-6

ВВЕДЕНИЕ

В наше время электронное обучение и дистанционное обучение стали неотъемлемой частью образовательного процесса, а образовательные платформы стали местом, на которое все люди во всем мире обращают внимание, чтобы обогатить и развить их навыки. В последние годы мы стали

свидетелями быстрого роста этой отрасли благодаря легкому доступу к таким платформам и низкой стоимости по сравнению с традиционным образованием. Эта область открыла нам новые возможности для изучения и лучшего понимания, поскольку здесь есть проблемы, которые препятствуют прогрессу и развитию работы этих платформ, и важно понимать мнения пользователей и студентов о доступных материалах и курсах.

Социальные сети помогли пролить свет на образовательный опыт студентов, поскольку они предоставили им широкое пространство для выражения своего мнения и проблем. Эти мнения являются ключевым фактором при оценке качества образовательного процесса и помогают в принятии решений и предоставлении необходимых услуг для повышения качества образовательного процесса и возможности перенять опыт студентов, который побуждает лиц, принимающих решения, улучшать свои услуги и, таким образом, подталкивать студентов к прогрессу и успеху.

Проведенные исследования выявили важную роль, которую Twitter может играть в оценке мнения аудитории во многих областях. Например, Twitter использовался для предварительного просмотра опыта МООС. В работе [1] автор собрал в общей сложности 1090 сообщений на Twitter по теме Coursera и изучил стили обучения учащихся и инструкции учителей «как есть», что объясняется в различных твитах. Исследование показало, что тренеры МООС широко использовали инструменты социальных сетей для продвижения своего обучения и обеспечения успеха онлайн-образования. В работе [2] автор проанализировал реакцию общественности на вспышку COVID-19 в Твиттере, используя методы анализа закономерностей. В работе [3] автор предложил алгоритм, позволяющий узнать общественное мнение граждан Индии о налоговой системе, одобренной правительством Индии, поскольку из Twitter было собрано 190 твитов о налоговой системе на английском языке, а затем применен лексический подход для определения чувств, которые каждый твит несет. В работе [4] автор предложил лексический подход для добычи неструктурированных данных из Twitter, чтобы установить семантическую тенденцию взаимодействий и мнений в режиме реального времени путем извлечения настроений аудитории из комментариев, связанных с новостными статьями BBC, публикуемыми в Twitter.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

В этой работе мы использовали методологию изучения реакции людей на Twitter для электронного обучения, согласно которой 3000 твитов, содержащих ключевые слова, связанные с образованием, были собраны из Twitter с использованием инструмента интеллектуального анализа данных “Orange” [5], а затем эти данные были подготовлены и очищены перед их анализом с использованием лексикон “Vader” [6], а затем выполнено фотографирование и определение полярности данных с помощью программного обеспечения Power IB [7]. На рисунке 1 показан процесс получения и анализа данных из Twitter.

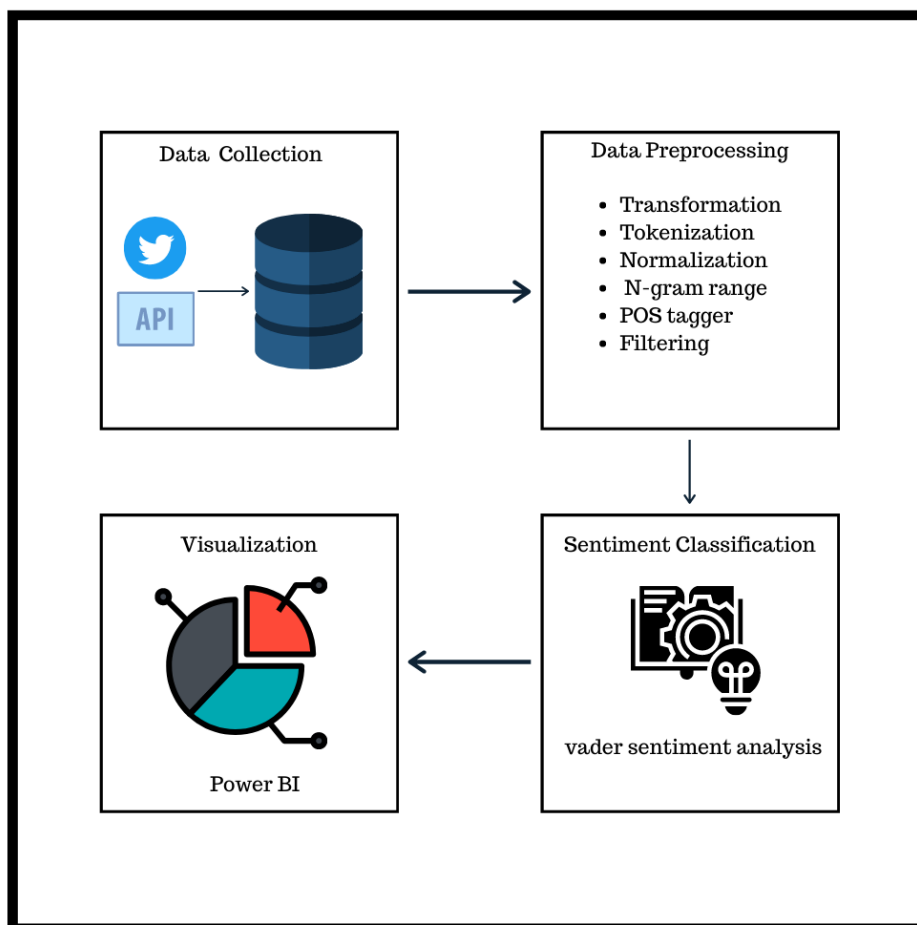


Рис. 1. Процесс получения и анализа данных из Twitter
Fig. 1. The process of obtaining and analyzing data from Twitter

СБОР ДАННЫХ

Данные были получены из Twitter через Twitter API [8], и в них были введены ключ и код клиента, которые используются для идентификации пользователя и получения твитов путем поиска по определенным ключевым словам. В нашем случае мы использовали экстрактор данных “Orange” для извлечения данных из Twitter. Были введены следующие ключевые слова для запроса:

Mooc
online course
digital learning
e-learning
learn online
online learning

Данные, которые не будут обрабатываться, отфильтровали следующим образом:

1. Твиты написаны только на английском языке.
2. Исключение ретвитов.

1	Content	Date	Language	Location	Number of	Number of	In Reply To	Author Name	Author Display Name	Author Status	Author Follower Count	Author Retweet Count	Author Favorite Count	Author Listed	Author Verified	Author
2	Our rates i	2021-04-19 19:en			0	0		Suregradei	Your succe	1723	0	170	62	1	False	@Timelywriters01
3	Our rates i	2021-04-19 19:en			0	0		Excel Onlir	Hire a tear	5427	834	604	504	0	False	@online_excel
4	@Reallifec	2021-04-19 19:en			0	0	@Reallifec	Coach Car	Father to t	1918	3425	350	236	4	False	@kcizz1e
5	Our rates i	2021-04-19 19:en			0	0		Superior V	We offer r	3923	406	131	68	0	False	@SuperiorWrite13
6	ATTENTIO	2021-04-19 19:en			3	1		zoe ♡(di)	good c	47751	192804	5964	7133	100	False	@POTTEROMENS
7	We help er	2021-04-19 19:en			0	0		Superior V	We offer r	3923	406	131	68	0	False	@SuperiorWrite13
8	We help er	2021-04-19 19:en			0	0		Perfected	We offer A	5458	14743	313	698	0	False	@perfectedwrite4
9	Online Lea	2021-04-19 19:en			0	0		Regina Nic	Empowerii	2691	5599	474	74	0	False	@ImReginaNicole
10	We are avi	2021-04-19 19:en			0	0		Superior V	We offer r	3923	406	131	68	0	False	@SuperiorWrite13
11	@Thee_m	2021-04-19 19:en	KE		0	0	@Thee_m	The Overtl	MANCHI	255042	104	444	1760	37	False	@Carytosh
12	Our rates i	2021-04-19 19:en			0	0		W R I T E Y	PROFESSIC	9164	222	128	3965	2	False	@writegram
13	Our rates i	2021-04-19 19:en			0	0		W R I T E V	we write;C	20064	1945	398	4927	3	False	@write_wave
14	Our rates i	2021-04-19 19:en			0	0		Superior V	We offer r	3923	406	131	68	0	False	@SuperiorWrite13
15	@pr_marg	2021-04-19 19:en			0	0	@pr_marg	Donna Russell		23	73	22	2	0	False	@DonnaRu87737275
16	My Trade i	2021-04-19 19:en			0	0		DenDon60	Son, Broth	3	2	10	1	0	False	@DDon604
17	never thou	2021-04-19 19:en			0	0		loz	21	9622	14032	619	402	0	False	@lozaxk
18	We are avi	2021-04-19 19:en			0	0		Superior V	We offer r	3923	406	131	68	0	False	@SuperiorWrite13
19	@edsbs	2021-04-19 19:en			0	0	@edsbs	Dee Seiffe	Retired frc	31999	63216	1414	307	0	False	@deeseiffer
20	We are avi	2021-04-19 19:en			0	0		Purity Writ	The profici	39	14	4	2	0	False	@PurityWriter
21	Our rates i	2021-04-19 19:en			0	0		KAIZEN WI	We @kaiz	9842	3531	5000	645	1	False	@KaizenEssays
22	If you wan	2021-04-19 19:en			0	0		TwentyOn	We believ	536	11	84	46	1	False	@TwentyOneLead
23	Learn how	2021-04-19 19:en			0	0		MediaWisi	We're a nc	3280	1231	392	15657	252	True	@mediawise
24	@naomirv	2021-04-19 19:en			1	0	@naomirv	Steven Wil	If you're g	11739	6619	347	239	0	False	@StevenWilson777
25	We are avi	2021-04-19 19:en			0	0		EssayWrit	We are ha	473	3970	5001	1045	0	False	@Best_Writers67
26	@RogersH	2021-04-19 19:en			0	0	@RogersH	Tkerr		1	0	4	0	0	False	@yaadytrk
27	@Ofstedn	2021-04-19 19:en			0	0	@Ofstedn	Amy Joyn	Mum of 2	50	127	65	27	0	False	@ajoynes75
28	more in th	2021-04-19 19:en			0	0	@ChildMe	Child Men	We conn	76	79	24	16	0	False	@ChildMentorship
29	We ensure	2021-04-19 19:en			0	0		PAPERS W	Competiti	5921	2245	1387	478	2	False	@paperwritingpr

Рис. 2. Список данных

Fig. 2. Data list

ПОДГОТОВКА ДАННЫХ

После процесса сканирования с помощью инструмента Orange был применен процесс очистки данных, поскольку извлекаемые данные могут содержать несоответствующие и раздражающие данные. Этот шаг помогает сократить устаревший словарный запас для достижения наилучших результатов [9]. Универсального списка таких слов не существует, поэтому в процессе очистки все неактуальные данные были удалены. Некоторые из часто используемых шагов предварительной обработки включают удаление стоп-слов, символа @, тегов POS, бессмысленного слова или символа и т.д. Этапы предварительной обработки следующие:

- Используйте строчные буквы для всех текстовых данных;
- Удалите гиперссылки, если они есть;
- Токенизация: RegExr;
- Удаление стоп-слова: Исключение исключенных слов, то есть слов, не влияющих на значение и общее восприятие текста, таких как предлоги.

В таблице 1 представлен список слов, удаленных из собранных твитов.

Таблица 1

Стоп-слова

Table 1

Stop words

E	16	3	9
Us	Also	next	10
2021	Would	19	8
Due	5	covid	6
2	dm	Covid 19	
1	via	4	

Список слов после процесса предварительной обработки данных показан на рисунке 3.



Рис. 3. Список слов
Fig. 3. List of words

ПРОЦЕСС ЭМОЦИОНАЛЬНОГО АНАЛИЗА

После процесса предварительной обработки данных данные были классифицированы на положительные, отрицательные или нейтральные. Сначала мы использовали “Vader”, чтобы найти полярность каждого слова в предложении, затем общая полярность была вычислена путем вычитания общей полярности всех положительных слов из общей полярности всех отрицательных слов.

Алгоритм, используемый для расчета полярности каждого твита, выглядит следующим образом:

- Если сумма > 0 , твит положительный, в противном случае – отрицательный.
- Если Total = 0, твит нейтрален.

Power BI использовался для визуализации данных. Рисунок 4 показывает процент положительных, отрицательных и нейтральных твитов.

Было замечено, что процент положительных твитов больше, чем отрицательных твитов, как показано на рис. 4. Тем не менее, есть еще возможности для улучшения, поскольку 19.27% - отрицательные твиты (рис. 4).

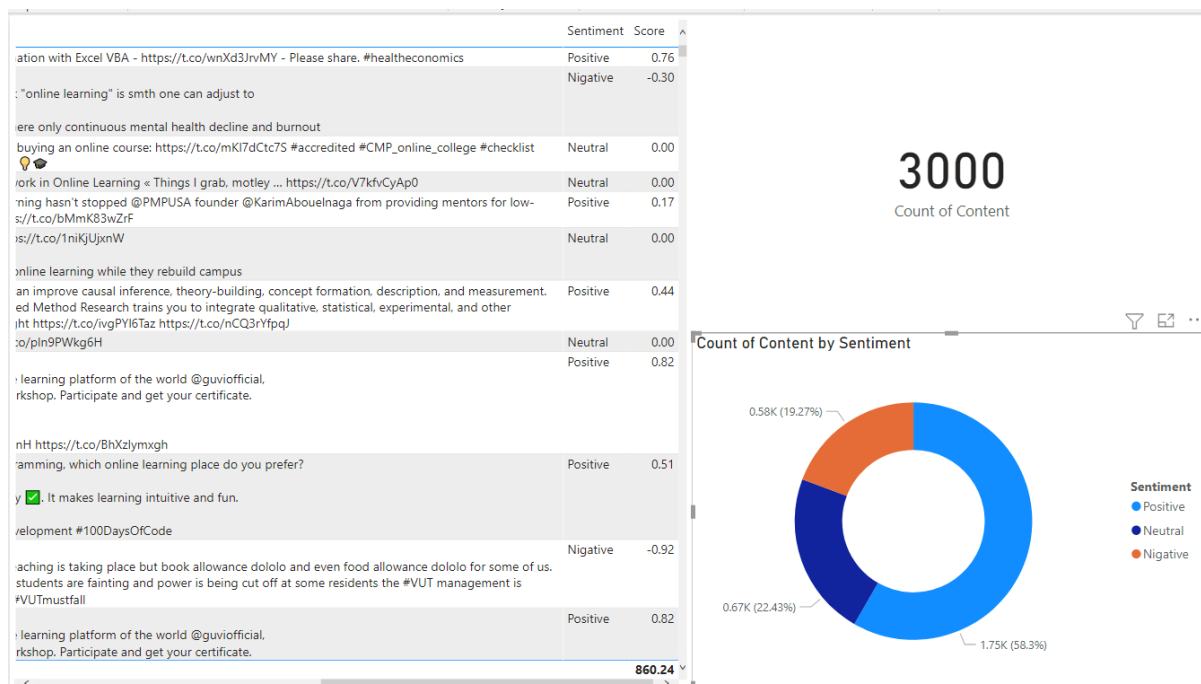
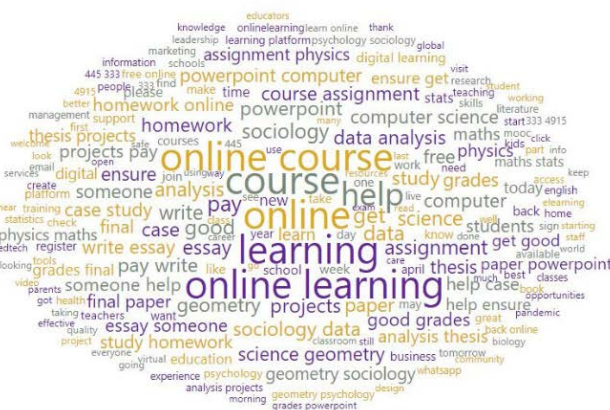


Рис. 4. Процент положительных, отрицательных и нейтральных твитов
Fig. 4. Percentage of positive, negative and neutral tweets

Также было замечено, что слова, используемые в большинстве положительных твитов, это «учеба», «домашнее задание», «задания курса», «бесплатно», «гарантия», «хорошие оценки» и т.д., А отрицательные твиты – это «платить», «проекты», «задания по курсу», «литературные проекты», «время», «диссертация», «исследования». Как показано на рисунке 5, размер слов зависит от их количества.

положительные слова



отрицательные слова

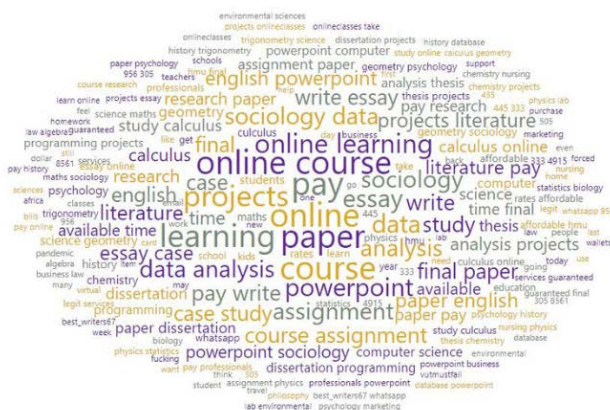


Рис. 5. Облако слов

Fig. 5. Cloud of words

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведя эксперимент с использованием 3000 твитов, "Vader" был использован для определения полярности твитов как положительной, отрицательной или нейтральной. После определения полярности и визуализации данных с помощью Power BI было замечено, что процент положительных твитов больше, чем отрицательных. Однако есть процент негативных твитов. Большинство негативных твитов содержат такие слова, как «платить», «проекты», «задания по курсу», «литературные проекты», «время», «диссертация», «исследования» и т.д (рис. 4). Следовательно, можно сосредоточить внимание на этих областях для улучшения электронного обучения.

Это исследование чувствительно ко времени, т.к. твиты были собраны в апреле 2021 года. Однако оно достаточно достоверно, чтобы провести объективный анализ реакции аудитории на электронное обучение.

Есть несколько направлений будущей работы. Во-первых, другие исследователи могут анализировать данные Twitter на более крупном наборе данных, содержащем миллионы твитов. Мы ожидаем, что результаты будут немного другими для большего набора данных, что может дать дополнительную информацию. Во-вторых, в этом исследовании использовались только

данные Twitter. Будет интересно извлечь и проанализировать данные с других интернет-платформ (таких как Google Trend, Google News, Facebook и YouTube), чтобы оценить корреляцию с информацией в твитах, а также увидеть, совместимы ли результаты этого исследования с другими платформами. В-третьих, данные не собирались для целевых регионов или языков, кроме английского. Концентрация на определенных языках может быть интересным способом намеренного сбора твитов из определенных стран или регионов для более подробного анализа местной реакции людей в этих странах.

Список литературы

1. Xia Цзинфэн. (2014). Контент-анализ твитов об опыте MOOK. Вездесущее обучение [Текст]. 6. 1-14. 10.18848/1835-9795/CGP/v06i03/40251.
2. Нур, Салеха и Го, Йи и Хамад, Сайед и Шах, Сайед Хамад Хассан и Фурнье Вигер, Филипп и Наваз, М. Сакиб. (2020). Анализ реакции общественности на вспышку нового коронавируса (COVID-19) в Твиттере. Кибернет [Текст]. 10.1108/K-05-2020-0258.
3. Рао К.П., Конеру А. и Раджу Д.Н. (2019). Алгоритм OEFC — анализ настроений по системе налогообложения товаров и услуг в Индии. Когнитивная информатика и программные вычисления [Текст] (pp. 441-451).
4. Юнас, Фарах и Оуда, Маджди. (2021). Пространственный анализ настроений и восприятия статей BBC News с использованием интеллектуального анализа сообщений Twitter [текст]. 10.1007/978-3-030-55187-2_27.
5. Orange data mining documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://orangedatamining.com/docs/>
6. VADER Sentiment Analysis documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pypi.org/project/vaderSentiment/>
7. Power BI documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.microsoft.com/en-us/power-bi/>
8. Twitter API [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://developer.twitter.com/en/docs>
9. All you need to know about text preprocessing for NLP and Machine Learning [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kdnuggets.com/2019/04/text-preprocessing-nlp-machine-learning.html>

References

1. Xia, Jingfeng. (2014). A Content Analysis of Tweets about MOOC Experiences. Ubiquitous Learning. 6. 1-14. 10.18848/1835-9795/CGP/v06i03/40251.
2. Noor, Saleha & Guo, Yi & Hamad, Syed & Shah, Syed Hamad Hassan & Fournier Viger, Philippe & Nawaz, M. Saqib. (2020). Analysis of public reactions to the novel Coronavirus (COVID-19) outbreak on Twitter. Kybernetes. 10.1108/K-05-2020-0258.
3. Rao, K. P., Koneru, A., & Raju, D. N. (2019). OEFC Algorithm—Sentiment Analysis on Goods and Service Tax System in India. Cognitive Informatics and Soft Computing (pp. 441-451).
4. Younas, Farah & Owda, Majdi. (2021). Spatial Sentiment and Perception Analysis of BBC News Articles Using Twitter Posts Mining. 10.1007/978-3-030-55187-2_27.
5. Orange data mining documentation [Electronic resource]. – URL: <https://orangedatamining.com/docs/>
6. VADER Sentiment Analysis documentation [Electronic resource]. – URL: <https://pypi.org/project/vaderSentiment/>
7. Power BI documentation [Electronic resource]. – URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/power-bi/>
8. Twitter API [Electronic resource]. – URL: <https://developer.twitter.com/en/docs>
9. All you need to know about text preprocessing for NLP and Machine Learning [Electronic resource]. – URL: <https://www.kdnuggets.com/2019/04/text-preprocessing-nlp-machine-learning.html>

Кнаан Або-Рашед, аспирант Белгородского государственного национального исследовательского университета
Польщиков Константин Александрович, доктор технических наук, доцент, директор института инженерных и цифровых технологий

Knaan Abo-Rashed, postgraduate student, Belgorod State National Research University
Polshchikov Konstantin Alexandrovich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Director of the Institute of Engineering and Digital Technologies

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ COMPUTER SIMULATION

УДК 004.8

DOI: 10.18413/2518-1092-2022-7-2-0-7

Самигулин Т.Р.
Смирнов И.З.
Лаушкина А.А.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАРКЕРОВ АГРЕССИВНОГО
ПОВЕДЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА
АУДИО И ТЕКСТОВОГО КАНАЛОВ**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», Кронверкский пр., д. 49, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия
e-mail: timursamigulin98@gmail.com, 1vany1@mail.ru, nastasjalausckina@mail.ru

Аннотация

Взаимодействие участников цифровых платформ требует оперативной реакции на действия друг с другом. Важно понимать, что подобное взаимодействие носит многогранный характер, при котором, наряду с передачей информации, необходимо получать информацию о том, как изменяется состояние собеседника, а также особенности его текущего эмоционального состояния и личностных характеристик. В данной работе описана реализация методов извлечения маркеров агрессивного поведения человека по аудио и текстовому каналам. Также представлен подход к объединению вербальных и невербальных признаков речи для детектирования агрессивного поведения человека. Сделан вывод, что использование аудио и текстового каналов передачи информации по отдельности является недостаточным для детектирования агрессивного поведения.

Ключевые слова: агрессивное поведение; вербальный анализ; микроэкспрессии; транскрибация; анализ текста; естественный язык; машинное обучение

Для цитирования: Самигулин Т.Р., Смирнов И.З., Лаушкина А.А. Определение маркеров агрессивного поведения человека на основе анализа аудио и текстового каналов // Научный результат. Информационные технологии. – Т.7, №2, 2022. – С. 55-57. DOI: 10.18413/2518-1092-2022-7-2-0-7

Samigulin T.R.
Smirnov I.Z.
Laushkina A.A.

**DETERMINATION OF MARKERS OF AGGRESSIVE BEHAVIOR
BASED ON THE ANALYSIS OF AUDIO AND TEXT CHANNELS**

Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics,
49 Kronverkskiy prospekt, St. Petersburg, 197101, Russia
e-mail: timursamigulin98@gmail.com, 1vany1@mail.ru, nastasjalausckina@mail.ru

Abstract

The interaction of participants in digital platforms requires a prompt response to actions from each other. At the same time, such interaction is multifaceted, in which, along with the transfer of information, knowledge about the state of the interlocutor, his current emotional state and personal characteristics is necessary. As part of a pilot study at ITMO University, together with psychologists from St. Petersburg State University, a list of markers of aggressive behavior was determined. And within the framework of this work, the implementation of methods for extracting markers of aggressive human behavior through audio and text channels is described. This paper also describes the approach of combining verbal and non-verbal features in speech. From the results obtained in the course of applying methods for extracting markers of aggressive behavior, we can conclude that the use of audio and text channels of information separately is not enough to detect aggressive behavior.

Keywords: aggressive behavior; verbal analysis; microexpressions; speech recognition; text analysis; natural language; machine learning

For citation: Samigulin T.R., Smirnov I.Z., Laushkina A.A. Determination of markers of aggressive behavior based on the analysis of audio and text channels // Research result. Information technologies. – T.7, №2, 2022. – P. 55-57. DOI: 10.18413/2518-1092-2022-7-2-0-7

ВВЕДЕНИЕ

Количество информации непрерывно увеличивается, в связи с этим, от переизбытка информации возникает информационный шум, который негативно сказывается на состоянии человека. Так, перегрузка информацией искажает как эмоциональные, так и интеллектуальные способности человека, что сказывается на способности к эмпатии и принятию обдуманных решений. В частности, ухудшение эмоциональных и интеллектуальных способностей проявляется в более частом проявлении агрессии [1]. В работе [2] А.А. Реан под агрессией понимается любое намеренное действие, направленное на причинение ущерба другому живому существу. В данной работе под агрессией понимается враждебная реакция человека на некомфортную для него ситуацию.

Некомфортной ситуацией для человека, например, является увеличение информационного шума. Такая ситуация, в частности, возникает в случае, когда компании используют телефонные звонки как средство информирования пользователей о своем продукте. В качестве примера можно привести банки, которые предлагают пользователю открыть новый продукт, или мобильных операторов, информирующих пользователя о новом “выгодном” для него тарифе.

Обычно для подобных задач у компаний есть call-центры, которые обзванивают клиентов и предлагают свой продукт. У работников call-центров есть набор стратегий того, как необходимо вести общение с клиентом в зависимости от его ответов. Недостатком данных стратегий является то, что они ориентируются только на ответы клиента, при том, что речь можно представить в виде вербальных и невербальных сигналов. В таком случае слова отнесутся к вербальным сигналам, а звуковая волна, создаваемая голосом, к невербальным [3]. При учетывании только ответа клиента внимание переходит только на вербальные признаки.

Учитывание невербальных признаков позволяет оценить психоэмоциональное состояние человека и таким образом детектировать агрессивное поведение. Игнорирование данного аспекта создает для компании риски, такие как интерпретация и перенос негативных эмоций пользователя на бренд, что несет имиджевые риски для компании. Таким образом анализ невербальных признаков дает возможность подобрать более подходящую стратегию общения с клиентом. В связи с этим, задача выделения маркеров агрессивного поведения из аудио и текстового каналов речи является актуальной задачей.

Работа с аудиоканалом позволяет получить просодическую информацию (частотные, амплитудные, динамические, темпоральные характеристики [4]) о речи, которая широко применяется в задачах анализа психоэмоционального состояния человека [5]. В частности, аудиоканал широко применяется при решении задачи детекции эмоций [6,7].

Также в дополнение к аудио каналу можно анализировать текстовый канал, используя транскрипцию аудио в текст. Таким образом мы сможем учесть морфологические и семантические признаки такие как: повелительное наклонение, уменьшительно-ласкательные суффиксы, нецензурная лексика, токсичная речь, оскорбления и угрозы.

Данная работа направлена на соотнесение параметров, получаемых при работе с речью, представленной в виде текста и аудиосигнала с целью исследования взаимодействия между вербальными и невербальными признаками в задаче детектирования агрессивного поведения.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В рамках пилотажного исследования в качестве гипотезы было принято наличие зависимости между уровнем агрессии личности и количественными и качественными характеристиками вербальных и невербальных маркеров агрессии. Был выполнен сбор данных для определения поведенческих маркеров агрессивного поведения. Данные представляют из себя

набор видеозаписей психологических тестирований студентов, возраст которых варьируется в пределах 20-25 лет.

Добровольцам предоставлялся контент, направленный на активацию агрессии и нейтрального состояния, после чего требовалось выполнить определенные задания: прохождение теста Розенцвейга и описание своих действий при нахождении в мысленной ситуации «Игра». В первом случае участнику предоставлялся стимульный материал (изображения), которые описывают фрустрационную ситуацию и содержат заполненный квадрат со словами одного участника ситуации и пустой для слов, которые предполагается заполнить испытуемому [8]. В данном случае ответы чаще всего были непродолжительными, но разнообразными. Описание своих действий при прохождении «Игры» было более развернутым и аргументированным, что позволяло получить более продолжительные записи речи.

Для анализа записей каждый фрагмент описывался набором невербальных и вербальных маркеров поведения. Далее описаны подходы, применяемые для их извлечения.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ МАРКЕРОВ АГРЕССИВНОГО ПОВЕДЕНИЯ ИЗ РЕЧИ

К невербальным признакам в эксперименте отнесены параметры речи, применяемые для описания аудиоканала. В данном случае были выбраны следующие признаки:

- Резкое повышение/понижение громкости речи;
- Темп речи;
- Эмоциональный окрас речи: злость, отвращение, спокойствие, радость, страх, удивление, печаль.

Видеозаписи собранного набора данных представляли из себя записи людей, находящихся в разных условиях и использующих различные устройства звукозаписи. Поэтому необходима была предварительная обработка данных, которая заключалась в удалении шумов и нормализации громкости. Аналогичный подход к предобработке записей применяется в работе [9].

Для расчета резкого изменения громкости был применен эвристический подход, который заключается в расчете угла наклона между соседними отсчетами амплитудной огибающей и абсолютным расстоянием до максимального значения. Таким образом, изменение громкости было посчитано резким, если амплитудное значение отсчета близко к максимальному значению по всему речевому сигналу и достигается быстрее, чем происходят переходы к другим значениям внутри сигнала. За темп речи было принято число произносимых слов в минуту.

Для извлечения класса эмоций была обучена модель сверточной нейронной сети с полносвязным классификатором. Модель принимает на вход аудио-сигнал в виде мел-кепстральных коэффициентов (MFCC – краткосрочный спектр мощности звука, расчет мощности основан на особенностях восприятия звука органами слуха) [4]. Для обучения были объединены следующие наборы данных CaFE [10], Emo-DB [11], RAVDESS [12], SAVEE [13] для того, чтобы не было переобучения на языке одного из наборов данных [14]. Полученный набор данных включают в себя короткие аудиозаписи речи, каждая из которых отнесена к одному из семи классов: злость, скука, тревога, радость, печаль, отвращение, нейтральное состояние (отсутствие эмоции). Классификатор принимает на вход фрагменты длительностью 3 секунды в случае, если фрагмент имеет меньшую длительность, происходит заполнение фрагмента нулями до необходимого размера.

В данном эксперименте классификатор использовался для получения вероятностных оценок каждого класса эмоции на заданном промежутке времени вместо получения одного значения – класса. Далее значения усреднялись в границах одного задания. Таким образом можно наблюдать динамику палитры эмоций между заданиями. На рисунке 1 представлены график эмоционального состояния одного из участников при прохождении теста Розенцвейга.

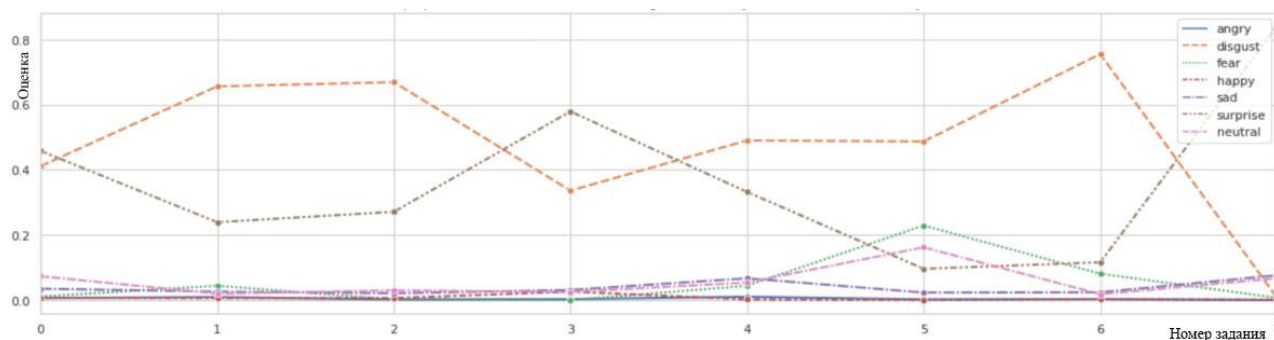


Рис. 1. График эмоционального состояния участника эксперимента при прохождении теста Розенцвейга. Вероятностные оценки эмоций представлены для 8 заданий в рамках теста
Fig. 1. Graph of the emotional state of the participant of the experiment when passing the Rosenzweig test. Probabilistic estimates of emotions are presented for 8 tasks within the test

Для перехода к текстовому каналу следовало решить задачу транскрибации (расшифровка информации из аудио или видео в текстовую форму) речи. Был выбран набор инструментов Vosk, так как модель, предоставляемая для транскрибации, поддерживает более 20 языков и обучена на большой базе наборов, а также позволяет работать с записями без ограничения по длительности.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ МАРКЕРОВ АГРЕССИИ ИЗ ТЕКСТА

В дополнение к невербальным признакам из аудио канала были сформулированы следующие вербальные признаки, которые позволяют детектировать агрессию по тексту [15]:

- наличие нецензурной лексики и жаргона в тексте;
- наличие повелительного наклонения;
- наличие уменьшительно-ласкательных\уменьшительно-унизительных конструкций;
- наличие оскорблений;
- наличие угроз;
- наличие токсичности.

Для проверки наличия нецензурной лексики и жаргона был собран словарь из 140 тысяч различных слов, включающий в себя все возможные морфологические модификации для охвата как можно большего количества вариантов слов, относящихся к нецензурной лексике. Каждое слово входящего текста проверяется по данному словарю и подсчитывается количество нецензурной лексики в тексте.

Находится слово в повелительном наклонение или нет определяется с помощью библиотеки `rumorphy2`, позволяющей производить морфологический разбор слова [16].

Чтобы определить уменьшительно-ласкательные и уменьшительно-унизительные конструкций, необходимо:

–обработать слова помощью стеммера. Стеммер позволяет выделить основу слова, то есть убрать окончания;

–проверить наличие уменьшительно-ласкательных и уменьшительно-унизительных суффиксов: -ик, -ек, -к, -ец, -иц, -оск, -ечк, -оньк, -еньк, -ышк, -инш, -ушк, -юшк [17].

Для детекции оскорблений и угроз были дообучены модели нейронной сети на основе архитектуры `RuBertTiny` [18]. Модели дообучались для задачи бинарной классификации, то есть текст относился к одному из двух классов.

Для детекции угроз:

- тесты, содержащие угрозу;
- тексты, не содержащие угроз.

Для детекции оскорблений:

- тексты, содержащие оскорбления;
- тексты, не содержащие оскорбления.

Для обучения использовался набор данных, содержащий 248290 комментария из социальной сети “Одноклассники”. Из них:

- 203685 нормальных сообщений, не содержащих ни оскорблений, ни угроз;
- 36836 сообщений, содержащих оскорбления;
- 11777 сообщений с угрозами.

Также была дообучена модель RuBertTiny для детекции токсичности в тексте [19]. К токсичному тексту относятся любые дискриминирующие и оскорбительные сообщения по отношению к человеку, группе лиц, организации или любому другому одушевленному или неодушевленному субъекту. Для этого было объединено несколько различных наборов данных и на них обучена модель классификации [20].

По итогам обучения моделей были получены следующие результаты, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Оценка метрик

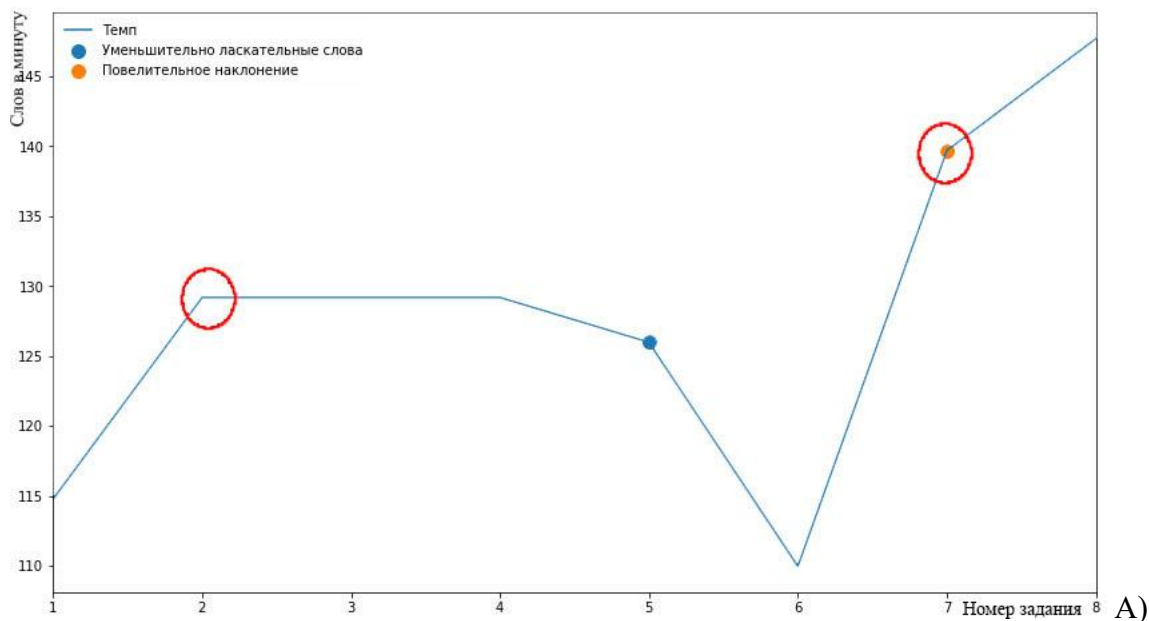
Table 1

Evaluation of metrics

Метрика\Модель	Детекция угроз	Детекция оскорблений	Детекция токсичности
Precision	0.953	0.95	0.945
Recall	0.959	0.948	0.95
F1 score	0.96	0.949	0.948

РЕЗУЛЬТАТ РАБОТЫ АЛГОРИТМА

На рисунке 2 изображены результаты извлечения меток из видеозаписей прохождения теста Розенцвейга двух участников эксперимента.



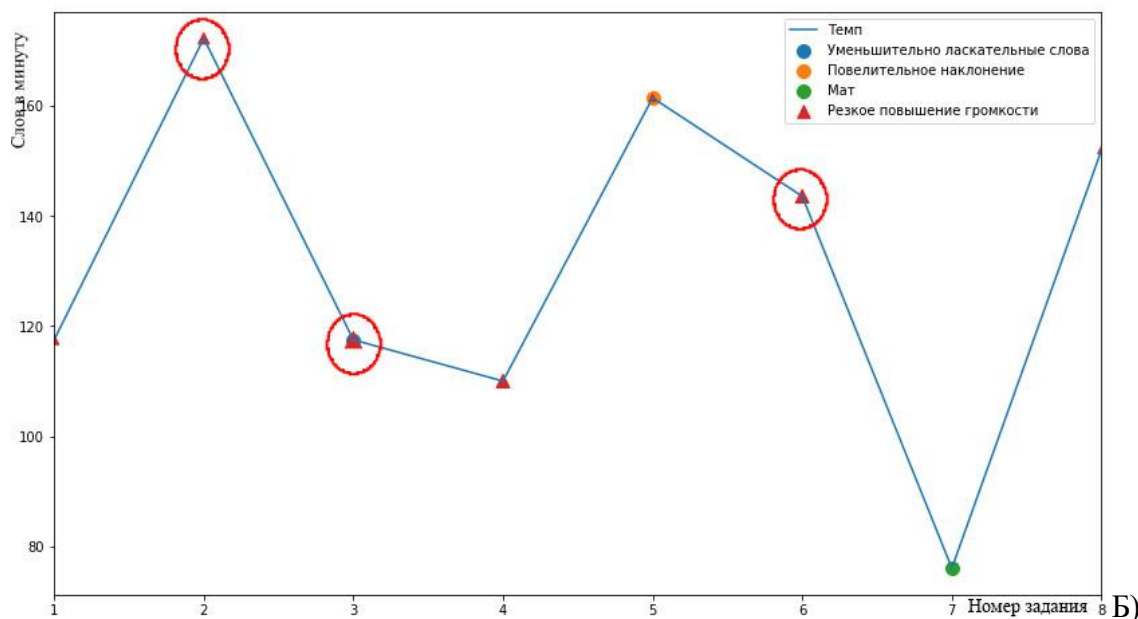


Рис. 2. График отображающий изменение значения темпа, а так же наличия вербальных и невербальных меток во время ответа участника на задания теста Розенцвейга. Размеры обозначений (круг в случае вербальных признаков, треугольник для невербального) зависят от количества появления маркеров. Окружностью красного цвета выделены фрагменты, в которых поведение участника было агрессивным А) Первый участник Б) Второй участник

Fig. 2. Graph showing the change in the tempo value, as well as the presence of verbal and nonverbal marks during the participant's response to the tasks of the Rosenzweig test. The size of the symbols (circle in the case of verbal signs, triangle for nonverbal) depends on the number of markers appearing. The red circle highlights the fragments in which the participant's behavior was aggressive A) The first participant B) The second participant

Можно наблюдать, что параметры меняются в зависимости от контента. Также анализировать необходимо не сами статичные значения маркеров, а характер их изменения. Это позволяет менять стратегию ведения диалога с человеком в зависимости от того, в какой момент его поведение становится агрессивным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложен подход для объединения информации, получаемой из вербальной и невербальной составляющей речи для детектирования агрессивного поведения. Были описаны методы для извлечения маркеров агрессивного поведения. На основании результатов, полученных в процессе применения методов для извлечения маркеров агрессивного поведения, можно сделать вывод, что использование каналов информации по отдельности недостаточно для детектирования агрессивного поведения. В дальнейшем можно дополнить текущее исследование видео каналом и оценить корреляцию между всеми тремя каналами коммуникации. Так же полученные маркеры позволяют создать интерпретируемую автоматизированную модель, детектирующую агрессивное поведение.

Список литературы

1. Федорук А.В., Зиматкина Т.И. О проблеме психогенного стресса у студенческой молодежи в связи с информационной перегрузкой // УО "Гродненский государственный медицинский университет" г. Гродно, Республика Беларусь.
2. Rean A.A. Prevention of aggression and antisocial behaviour in adolescents // National Psychological Journal. – 2018. – № 2. – P. 3-12.
3. Lefter I., Rothkrantz L.J.M., Burghouts G.J. Aggression Detection in Speech Using Sensor and Semantic Information. – 2012. – P. 665–672.

4. Goupil L. et al. Listeners' perceptions of the certainty and honesty of a speaker are associated with a common prosodic signature // *Nature Communications*. – 2021. – Vol. 12. – № 1. – P. 861.
5. Giddens C.L. et al. Vocal Indices of Stress: A Review // *Journal of Voice*. – 2013. – Vol. 27. – № 3. – P. 390.e21-390.e29.
6. Atassi H., Smekal Z., Esposito A. Emotion recognition from spontaneous Slavic speech // 2012 IEEE 3rd International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom). IEEE, 2012. – P. 389–394.
7. Speech Emotion Recognition For Kazakh And Russian Languages // *Applied Mathematics & Information Sciences*. – 2020. – Vol. 14. – № 1. – P. 65–68.
8. Тарабрина Н.В. Экспериментально-психологическая методика изучения фрустрационных реакций // *Методические рекомендации*. 1984.
9. Marcolla F., de Santiago R., Dazzi R. Novel Lie Speech Classification by using Voice Stress // *Proceedings of the 12th International Conference on Agents and Artificial Intelligence*. SCITEPRESS – Science and Technology Publications, 2020. – P. 742–749.
10. Gournay P., Lahaie O., Lefebvre R. A canadian french emotional speech dataset // *Proceedings of the 9th ACM Multimedia Systems Conference*. New York, NY, USA: ACM, 2018. – P. 399–402.
11. Burkhardt F. et al. A Database of German Emotional Speech // *Interspeech*. 2005. P. 1517–1520.
12. Luna-Jiménez C. et al. A Proposal for Multimodal Emotion Recognition Using Aural Transformers and Action Units on RAVDESS Dataset // *Applied Sciences*. 2021. – Vol. 12. – № 1. – P. 327.
13. S. Haq P.J.B.J. Multimodal Emotion Recognition / ed. Wang W. IGI Global, 2010. 398–423 p.
14. Kossaifi J. et al. SEWA DB: A Rich Database for Audio-Visual Emotion and Sentiment Research in the Wild. 2019.
15. Девяткин Д.А. и др. Интеллектуальный анализ проявлений вербальной агрессивности в текстах сетевых сообществ // *Искусственный интеллект и принятие решений*. – 2014. – №. 2. – С. 27–41.
16. Korobov M. Morphological analyzer and generator for Russian and Ukrainian languages // *International conference on analysis of images, social networks and texts*. – Springer, Cham, 2015. – С. 320–332.
17. Евсеева И.В. К вопросу о важности уменьшительно-ласкательных суффиксов в русском языке // *Взаимодействие языка и культуры в коммуникации и тексте: сборник научных статей*. – 2012. – Т. 3. – № 3. – С. 73–77.
18. Tenney I., Das D., Pavlick E. BERT rediscovers the classical NLP pipeline // *arXiv preprint arXiv:1905.05950*. – 2019.
19. Saeed H. H., Shahzad K., Kamiran F. Overlapping toxic sentiment classification using deep neural architectures // 2018 IEEE international conference on data mining workshops (ICDMW). – IEEE, 2018. – P. 1361–1366.
20. Maslej-Krešňáková V. et al. Comparison of deep learning models and various text pre-processing techniques for the toxic comments classification // *Applied Sciences*. – 2020. – Т. 10. – № 23. – P. 8631.

References

1. Fedoruk A.V. Zimatkina.T.I. On the problem of psychogenic stress among students in connection with information overload // *UO "Grodno State Medical University"* Grodno, Republic of Belarus.
2. Rean A.A. Prevention of aggression and antisocial behaviour in adolescents // *National Psychological Journal*. – 2018. – № 2. – P. 3–12.
3. Lefter I., Rothkrantz L.J.M., Burghouts G.J. Aggression Detection in Speech Using Sensor and Semantic Information. – 2012. – P. 665–672.
4. Goupil L. et al. Listeners' perceptions of the certainty and honesty of a speaker are associated with a common prosodic signature // *Nature Communications*. – 2021. – Vol. 12. – № 1. – P. 861.
5. Giddens C.L. et al. Vocal Indices of Stress: A Review // *Journal of Voice*. – 2013. – Vol. 27. – № 3. – P. 390.e21-390.e29.
6. Atassi H., Smekal Z., Esposito A. Emotion recognition from spontaneous Slavic speech // 2012 IEEE 3rd International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom). IEEE, 2012. – P. 389–394.
7. Speech Emotion Recognition For Kazakh And Russian Languages // *Applied Mathematics & Information Sciences*. – 2020. – Vol. 14. – № 1. – P. 65–68.
8. Tarabrina N.V. Experimental psychological methodology for studying frustration reactions // *Methodological recommendations*. 1984.
9. Marcolla F., de Santiago R., Dazzi R. Novel Lie Speech Classification by using Voice Stress // *Proceedings of the 12th International Conference on Agents and Artificial Intelligence*. SCITEPRESS – Science and Technology Publications, 2020. – P. 742–749.

10. Gournay P., Lahaie O., Lefebvre R. A canadian french emotional speech dataset // Proceedings of the 9th ACM Multimedia Systems Conference. New York, NY, USA: ACM, 2018. – P. 399–402.
11. Burkhardt F. et al. A Database of German Emotional Speech // Interspeech. 2005. P. 1517–1520.
12. Luna-Jiménez C. et al. A Proposal for Multimodal Emotion Recognition Using Aural Transformers and Action Units on RAVDESS Dataset // Applied Sciences. 2021. – Vol. 12. – № 1. – P. 327.
13. S. Haq P.J.B.J. Multimodal Emotion Recognition / ed. Wang W. IGI Global, 2010. 398–423 p.
14. Kossaifi J. et al. SEWA DB: A Rich Database for Audio-Visual Emotion and Sentiment Research in the Wild. 2019.
15. Devyatkin D. A. et al. Intellectual analysis of verbal aggressiveness in the texts of online communities // Artificial intelligence and decision-making. – 2014. – №. 2. – Pp. 27-41.
16. Korobov M. Morphological analyzer and generator for Russian and Ukrainian languages // International conference on analysis of images, social networks and texts. – Springer, Cham, 2015. – C. 320-332.
17. Evseeva I. V. On the importance of diminutive suffixes in the Russian language // The interaction of language and culture in communication and text: a collection of scientific articles. – 2012. – Vol. 3. – No. 3. – pp. 73-77.
18. Tenney I., Das D., Pavlick E. BERT rediscovers the classical NLP pipeline // arXiv preprint arXiv:1905.05950. – 2019.
19. Saeed H. H., Shahzad K., Kamiran F. Overlapping toxic sentiment classification using deep neural architectures // 2018 IEEE international conference on data mining workshops (ICDMW). – IEEE, 2018. – P. 1361-1366.
20. Maslej-Krešňáková V. et al. Comparison of deep learning models and various text pre-processing techniques for the toxic comments classification // Applied Sciences. – 2020. – T. 10. – № 23. – C. 8631.

Самигуллин Тимур Русланович, студент 2-го курса магистратуры, инженер Национального центра когнитивных разработок

Смирнов Иван Захарович, студент 1-го курса магистратуры, инженер Национального центра когнитивных разработок

Лаушкина Анастасия Александровна, аспирант, инженер Национального центра когнитивных разработок

Samigullin Timur Ruslanovich, 2nd year Master's student, engineer at National Center for Cognitive Research

Smirnov Ivan Zakharovich, 1st year Master's student, engineer at National Center for Cognitive Research

Laushkina Anastasia Alexandrovna, postgraduate student, engineer, National Center for Cognitive Development

УДК 004.8

DOI: 10.18413/2518-1092-2022-7-2-0-8

Медведев А.А.
Лаптев А.А.

АЛГОРИТМ ВЫЯВЛЕНИЯ НЕВЕРБАЛЬНЫХ МАРКЕРОВ ПОВЕДЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА НА ВИДЕО

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», Кронверкский пр., д. 49, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия
e-mail: anatoimdvdv@gmail.com, nickname.avast@gmail.com

Аннотация

Микровыражения – бессознательные, кратковременные невербальные сигналы, которые позволяют определить эмоциональное состояние человека. Они возникают, когда человек блокирует свои эмоции или скрывает истинные намерения. Определение невербальных сигналов становится актуальной задачей в ситуациях, где ложь или сокрытие информации приводят к ресурсным или финансовым потерям, влияют на безопасность и здоровье других людей. Возросшее количество онлайн-конференций открывает возможности программной обработки видеоканала выступления человека для анализа его эмоций и поведения с целью выявления конгруэнтности или противоречивости высказываний человека. В статье рассматриваются методы компьютерного зрения и машинного обучения, которые позволяют извлекать и анализировать лицо человека по видеоканалу для определения его невербальных маркеров и эмоционального состояния. Подробно рассмотрены метод лицевых ориентиров, особых точек лица, классификация эмоций человека по лицевым ориентирам, детекция морганий и отворачиваний человека во время выступления.

Ключевые слова: невербальные сигналы; детекция лица; лицевые ориентиры; отслеживание взгляда; классификация эмоций; машинное обучение.

Для цитирования: Медведев А.А., Лаптев А.А. Алгоритм выявления невербальных маркеров поведения человека на видео // Научный результат. Информационные технологии. – Т.7, №2, 2022. – С. 58-64. DOI: 10.18413/2518-1092-2022-7-2-0-8

Medvedev A.A.
Laptev A.A.

AN ALGORITHM FOR DETECTING NON-VERBAL MARKERS OF HUMAN BEHAVIOR ON VIDEO

Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics,
49 Kronverkskiy prospekt, St. Petersburg, 197101, Russia
e-mail: anatoimdvdv@gmail.com, nickname.avast@gmail.com

Abstract

Microexpressions are unconscious, short-term non-verbal signals that allow to determine the emotional state of a person. Microexpressions occur when a person blocks emotions or hides true intentions. Determining non-verbal signals becomes an urgent task in situations where lying or hiding information leads to resource or financial losses, affects the safety and health of other people. The spread of online conferences opens up the possibility of programmatic processing of a human speech video channel to analyze emotions and behavior in order to identify the congruence or inconsistency of person's statements. The article discusses computer vision and machine learning methods that allow extracting and analyzing person's face from a video channel to determine its non-verbal markers and emotional state. The method of facial landmarks, key points of the face, classification of human emotions by facial landmarks, detection of blinking and turning of a person during speech are considered in detail.

Keywords: non-verbal signals; face detection; facial landmarks; eye tracking; emotion classification; machine learning

For citation: Medvedev A.A., Laptev A.A. An algorithm for detecting non-verbal markers of human behavior on video // Research result. Information technologies. – Т.7, №2, 2022. – P. 58-64. DOI: 10.18413/2518-1092-2022-7-2-0-8

ВВЕДЕНИЕ

Общение людей состоит из вербальных и невербальных признаков. Невербальными являются сознательные и бессознательные сигналы, которые раскрывают поведение человека, дополняют или заменяют классические средства общения [1-5]. Распространение онлайн конференций открывает доступ к инструментам обработки и анализа материалов выступлений людей по видео, аудио и текстовым каналам. Анализ невербальных признаков позволяет найти взаимосвязь между речью человека и проявлениями бессознательных движений тела и мимики.

Ложь, сокрытие фактов провоцируют людей совершать противоречивые действия, блокировать свои эмоции [6]. Микровыражения — это невербальные сигналы, которые возникают, когда человек скрывает истинные чувства или намерения. Сравнительный анализ вербальных и невербальных компонент коммуникации позволяет оценить конгруэнтность поведения человека, выделить взаимосвязь или расхождение между высказываниями и поведением человека [7].

Одним из методов определения микровыражений человека является отслеживание движений мимики лица, взаимосвязи между мимической активностью и словами человека. Для распознавания мимики человека используется метод лицевых ориентиров, множества ключевых точек лица для определения формы головы, областей глаз, бровей, носа и губ [8].

Детектирование области глаз и зрачков позволяет выделить зоны интереса человека, к которым он возвращается повторно [9]. Взгляд человека — это невербальный показатель внимания человека. Частое моргание, расширенные зрачки, нарушение контакта или резкие перемещения взгляда сигнализируют о внутреннем конфликте человека, что является фактором неискренности высказываний [10]. Системы регистрации взгляда способны воссоздать траекторию движений глаз пользователя с помощью методов окулографии [11-12].

Кроме направления взгляда, при фокусном отслеживании лицевых ориентиров используется область рта человека [13]. Ориентиры губ применяются в задаче классификации эмоций человека. Улыбка, открытость или напряженность губ релевантны для оценивания счастливых или депрессивных выражений, возникающих у человека. Губы служат индикатором яркого выражения эмоций человека, либо дополнительным критерием оценки его поведения. В случае анализа поведения улыбка может подтвердить или опровергнуть предсказание эмоции, например, при одновременном распознавании ориентиров рта и бровей человека.

Модели распознавания невербальных сигналов по видеопотоку могут быть применены для анализа стратегии поведения человека во время выступления и определения комбинаций маркеров перспективных для изучения эмоций. Результаты исследования [14] показали, что сочетание движений рук и мимики релевантно для оценки эффективности коммуникации. Количество и частота производимых человеком жестов и сигналов могут быть применены для подготовки к публичным выступлениям и интервью.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Методы машинного обучения позволяют извлекать изображение лица человека из видеопотока независимо от формы, размера и положения головы. Увеличение репрезентативности обучающего набора данных повышает устойчивость моделей к фону и качеству изображений. Открытые наборы данных объединяют видео и изображения людей при различных внешних условиях, факторах вращения головой и направления взгляда, полагаясь на разнообразие данных в выборке, а не на их количество. Тем не менее, собрать единый репрезентативный набор данных невозможно, так как ситуаций и условий, в которых может оказаться человек, множество, в связи с чем возникает проблема сбора данных в естественных условиях.

Примерами наборов данных, основанных на методе лицевых ориентиров, являются наборы MPIGaze [15] и Helen [16]. Labeled Faces in the Wild Home позволяет решить проблему статичных

фонов и узкого диапазона условий [17]. Набор данных состоит из фотографий, сделанных респондентами в естественных условиях.

Для детекции лица человека на видео была использована сверточная нейронная сеть BlazeFace [18] из фреймворка MediaPipe. Дополнительный модуль Face Mesh [19] позволяет распознавать лицевые ориентиры на полученном изображении. MediaPipe Face Mesh принимает на вход цветное изображение размером 128×128 пикселей и возвращает 468 пространственных ориентиров распознанного лица человека. Информация о взаимном расположении координат областей губ, бровей, глаз пользователя открывает возможности анализа мимики человека. Каждый лицевой ориентир содержит X , Y и Z координаты, где значения X и Y нормированы относительно ширины и высоты входного изображения. Координата Z отражает нормализованное расстояние между человеком и камерой. Анализ Z компоненты лица человека позволяет выявить глубину изображения и положение человека относительно камеры.

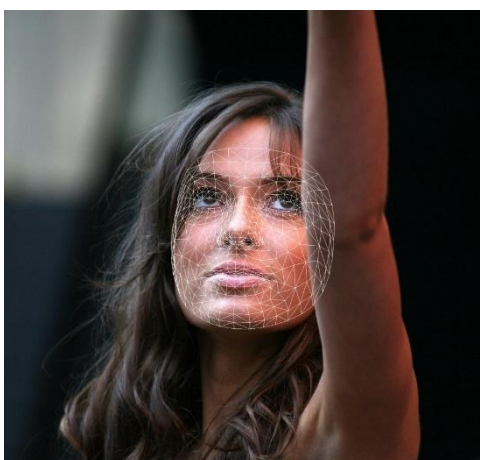


Рис. 1. Детекция лицевых ориентиров с помощью фреймворка MediaPipe [19] на примере набора данных Helen [16]

Fig. 1. Facial landmarks detection using MediaPipe [19] framework on a Helen [16] dataset sample

Изучение отдельных областей лица человека позволяет определить моменты мимической активности по движениям губ, бровей, перемещениям взгляда. С этой целью было рассчитано евклидово расстояние между лицевыми ориентирами и их центром масс. Изменение значений удаленности ориентиров от центра отражает смену микровыражений, возникающих на лице человека. Видеоаналитика выражений лица позволяет определить временные промежутки, в которые человек разговаривал, активно проявлял или скрывал свои эмоции, а также выявить мимические аномалии, которые могут быть отнесены к невербальным сигналам. Тем не менее, модели распознавания лицевых ориентиров возвращают предсказание координат, основанное на аппроксимации обучающего набора данных, а не их реальное положение. Отсутствие репрезентативных примеров выражения эмоций в исходных данных способно привести к неточной интерпретации мимики и паттернов поведения человека.

Отдельным преимуществом модуля Face Mesh является отслеживание положения зрачка человека. Модуль отслеживания зрачков человека был применен для построения карт плотностей распределения положений, в которых находился центр радужной оболочки относительно поверхности глаза.

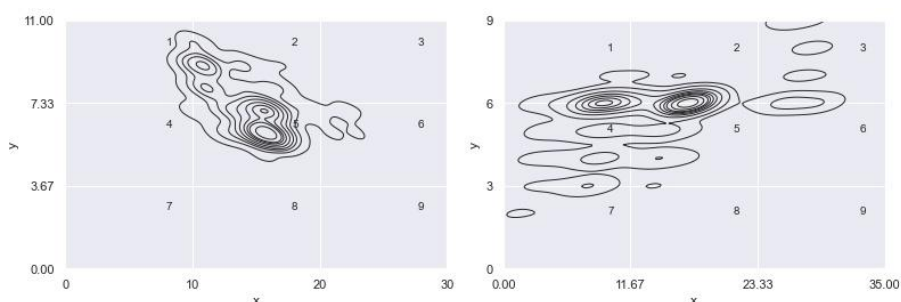


Рис. 2. Построение карт плотности распределения положений зрачков человека во время видеовыступлений

Fig. 2. Building density maps of human pupil positions distribution during videoconferencing

Статистический анализ распределения положений центра зрачка позволяет рассчитать количество отклонений зрачка от центра глаза, частоту и длительность отклонений, выделить области, в которых зрачок человека находился длительную часть времени или, наоборот, не направлялся. Согласно теории утечки эмоций, факт лжи вызывает дискомфорт у человека, что приводит к высокой глазодвигательной активности [1]. Сопоставление активности зрачков человека с видеофрагментами выступления позволяет выявить невербальные маркеры отвода или напряженности взгляда, что говорит о неискренности выступающего или сокрытии информации.

Другим примером невербальных сигналов, связанных с глазами человека, является количество и частота морганий человека. При эмоциональном подъеме движения глаз становятся произвольными, а количество актов морганий увеличивается. Сочетание показателей частоты морганий и изменения положений зрачка позволяет связать невербальную активность с эмоциями страха, гнева или восторга, которые испытывает человек [3]. Для распознавания акта моргания были использованы лицевые ориентиры глаз человека и рассчитано отношение горизонтальной протяженности разреза глаз к вертикальной. В момент моргания глаз человека закрывается, а значит вертикальная протяженность разреза глаз стремится к нулю. Как следствие, отношение горизонтали глаза к вертикали резко возрастает. Подсчет скачков взаимного отношения компонент разреза глаз человека позволяет определить количество и частоту морганий человека во время выступления.

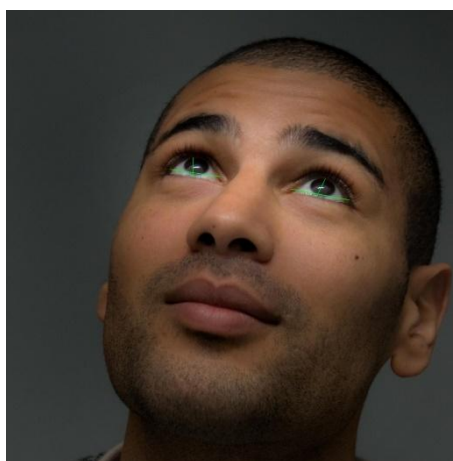


Рис. 3. Детекция разреза глаз для определения момента моргания на примере набора данных Helen [16]

Fig. 3. Eye shape detection to determine blinking moment on a Helen [16] dataset sample

Во время экспрессивной речи голова человека не занимает статичное положение относительно камеры. Частые вращения головой во время выступления или ответа на вопрос являются невербальным сигналом неискренности, неуверенности человека или блокирования

эмоций [1]. Для регистрации момента отворачивания человека были использованы пространственные координаты лицевых ориентиров. С этой целью лицевые ориентиры были нормализованы относительно высоты и ширины лица человека и центрированы в координатном пространстве. Таким образом, положение инвариантных координат лица описывается тремя ортогональными матрицами поворота вокруг осей декартовой системы координат. Преобразование координатного пространства позволило рассчитывать углы и направления вращений головы человека в каждый момент выступления. Частота отворачиваний, количество опусканий головы являются вспомогательными маркерами, которые отражают конгруэнтность поведения человека относительно его высказываний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование видео модальности для детектирования невербальных сигналов позволяет выявлять маркеры поведения человека, которые сложно определить непрофессионалу. Метод лицевых ориентиров открывает доступ к инструментам исследования положения и мимической активности лица человека. Тем не менее, методы компьютерного зрения и машинного обучения требуют наличия крупного и репрезентативного источника данных. Разработчикам и исследователям доступны открытые наборы данных, которые содержат снимки, сделанные в естественных условиях, фронтальные и нефронтальные, с разными уровнями освещенности и разрешениями камеры. Однако, не существует решения, которое объединило бы данные о всех информативных признаках. Комплексность задачи, уникальные области применения, такие как психология и неврология, медицинская статистика, профайлинг и ораторское искусство требуют индивидуальный подход к каждой из сфер. Системы психоэмоциональной оценки человека по видео прогрессируют в обнаружении и нормализации ориентиров для определения микровыражений, чему способствует распространение программных решений с открытым исходным кодом. В статье представлены результаты применения метода лицевых ориентиров и разработки модулей анализа и предобработки полученных признаков. Извлеченные невербальные характеристики позволяют программно расширить описание действий человека, сформировать паттерны поведения выступающего, а также оценить достоверность его высказываний.

Список литературы

1. Ekman, P., Friesen, W.V. Non-Verbal Leakage and Clues to Deception // *Social Encounters: Contributions to Social Interaction*. – 2017. – P. 132-148.
2. Ekman, P., Friesen W.V. *Hand Movements* // *Communication Theory: Second Edition*. – 2017. – P. 273-292.
3. Matsumoto, D., Hwang H.C., Ekman P. Subjective Experience and the Expression of Emotion in Humans // *Encyclopedia of Behavioral Neuroscience: Second Edition*. – 2021. – № 3-3. – P. 671-677.
4. Ekman, P., Friesen W.V. *The Repertoire of Nonverbal Behavior: Categories, Origins, Usage, and Coding* // *Mouton Classics: From Syntax to Cognition. From Phonology to Text*. – 2013. – P. 819-868.
5. Frank, M.G., Yarbrough, J.D., Ekman, P. Investigative Interviewing and the Detection of Deception // *Investigative Interviewing: Rights, Research and Regulation*. – 2013. – P. 229-255.
6. Shen, X., Fan, G., Niu, C., Chen, Z. Catching a Liar through Facial Expression of Fear // *Frontiers in Psychology*. – 2021. – № 12.
7. Goodman, G.S., Luten T.L., Edelstein R.S., Ekman, P. Detecting Lies in Children and Adults // *Law and Human Behavior*. – 2006. – № 30-1. – P. 1-10.
8. Zhang, K., Zhang, Z., Li, Z., Qiao, Y. Joint Face Detection and Alignment using Multitask Cascaded Convolutional Networks // *IEEE Signal Processing Letters*. – 2016. – № 23-10. – P. 1499-1503.
9. Zhang, X., Sugano, Y., Fritz, M., Bulling, A. It's Written all Over Your Face: Full-Face Appearance-Based Gaze Estimation // *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*. – 2017. – P. 2299-2308.
10. Frank, M. G., Yarbrough, J.D., Ekman, P. Detecting Lies in Children and Adults // *Investigative Interviewing and the Detection of Deception*. – 2013. – P. 229-255.

11. Krafka, K., Khosla, A., Kellnhofer, P., Kannan, H., Bhandarkar, S., Matusik, W., Torralba A. Eye Tracking for Everyone // Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2016. – P. 2176-2184.
12. Tonsen, M., Zhang, X., Sugano, Y., Bulling, A. Labelled Pupils in the Wild: A Dataset for Studying Pupil Detection in Unconstrained Environments // Eye Tracking Research and Applications Symposium. – 2016. – № 14. – P. 139-142.
13. Kathi, M.G., Shaik, J.H. Estimating the Smile by Evaluating the Spread of Lips // Revue d'Intelligence Artificielle. – 2021. – № 35-2. – P. 153-158.
14. Pereira, M., Meng, H., Hone, K. Prediction of Communication Effectiveness during Media Skills Training using Commercial Automatic Non-Verbal Recognition Systems // Frontiers in Psychology. – 2021. – №12.
15. Zhang, X., Sugano, Y., Fritz, M., Bulling, A. Appearance-Based Gaze Estimation in the Wild // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2015. – № 7.
16. Le, V., Brandt, J., Lin, Z., Bourdev, L., Huang, T.S. Interactive Facial Feature Localization // Lecture Notes in Computer Science. – 2012.
17. Huang, G.B., Ramesh, M., Berg, T., Learned-Miller, E. Labeled Faces in the Wild: A Database for Studying Face Recognition in Unconstrained Environments. – 2007.
18. Bazarevsky, V., Kartynnik, Yu., Vakunov, A., Raveendran, K., Grundmann, M. BlazeFace: Sub-millisecond Neural Face Detection on Mobile GPUs // CVPR Workshop on Computer Vision for Augmented and Virtual Reality. – 2019.
19. Kartynnik, Yu., Ablavatski, A., Grishchenko, I., Grundmann, M. Real-time Facial Surface Geometry from Monocular Video on Mobile GPUs // CVPR Workshop on Computer Vision for Augmented and Virtual Reality. – 2019.

References

1. Ekman, P., Friesen, W.V. Non-Verbal Leakage and Clues to Deception // Social Encounters: Contributions to Social Interaction. – 2017. – P. 132-148.
2. Ekman, P., Friesen W.V. Hand Movements // Communication Theory: Second Edition. – 2017. – P. 273-292.
3. Matsumoto, D., Hwang H.C., Ekman P. Subjective Experience and the Expression of Emotion in Humans // Encyclopedia of Behavioral Neuroscience: Second Edition. – 2021. – № 3-3. – P. 671-677.
4. Ekman, P., Friesen W.V. The Repertoire of Nonverbal Behavior: Categories, Origins, Usage, and Coding // Mouton Classics: From Syntax to Cognition. From Phonology to Text. – 2013. – P. 819-868.
5. Frank, M.G., Yarbrough, J.D., Ekman, P. Investigative Interviewing and the Detection of Deception // Invstigative Interviewing: Rights, Research and Regulation. – 2013. – P. 229-255.
6. Shen, X., Fan, G., Niu, C., Chen, Z. Catching a Liar through Facial Expression of Fear // Frontiers in Psychology. – 2021. – № 12.
7. Goodman, G.S., Luten T.L., Edelstein R.S., Ekman, P. Detecting Lies in Children and Adults // Law and Human Behavior. – 2006. – № 30-1. – P. 1-10.
8. Zhang, K., Zhang, Z., Li, Z., Qiao, Y. Joint Face Detection and Alignment using Multitask Cascaded Convolutional Networks // IEEE Signal Processing Letters. – 2016. – № 23-10. – P. 1499-1503.
9. Zhang, X., Sugano, Y., Fritz, M., Bulling, A. It's Written all Over Your Face: Full-Face Appearance-Based Gaze Estimation // IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. – 2017. – P. 2299-2308.
10. Frank, M. G., Yarbrough, J.D., Ekman, P. Detecting Lies in Children and Adults // Investigative Interviewing and the Detection of Deception. – 2013. – P. 229-255.
11. Krafka, K., Khosla, A., Kellnhofer, P., Kannan, H., Bhandarkar, S., Matusik, W., Torralba A. Eye Tracking for Everyone // Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2016. – P. 2176-2184.
12. Tonsen, M., Zhang, X., Sugano, Y., Bulling, A. Labelled Pupils in the Wild: A Dataset for Studying Pupil Detection in Unconstrained Environments // Eye Tracking Research and Applications Symposium. – 2016. – № 14. – P. 139-142.
13. Kathi, M.G., Shaik, J.H. Estimating the Smile by Evaluating the Spread of Lips // Revue d'Intelligence Artificielle. – 2021. – № 35-2. – P. 153-158.

14. Pereira, M., Meng, H., Hone, K. Prediction of Communication Effectiveness during Media Skills Training using Commercial Automatic Non-Verbal Recognition Systems // *Frontiers in Psychology*. – 2021. – №12.
15. Zhang, X., Sugano, Y., Fritz, M., Bulling, A. Appearance-Based Gaze Estimation in the Wild // *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. – 2015. – № 7.
16. Le, V., Brandt, J., Lin, Z., Bourdev, L., Huang, T.S. Interactive Facial Feature Localization // *Lecture Notes in Computer Science*. – 2012.
17. Huang, G.B., Ramesh, M., Berg, T., Learned-Miller, E. Labeled Faces in the Wild: A Database for Studying Face Recognition in Unconstrained Environments. – 2007.
18. Bazarevsky, V., Kartynnik, Yu., Vakunov, A., Raveendran, K., Grundmann, M. BlazeFace: Sub-millisecond Neural Face Detection on Mobile GPUs // *CVPR Workshop on Computer Vision for Augmented and Virtual Reality*. – 2019.
19. Kartynnik, Yu., Ablavatski, A., Grishchenko, I., Grundmann, M. Real-time Facial Surface Geometry from Monocular Video on Mobile GPUs // *CVPR Workshop on Computer Vision for Augmented and Virtual Reality*. – 2019.

Медведев Анатолий Андреевич, студент 1-го курса магистратуры, инженер Национального центра когнитивных разработок

Лаптев Андрей Александрович, аспирант, инженер Национального центра когнитивных разработок

Medvedev Anatoly Andreevich, 1st year Master's student, engineer, National Center for Cognitive Development

Laptev Andrey Aleksandrovich, postgraduate student, engineer, National Center for Cognitive Development