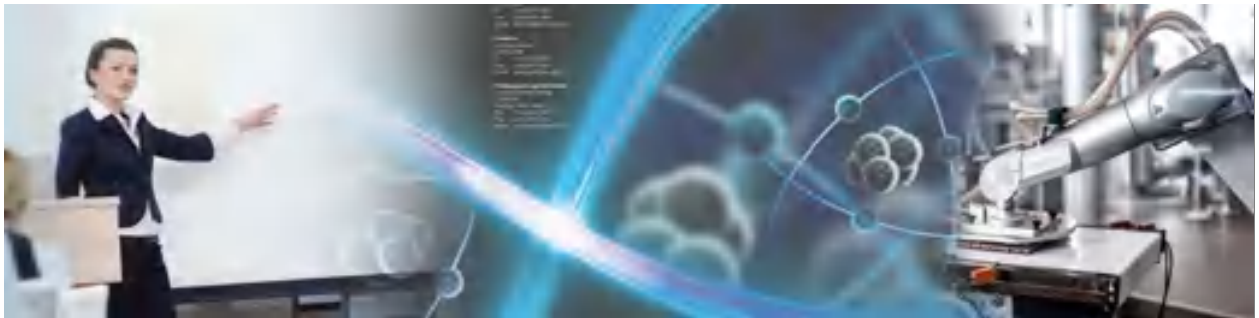


Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет радіоелектроніки

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки

**VIII Міжнародна Конференція
ВИРОБНИЦТВО
&
МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ 2024**



**VIII International Conference
MANUFACTURING
&
MECHATRONIC SYSTEMS 2024**

M&MS

2024

VII International Conference

25-26 October

Kharkiv

УДК: 005:004.896:62-65:338.3

Виробництво & Мехатронні Системи 2024: матеріали VIII-ої Міжнародної конференції, Харків, 25-26 жовтня 2024 р.: тези доповідей / [редкол. І.Ш. Невлюдов (відповідальний редактор)].-Харків: [електронний друк], 2024. – 135 с.

У збірник включені тези доповідей, які присвячені сучасним тенденціям розвитку технологій та засобів виробництва та мехатронних систем, передовому досвіду та впровадженню їх в галузях систем промислової автоматизації та керування виробництвом; системній інженерії; CAD/CAM/CAE системах; мехатроніці (електро-механічних системах, електронних інструментах систем керування, механічних CAD системах); робототехніці та засобах інтелектуалізації; MEMS (сучасних матеріалів та технологіях виготовлення MEMS) та компонентах і технологіях автоматизації видобутку, переробки та транспортування нафти та газу.

Редакційна колегія: І.Ш. Невлюдов, В.В. Євсєєв.

Manufacturing & Mechatronic Systems 2024: Proceedings of VIII st International Conference, Kharkiv, October 25-26, 2024: Thesises of Reports / [Ed. I.Sh. Nevlyudov (chief editor).] .- Kharkiv .: [electronic version], 2024. - 135 p.

The collection includes the thesises of reports on modern trends in the development of technologies and means of production and mechatronic systems, top experience and implementation of them in fields of: industrial automation and production management systems; systems engineering; CAD/CAM/CAE systems; mechatronics (electrical and mechanical systems, electronic control tools, mechanical CAD systems); robotics and intellectual tools; MEMS (modern materials and manufacturing technologies MEMS) and components and technologies for the automation of oil, gas and oil extraction, processing and transportation.

Editorial board: Igor.Sh. Nevlyudov, Vladyslav.V. Yevsieiev

© Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР), ХНУРЕ, 2024

Міністерство освіти і науки України (МОНУ)
Харківський національний університет радіоелектроніки (ХНУРЕ)
Варшавський університет сільського господарства (WULS - SGGW)
Азербайджанський державний університет нафти і промисловості
Національний університет «Львівська політехніка»
Festo Didactic Україна
Jabil Circuit Ukraine Limited
ТОВ «Науково-виробниче підприємство «УКРІНТЕХ»»
Факультет автоматики і комп'ютеризованих технологій (АКТ)
Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР),
Державне підприємство «Харківський науково-дослідний інститут технології
машинобудування»
Державне підприємство «Південний державний проектно-конструкторський та
науково-дослідний інститут авіаційної промисловості»

МАТЕРІАЛИ

VIII-ої Міжнародної Конференції

ВИРОБНИЦТВО & МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ 2024

(25-26 жовтня 2024)

Харків, Україна

ОРГАНІЗАТОРИ



Міністерство
освіти і науки
України

Міністерство освіти і науки України (МОНУ)
The Ministry of Education and Science of Ukraine



NURE
Kharkiv National University
of Radioelectronics

Харківський національний університет
радіоелектроніки (ХНУРЕ)

Kharkiv National University of Radioelectronics



**WARSAW UNIVERSITY
OF LIFE SCIENCES
- SGGW**

Варшавський університет сільського
господарства (WULS - SGGW)

Warsaw University of Life Sciences WULS - SGGW



Азербайджанський державний університет
нафти і промисловості

Azerbaijan State Oil and Industry University



Festo Didactic Україна

Festo Didactic Ukraine



ТОВ «Науково-виробниче підприємство
«УКРІНТЕХ»»

Research and Production Enterprise
"UKRINTECH" Ltd



Національний університет «Львівська
політехніка»

National University Lviv Polytechnic

Державне підприємство «Харківський науково-
дослідний інститут технології машинобудуван-
ня», м. Харків, Україна

State Enterprise «Kharkiv Scientific-Research
Institute of Mechanical Engineering Technology»,
Kharkiv, Ukraine



Державне підприємство «Південний державний
проектно-конструкторський та науково-
дослідний інститут авіаційної промисловості»,
м. Харків, Україна

State Enterprise «National Design & Research
Institute of Aerospace Industries», Kharkiv,
Ukraine



Jabil Circuit Ukraine Limited

КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

МІЖНАРОДНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

- Ігор Шакирович Невлюдов** голова комітету конференції, доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, лауреат Державної премії в галузі науки і техніки України; лауреат Державної премії України в галузі освіти, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР), Харківського національного університету радіоелектроніки, Україна
- Олександр Іванович Филипенко** заступник голови комітету конференції, доктор технічних наук, професор, лауреат Державної премії України в галузі освіти, декан факультету Автоматики і комп'ютеризованих технологій (АКТ), Харківського національного університету радіоелектроніки, Україна.
- Мурад Анвер огли Омаров** доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки Азербайджанської Республіки проректор з міжнародного співробітництва, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна
- Владислав В'ячеславович Євсєєв** секретар, доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР), Харківського національного університету радіоелектроніки, Україна.
- Andrzej Chochowski** доктор технічних наук, професор Варшавського університету сільського господарства (WULS - SGGW), Польща
- Pawel Obstawski** доктор технічних наук, професор Варшавського університету сільського господарства (WULS - SGGW), Польща.
- Сергій Богомолів** лектор/доцент, доктор філософії (комп'ютерні науки), Дослідницька школа комп'ютерних наук, Коледж інженерії та комп'ютерних наук, Австралійський національний університет, Австралія.
- Микола Васильович Замірець** доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, директор Державного підприємства Науково-дослідного технологічного інституту приладобудування, Україна
- Михайло Васильович Лобур** доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, відмінник народної освіти України, завідувач кафедри систем автоматизованого проектування Національного університету «Львівська політехніка», Україна.
- Євген Сергійович Риженко** керівник відділу дидактики ДП «Фесто», Україна

- Сергій Володимирович Демченко** директор ТОВ «Науково-виробничого підприємства «УКРІНТЕХ»», Україна.
- Самед Імамалі огли Юсіфов** кандидат технічних наук, доцент, декан факультету інформаційних технологій та управління, Азербайджанський державний університет нафти і промисловості, Азербайджан.
- Фарід Гаджі огли Агаєв** кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри управління та системної інженерії, Азербайджанський державний університет нафти і промисловості, Азербайджан.
- Віктор Васильович Косенко** доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматичної електроніки та телекомунікацій, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» Україна.
- Володимир Вікторович Козирський** доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, директор Навчально-наукового інституту енергетики, автоматичної та енергозбереження, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.
- Віталій Пилипович Лисенко** доктор технічних наук, професор, заслужений працівник освіти України, завідувач кафедри автоматичної та робототехнічних систем ім. акад. І.І. Мартиненка, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.
- Юрій Францевич Зіньковський** доктор технічних наук, лауреат Державної премії України в галузі освіти, професор кафедри радіоконструювання і виробництва радіоапаратури, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна.
- Володимир Митрофанович Свищ** доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, професор кафедри систем управління літальними апаратами, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут", Україна.
- Віталій Євгенович Овчаренко** доктор технічних наук, професор, заступник директора з наукової роботи Державного підприємства «Науково-дослідний технологічний інститут приладобудування», Україна.
- Лариса Сергіївна Глоба** доктор технічних наук, професор, лауреат Державної премії Кабінету Міністрів України, завідувач кафедри інформаційно-комунікаційних мереж, Інститут телекомунікаційних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна.
- Анатолій Олександрович Андрусевич** доктор технічних наук, професор, начальник Криворізького коледжу Національного авіаційного університету, Україна.

- Роман Володимирович Артюх** кандидат технічних наук, директор Державного підприємства «Південний державний проектно-конструкторський інститут авіаційної промисловості», Україна.
- Kurtwitz** генеральний менеджер Titan Machinery Limited, Шотландія.
- Liu Shan** генеральний менеджер Titan Machinery Limited, Китай.
- Володимир Андрійович Павлиш** кандидат технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України», перший проректор Національного університету «Львівська політехніка», Україна
- Сергій Іванович Осадчий** доктор технічних наук, професор, в.о. завідувача кафедри конструкції повітряних суден, авіадвигунів та підтримання льотної придатності, Льотна академія НАУ, м.Кропивницький, Україна.
- Анатолій Афанасійович Єфіменко** доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електронних засобів та інформаційно-комп'ютерних технологій, Одеський національний політехнічний університет, Україна
- Володимир Михайлович Решетюк** кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматичної та робототехнічних систем ім. акад. І.І. Мартиненка, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

- Олександр Михайлович Цимбал** заступник голови конференції з організаційних питань, доктор технічних наук, професор комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР), Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.
- Сергій Павлович Новоселов** кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР), Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.
- Євген Анатолійович Разумов-Фризюк** кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР), Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.
- Наталія Павлівна Демська** кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР), Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.

ЗМІСТ

<i>Svitlana Alyokhina</i>	
System Approach to the Positive Energy District Analysis	12
<i>Dmytro Gurin</i>	
Розробка динамічного представлення параметрів моделі опису навколишнього середовища колаборативного робота	15
<i>Artem Hubar</i>	
Automation of Power Grid Element Management to Enhance Energy Efficiency	19
<i>Артем Бронніков, Стеценко Катерина</i>	
Автономний робот на Raspberry Pi з аналізом облич та емоцій в реальному часі	22
<i>Andrii Lvov, Svetlana Sotnik</i>	
Analysis of electronic locks existing systems	24
<i>Artem Tverdokhlib, Svetlana Sotnik</i>	
Intelligent tools for optimizing information and search engines	28
<i>Igor Zarubin, Svetlana Sotnik</i>	
Basic principles of building aerial robots	32
<i>Pavlo Sukhno, Svetlana Sotnik</i>	
Critical review of GSM network structure	37
<i>Oleksii Shevchenko, Nataliia Furmanova, Vadim Yakovenko, Yaroslav Lukash</i>	
Assessment of the quality of brushless DC motors	42
<i>Artem Zhulai, Nataliia Furmanova</i>	
System for monitoring and alerting in a coal mine	45
<i>Сніжана Вичужаніна, Олександр Малий</i>	
Огляд щодо використання радіоаматорами радіочастотного спектру в Україні	48

Воронов Денис, Сезонова Ірина

Розробка методу визначення швидкості переміщення об'єктів на основі аналізу зображень 51

Oleh Hurtovyi

Features of Functional Testing for Low-Power Consumption Devices with Built-In Batteries 55

Варвара Карташова, Артем Бронніков

Роль експертних систем та голосового керування в сучасному виробництві 58

Антон Паньков

Інноваційний підхід до візуалізації: розробка автоматизованого модуля для збору, обробки та збереження поточних даних 62

Олег Посашков, Олександр Цимбал

Аналіз існуючих методів підтримки прийняття рішень у віддаленому управлінні виробництвом 65

Дмитро Максимов, Дмитро Нікітін

Види зварювання для верстату точкового зварювання з ЧПУ 69

Олексій Фарафонов, Наталія Фурманова, Олександр Малий

Розроблення технології паралельного керування за допомогою вебінтерфейсу мобільним роботом під керуванням ROS 71

Дмитро Янушкевич, Леонід Іванов, Ігор Толкунов

Застосування методів вербального аналізу в інтелектуальних системах управління у сфері гуманітарного розмінування 75

Данило Ясир

Вибір математичної моделі для управління якістю продукції в умовах безперервного виробництва 79

Дмитро Дриньов

Використання елементів штучного інтелекту для вирішення задач моделювання динамічних процесів 83

Ганна Самойленко

Дослідження методів опису динаміки гуманоїдного робота 85

Андрій Слюсар, Софія Хрустальова

Методи та алгоритми локалізації RFID-міток: сучасні підходи та перспективи 87

Василь Туз, Володимир Чумаков, Олександр Філіпенко, Оксана Сичова

Дослідження дисперсійних характеристик мікроструктурованого оптичного волокна в умовах деформації 92

Тимур Лихо, Світлана Максимова

Основні етапи розроблення наземного мобільного робота 96

Vladyslav Yevsieiv

Using the Dempster-Shafer Theory in Data Fusion Solutions for Collaborative Robotic Manipulators within Industry 5.0 99

Vladyslav Yevsieiv, Nataliia Demska

A Model of Using Computer Vision to Monitor the Environment of a Collaborative Manipulator Robot 102

Віталій Тетеря, Світлана Максимова

Розробка системи ідентифікації, розпізнавання та трекінгу для колаборативного робота 105

Vladyslav Yevsieiv, Svetlana Starikova

Using the Triangulation Method to Measure the Distance to Objects in the Working Area of a Collaborative Manipulator Robot 107

I.B. Жарікова, Д.О. Нікітін

Дослідження механічних параметрів гнучких комутаційних структур для мобільних роботизованих платформ 110

Svetlana Starikova, Illya Karpenko

Development of a Structural Control Scheme for a Small-sized Mobile Robot for Investigating Damaged Buildings 114

Максим Вжесневський

Інтелектуальне керування автономними транспортними шатлами для внутрішньо-складських логістичних систем 117

<i>Родіо Клименко, Дмитро Кухаренко</i>	
Програмне забезпечення для розрахунку резонансних частот мембран живих організмів	120
<i>Микола Мешков, Дмитро Кухаренко</i>	
Алгоритм та програмна реалізація роботи комплексу очних м'язів людини	124
<i>Дмитро Кухаренко, Олексій Юрко, Денис Тимченко</i>	
Автоматизований аналіз довільних ділянок фонокардіограм в середовищі Labview	128
<i>Сергій Новоселов, Владислав Іванов</i>	
Вирішення задачі управління багатоланковим маніпулятором	132

System Approach to the Positive Energy District Analysis

Svitlana Alyokhina

Department of Industrial Engineering, University of Applied Sciences Technikum Wien, AUSTRIA,
Vienna, Höchstädtplatz 6, e-mail: svitlana.alyokhina@technikum-wien.at

Abstract: Positive Energy Districts (PEDs) are a crucial solution for achieving urban sustainability by ensuring that districts generate more energy than they consume. This paper presents a system approach to analyzing PEDs, focusing on the integration of digitalization, data modeling, and stakeholder collaboration. The study explores whether PEDs should be considered as objects or systems, and how this distinction impacts energy management and stakeholder engagement. A system approach considers the dynamic interactions between buildings, energy systems, and users, enabling optimized energy balance at the district level. The methodology emphasizes the integration of data, simulation, and real-time energy management, supported by collaboration between municipal authorities, energy experts, and residents. The approach was implemented in the "SIMPLY Positive" project, analyzing PEDs across Europe and offering strategies for overcoming technical, economic, and regulatory challenges.

Keywords: Positive Energy District, system, object, attribute, digitalization.

I. INTRODUCTION

Positive Energy Districts (PEDs) represent a forward-looking solution to achieving urban sustainability goals by ensuring that districts generate more energy than they consume. This shift is not only crucial for reducing greenhouse gas emissions but also for ensuring energy security in rapidly urbanizing regions. A system approach to the analysis of PEDs is vital to account for the complex interrelations between buildings, energy systems, and environmental factors. This paper explores a structured system methodology for analyzing PEDs, focusing on the integration of digitalization, data modeling, and collaborative frameworks between stakeholders to optimize the energy balance.

PEDs aim to not only balance energy supply and demand at a district level but to create energy-positive environments where surplus energy can be fed into the grid or used for other purposes. The complexity of achieving this requires the integration of advanced technological solutions and a detailed understanding of the energy flows within urban environments. Thus, the need for a system approach to analyzing PEDs is evident as it combines different methods, data sets, and stakeholder roles to ensure successful implementation and optimization.

The relevance of Positive Energy Districts (PEDs) has grown substantially in light of global climate goals and the urgent need to decarbonize urban environments. Recent studies have emphasized PEDs as crucial in urban

sustainability, targeting energy balance and local renewable energy generation [1], [2]. However, critical gaps persist in how PEDs are approached in research. Existing models often focus on PEDs as static objects or isolated technological solutions [3], [4], overlooking the systemic interrelations between energy infrastructure, governance structures, and user behavior. This fragmented perspective limits the scalability and efficiency of PEDs in dynamic urban environments. Moreover, while advancements in digitalization and real-time data monitoring have been recognized as key to optimizing energy systems [5], many frameworks still fail to incorporate a truly integrated approach that unites stakeholders and accounts for both temporal and spatial variables [6]. Addressing these research gaps is vital for overcoming the technical, economic, and regulatory barriers that hinder PED implementation and for ensuring their scalability in diverse urban contexts. The lack of such integrated approaches restricts the adaptability of PEDs to the changing demands of urban energy systems.

This paper aims to develop a structured system approach for analyzing PEDs, emphasizing the integration of digitalization, energy modeling, and collaborative stakeholder frameworks. By treating PEDs as dynamic systems rather than static objects, this study seeks to provide a framework methodology to optimize energy performance and resilience, ensuring adaptability to varying urban conditions.

II. IS PED AN "OBJECT" OR A "SYSTEM" ?

When analyzing a PED, an essential question arises: should we consider it an object or a system? The classification of PEDs as either an object or a system has significant implications for the analysis and stakeholder involvement. While there are numerous approaches to identifying stakeholders, most models highlight the involvement of buildings, energy generation units, residents, and governance structures. The distinction between considering PEDs as objects or systems impacts how these stakeholders are engaged.

If PED is treated as an object, the involvement of governance structures is minimized, and while residents remain external to the analysis, their actions indirectly influence energy flows within the district. On the other hand, when PED is viewed as a system, there is a dynamic interaction between components, including energy users, buildings, and governance structures, which leads to a more holistic understanding of energy management and sustainability.

According to system theory, an object is a distinct entity with clearly defined boundaries, unique identity, state, and behavior [7]. In contrast, a system is a

collection of interconnected components working together to achieve a shared goal or perform a specific function [8]. This conceptual difference is critical for how PEDs are modeled and analyzed. Table 1 provides a comparative analysis of the key characteristics of objects and systems [9].

TABLE 1. CHARACTERISTIC FEATURES OF “OBJECT” AND “SYSTEM”

Attribute	Object	System
Definition	A separate entity with a unique identity, state, and behavior	A set of interconnected components working together toward a common goal
Identity	Unique in itself	Determined by the interaction of components (objects)
Purpose	It may have its own goals	Always aimed at achieving a collective goal or function
State	Defined by properties	Described by the state of all components and their interactions
Behavior	Described by actions or methods	Defined by functions and processes performed by components

In the context of PED analysis, this distinction influences the overall approach to energy management. Table 2 presents examples of the attributes of PED as both an object and a system.

TABLE 2. COMPARISON OF ATTRIBUTE CONCEPTS FOR OBJECT AND SYSTEM

Attribute	Object	System
Identity	Defined by physical characteristics and components	Characterized by the interaction among buildings, energy units, residents, and governance
Purpose	To function as a physical space that generates more energy than it consumes	Dynamic, multifaceted, aimed at sustainability, energy efficiency, and resilience
State	Refers to its current physical and energy characteristics	A dynamic measure of its overall performance and operational status
Behavior	Changes in its physical state over time	Encompasses dynamic processes and interactions within the district

Understanding whether PED is an object, or a system has practical implications. For example, treating PED as an object might focus on optimizing individual energy generation units or buildings. Conversely, treating PED as a system encourages an integrated approach, where the interaction between various components (e.g., smart

grids, energy storage, and residents' behavior) is key to achieving positive energy goals.

III. SYSTEM APPROACH OVERVIEW

A system approach to PED analysis involves considering all key components within a district, including buildings, energy infrastructure, climate conditions, and user behavior. The analysis should be conducted across various scales, from individual buildings to entire neighborhoods, taking into account both temporal and spatial variables. One of the critical steps in this system approach is identifying the necessary data inputs for modeling energy balances and integrating various data sources.

Data sources required for PED analysis typically include building characteristics, renewable energy generation potential, weather data, and occupancy patterns. The methodology should allow for the collection and integration of real-time and historical data to capture dynamic changes in energy demand and supply. A combination of Geographic Information Systems (GIS), Building Information Modeling (BIM), and energy management platforms can be used to ensure accurate simulation of energy flows within the district.

The proposed system approach also emphasizes the importance of collaborative efforts between district representatives, energy experts, and municipal authorities. This collaboration is essential for the successful collection of data, refinement of energy models, and alignment with district energy goals. By involving multiple stakeholders from the outset, the system approach ensures that PEDs are designed with both technical and social considerations in mind.

IV. METHODOLOGY

The methodological approach to Positive Energy District analysis is based on the systematic integration of data, modeling, and active stakeholder engagement, all of which are essential to achieving sustainable energy balance goals. This study identifies four key stages: data collection and integration, energy balance modeling and simulation, establishing a collaborative stakeholder framework, and leveraging digitalization and real-time data utilization. These stages were chosen because each plays a critical role in building an accurate and effective energy management system at the district level.

1. Data Collection and Integration:

The foundation of the PED analysis system is the integration of multiple datasets that cover general building characteristics (e.g., year of construction, materials, insulation), energy systems (HVAC, renewable sources), and environmental factors (weather patterns, shading, orientation). These datasets are gathered from various sources, including local databases, satellite imagery, and monitoring systems. GIS and BIM platforms play a critical role in managing spatial and structural data, ensuring that every building's energy usage and potential are accurately modeled within the district's energy framework.

2. Energy Simulation and Modeling:

The second step in the methodology involves energy simulation, where software tools such as EnergyPlus or TRNSYS are employed to model the energy flows and performance of the district under different scenarios [10]. These models must consider the interactions between buildings, renewable energy installations (solar panels, wind turbines), and the grid. A system approach ensures that the energy balance is calculated not just at the building level but also at the district level, optimizing the overall energy performance.

3. Collaborative Frameworks:

A system approach to PED analysis requires the active involvement of district stakeholders, including municipal representatives, energy providers, and building managers. Collaboration is key in obtaining accurate data, securing buy-in for energy-saving initiatives, and aligning PED goals with broader urban sustainability objectives. In regions with low digitalization, district representatives play a larger role in manually collecting data and providing insights into local energy use patterns.

4. Digitalization and Real-Time Data Utilization:

In highly digitalized districts, real-time data from smart meters, sensors, and energy management systems can be used to continuously monitor and adjust energy use in response to changing conditions. This level of digitalization allows for dynamic energy management, where systems can respond to fluctuations in demand or renewable energy supply in real-time.

V. RESULTS

The described systematic approach was realized in the research project "SIMPLY Positive" [11], which encompasses the characterization and analyses of four focus districts: Großschönau (Austria), a district in Settimo Torinese (Italy), a district in Resita (Romania), and the central part of the Amsterdam (Netherlands).

The project emphasizes a systemic approach, combining urban planning, energy technologies, and social engagement to ensure that districts not only achieve energy positivity but also contribute to overall urban sustainability. One of the key outcomes of the project is the identification of strategies to overcome technical, economic, and regulatory barriers, fostering collaboration between municipalities, industry, and citizens. The project also provides tools and guidelines for cities to plan and implement PEDs, helping accelerate the transition towards climate-neutral cities. By applying a holistic framework, Simply Positive addresses challenges such as grid integration, local energy storage, and dynamic energy balancing, ensuring that PEDs can operate efficiently within broader urban and regional energy networks. This systemic approach highlights the importance of cooperation among stakeholders and the need for adaptable, scalable solutions that can be customized to different urban contexts.

VI. CONCLUSION

A system approach to Positive Energy District analysis integrates data, digital tools, stakeholder collaboration, and scenario planning to create sustainable, energy-positive urban environments. By combining advanced digitalization with structured methodologies for data collection, simulation, and stakeholder engagement, this approach ensures that PEDs can be optimized for energy efficiency while remaining adaptable to future challenges. The distinction between PED as an object or a system plays a significant role in determining the complexity and scope of the analysis. The system approach outlined in this paper provides a robust framework for achieving sustainability goals in urban energy management, ensuring that PEDs not only meet today's energy needs but are also prepared for the challenges of tomorrow.

REFERENCES

- [1] G. Madlener and P. Schmid, "Sustainability and the positive energy district: Energy balance perspectives," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 123, pp. 109774, 2020.
- [2] A. Lazzari, et al., "Urban energy systems: A systematic review of positive energy districts," *Energy and Buildings*, vol. 208, pp. 109670, 2020.
- [3] T. Lindholm, "From passive to positive energy districts: A system perspective," *Energy Policy*, vol. 129, pp. 875-885, 2019.
- [4] F. Causone, et al., "Positive energy districts: Future models for urban energy transition," *Sustainable Cities and Society*, vol. 78, pp. 103423, 2022.
- [5] M. Goodchild, et al., "Digitalization in positive energy districts: Impact of smart energy management," *Applied Energy*, vol. 306, pp. 117744, 2022.
- [6] P. Morganti and S. Wagner, "Energy monitoring in urban areas: An integrated data-driven approach," *Journal of Urban Technology*, vol. 25, no. 2, pp. 59-75, 2021.
- [7] Hrvoj Vančik, "System Theory," pp. 19-22, Jan. 2024, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-56136-8_3.
- [8] D. Baecker, "Systems are theory," by Dirk Baecker : SSRN, <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2512647> (accessed Sep. 27, 2024).
- [9] A. Laszlo and S. Krippner, "Systems Theories: Their Origins, Foundations, and development," *Systems Theories and a Priori Aspects of Perception*, vol. 126, pp. 47-74, 1998, doi: [https://doi.org/10.1016/s0166-4115\(98\)80017-4](https://doi.org/10.1016/s0166-4115(98)80017-4)
- [10] Antonello Monti, *Energy positive neighborhoods and smart energy districts : methods, tools and experiences from the field*. Amsterdam Academic Press, 2017.
- [11] Simply Positive - Supporting innovative and ambitious cities and municipalities on their pathway to Positive Energy Districts through easy, clear and understandable guidelines, targets and strategies [Online]. Available: <http://simplypositive.eu/> . Accessed: Sep. 27, 2024.

Розробка динамічного представлення параметрів моделі опису навколишнього середовища колаборативного робота.

Dmytro Gurin¹

1. CITAR Department, Kharkiv National University of Radio Electronics, UKRAINE,
Kharkiv, Nauki Ave. 14., e-mail: dmytro.gurin@nure.ua

Анотація: У даній роботі досліджується питання розвитку динамічного представлення параметрів моделі, яка описує навколишнє середовище колаборативного робота. Розглянуті методи та техніки спрямовані на створення систем, що забезпечують роботам здатність адаптуватися до змін у реальному часі, оптимізуючи їх взаємодію з оточенням та підвищуючи загальну продуктивність робототехнічних систем.

Ключові слова: Індустрія 5.0, Колаборативні роботи, Динамічне середовище мобільного робота, Сенсори.

I. ВСТУП

У світі робототехніки та штучного інтелекту зростає значущість розвитку колаборативних роботів, які взаємодіють з людьми та навколишнім середовищем. Одним із ключових аспектів їх ефективності є здатність реалізувати адаптивне та динамічне управління на основі параметрів навколишнього середовища. Це вимагає розробки та імплементації методів, що дозволяють роботам змінювати свою поведінку та дії в залежності від змін у середовищі, що їх оточує. В свою чергу це дозволяє зробити робоче середовище колаборативного робота більш безпечним для людини.

II. ДИНАМІЧНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ ОПИСУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА КОЛАБОРАТИВНОГО РОБОТА

Розробка моделей динамічного оновлення параметрів у моделі колаборативного промислового робота, потребує впровадити математичні моделі та алгоритми, які дозволяють адаптуватися до змін у середовищі або в роботі системи. Це можна реалізувати за допомогою різних підходів, включаючи алгоритми адаптивного управління, машинного навчання та адаптивної фільтрації.

Для динамічного оновлення робочого простору \mathbb{R}^3 , пропонується використовувати адаптивні алгоритми для моніторингу змін у середовищі:

$$\mathbb{R}^3(t) = \mathbb{R}^3(t-1) + \Delta\mathbb{R}^3(t) \quad (1)$$

Де: $\mathbb{R}^3(t)$ - тривимірний простір на момент часу t ;

$\mathbb{R}^3(t-1)$ - тривимірний простір на момент часу $t-1$, описує тривимірний простір на попередньому моменті часу. Це базова точка, з якої відбувається обчислення змін.

$\Delta\mathbb{R}^3(t)$ - представляє собою зміни в робочому просторі на момент часу t , які можуть бути оцінені за допомогою сенсорів або системи моніторингу. Це то відображає різницю або зміни, які відбулися в тривимірному просторі між моментами часу $t-1$ та t . Ці зміни можуть бути викликані рухами об'єктів, змінами в периметрах безпеки або іншими факторами.

Оцінка $\Delta\mathbb{R}^3(t)$ може здійснюватися за допомогою різних сенсорів, які забезпечують дані про навколишнє середовище. Які можна описати наступним чином:

- 3D – сканери, дозволяють збирають дані про тривимірну геометрію навколишнього середовища колаборативного промислового робота маніпулятора, шляхом порівняння зняті дані з попередніми скануваннями для визначення змін у середовищі, модель такої оцінки можна представити наступним чином:

$$\Delta\mathbb{R}^3(t) = Data_t^{3D} - Data_{t-1}^{3D} \quad (2)$$

Де: $Data_t^{3D}$ - є даними, отриманими від 3D – сканера на момент часу t

$Data_{t-1}^{3D}$ - є даними на попередньому моменті часу $t-1$.

- Light Identification, Detection and Ranging (LIDAR) використовують лазерні імпульси для визначення відстані до об'єктів і створення точних тривимірних карт, дозволяє проводити аналіз даних з лідарних сканерів для визначення змін у розташуванні об'єктів, модель такої оцінки можна представити наступним чином:

$$\Delta\mathbb{R}^3(t) = Data_t^{LIDAR} - Data_{t-1}^{LIDAR} \quad (3)$$

Де: $Data_t^{LIDAR}$ - є даними, отриманими з LIDAR на момент часу t ;

$Data_{t-1}^{LIDAR}$ - є даними на попередньому моменті часу $t-1$.

- камери (2D або 3D) збирають зображення або відео для виявлення об'єктів і їх змін у просторі, дозволяють використовувати методи комп'ютерного зору та ШІ для трекінгу об'єктів і оцінки їхніх

переміщень, модель такої оцінки можна представити наступним чином:

$$\Delta \mathbb{R}^3(t) = Data_t^{cam} - Data_{t-1}^{cam} \quad (4)$$

Де: $Data_t^{cam}$ – позиція об'єкту по даним отриманим з камери на момент часу t ;

$Data_{t-1}^{cam}$ – позиція об'єкту отримані з камери на попередньому моменті часу $t - 1$.

- сенсори відстані (ультразвукові, лазерні, і.т.д.) ($Sens$) вимірюють відстань до об'єктів у реальному часі, то б то збирають дані про зміни у відстанях до об'єктів для оцінки змін у середовищі, модель такої оцінки можна представити наступним чином:

$$\Delta \mathbb{R}^3(t) = Data_t^{Sens} - Data_{t-1}^{Sens} \quad (5)$$

Де: $Data_t^{Sens}$ – відстань до об'єкту по даним отриманим з сенсора на момент часу t ;

$Data_{t-1}^{Sens}$ – відстань до об'єкту отримані з сенсора на попередньому моменті часу $t - 1$.

На базі 2-5 можна представити зміни у тривимірному просторі можна описати як:

$$\Delta \mathbb{R}^3(t) = (Data_t^{3D}, Data_t^{LIDAR}, Data_t^{cam}, Data_t^{Sens}) - (Data_{t-1}^{3D}, Data_{t-1}^{LIDAR}, Data_{t-1}^{cam}, Data_{t-1}^{Sens}) \quad (6)$$

Де: $Data_t^{3D}, Data_t^{LIDAR}, Data_t^{cam}, Data_t^{Sens}$ - є даними, отриманими від сенсорів на момент часу t ;

$Data_{t-1}^{3D}, Data_{t-1}^{LIDAR}, Data_{t-1}^{cam}, Data_{t-1}^{Sens}$ - є даними отриманими на попередньому моменті часу $t - 1$.

Комбінування цих даних дозволяє адаптивно оновлювати опис тривимірного простору, враховуючи зміни у середовищі, і забезпечити точність і ефективність роботи колаборативного робота маніпулятора.

Робоча зона (\mathbb{D}) може динамічно змінюватися в залежності від зміни об'єктів у просторі або змін у периметрах безпеки (Ω_{safe}) та може бути описана наступним виразом:

$$\mathbb{D}(t) = \mathbb{D}(t - 1) \cup \Delta \mathbb{D}(t) \quad (7)$$

Де: $\mathbb{D}(t)$ - робоча зона на момент часу t , описує простір, в якому працює робот, включаючи всі об'єкти (Ω_i) та периметри безпеки (Ω_{safe}), які можуть впливати на його дії. Це може бути обмежена область, в якій маніпулятор виконує завдання, з урахуванням усіх нових об'єктів і змін у середовищі;

$\mathbb{D}(t - 1)$ - робоча зона на момент часу $t - 1$, описує робочу зону на попередньому моменті часу. Це базова точка, з якої відбувається обчислення змін;

$\Delta \mathbb{D}(t)$ - зміни в робочій зоні на момент часу t , які можуть бути описані як нові або змінені області робочого простору, то б то відображає нові об'єкти або зміни у наявних об'єктах, що з'явилися або були змінені в робочій зоні між моментами часу $t - 1$ і t . Це може бути, наприклад, новий об'єкт, переміщений об'єкт або зміна в периметрах безпеки.

Динамічна робоча зона ($\mathbb{D}(t)$) може бути описана як система, що постійно оновлюється у відповідь на зміни в середовищі ($\Delta \mathbb{D}(t)$). Оновлення може відбуватись у реальному часі завдяки даним з сенсорів і камер (2-5), які відстежують зміни в середовищі. В наслідок чого $\Delta \mathbb{D}(t)$ в рамках даних досліджень можна представити наступним чином:

- 3D-сканери та лідари збирають дані про тривимірну геометрію середовища, визначаючи нові об'єкти або зміни у розташуванні об'єктів. Нова інформація, отримана від сканерів або лідарів, може бути представлена як додаток до попередньої зони та може бути описана наступним чином:

$$\Delta \mathbb{D}(t) = \Omega_{new}^{3D, LIDAR} \quad (8)$$

Де: $\Omega_{new}^{3D, LIDAR}$ - нові об'єкти або зміни у розташуванні об'єктів, отримана від сканерів або лідарів,

- камера (-и) збирають зображення або відео для виявлення нових об'єктів або змін у середовищі. Нові або змінені об'єкти, виявлені на зображеннях, додаються до робочої зони та може бути описана наступним чином:

$$\Delta \mathbb{D}(t) = \Omega_{new}^{cam} \quad (9)$$

Де: Ω_{new}^{cam} - нові об'єкти або зміни у розташуванні об'єктів, отримана з камери;

- сенсори відстані вимірюють відстань до об'єктів, що дозволяє виявити нові об'єкти або зміни в їх розташуванні, нові дані від сенсорів відстані вносяться в робочу зону, та може бути описана наступним чином:

$$\Delta \mathbb{D}(t) = \Omega_{new}^{sens} \quad (10)$$

Де: Ω_{new}^{sens} - нові об'єкти або зміни у розташуванні об'єктів, які були отримані з сенсорів відстані;

Внаслідок чого математичний опис динамічної робочої зони, можна отримати шляхом модернізацій виразу 7 та використання виразів 8-10, результат данної рішення приведено нижче:

$$\mathbb{D}(t) = (Data_{t-1}^{3D}, Data_{t-1}^{LIDAR}, Data_{t-1}^{cam}, Data_{t-1}^{Sens}) \cup \Omega_{new}^{3D, LIDAR}, \Omega_{new}^{cam}, \Omega_{new}^{sens} \quad (11)$$

Де: $Data_{t-1}^{3D}, Data_{t-1}^{LIDAR}, Data_{t-1}^{cam}, Data_{t-1}^{Sens}$ - це робоча зона калабративного робота маніпулятора на попередній момент часу, всі об'єкти і області, які були актуальними на момент $t - 1$, формально це розширене представлення $\mathbb{D}(t - 1)$ з виразу 7;

$\Omega_{new}^{3D, LIDAR}, \Omega_{new}^{cam}, \Omega_{new}^{sens}$ - це нові об'єкти, які були додані до робочої зони між моментами часу $t - 1$ і t , внаслідок цього - об'єкти з'явилися у робочій зоні і їх необхідно додати до попередньої зони, формально це розширене представлення $\Delta \mathbb{D}(t)$ з виразу 7;

Removed ($\Omega_{t-1}^{3D, LIDAR}, \Omega_{t-1}^{cam}, \Omega_{t-1}^{sens}$) - це об'єкти, які були в робочій зоні раніше (на момент часу $t - 1$), але тепер більше не є частиною зони. Це може бути

через те, що об'єкти перемістилися, були видалені або більше не є актуальними.

Виходячи з 11
 $Data_{t-1}^{3D}, Data_{t-1}^{LIDAR}, Data_{t-1}^{cam}, Data_{t-1}^{Sens} \cup \Omega_{new}^{3D, LIDAR}, \Omega_{new}^{cam}, \Omega_{new}^{Sens}$

- операція об'єднання двох множин — попередньої робочої зони та нових об'єктів. Це створює оновлену множину об'єктів, які є в робочій зоні на момент t , включаючи нові об'єкти, а $Removed(\Omega_{t-1}^{3D, LIDAR}, \Omega_{t-1}^{cam}, \Omega_{t-1}^{Sens})$ – операція різниці множин видаляє об'єкти, які більше не є частиною робочої зони. Тобто, з результату об'єднання (з новими об'єктами) видаляються ті об'єкти, які були видалені або більше не актуальні.

Приведемо приклад як 11 дозволяє динамічно оновлювати робочу зону, адаптуючи її до змін у середовищі колаборативного робота маніпулятора. Припустимо що, робоча зона колаборативного робота маніпулятора на попередній момент часу $\mathbb{D}(t-1) = \{A, B, C\}$ має наступні об'єкти, також припустимо появу $\Omega_{new}^{cam} = \{D, E\}$ - це нові об'єкти, які були додані до робочої зони між моментами часу $t-1$ і t , при цьому об'єкт покинув робочу зону $\{B\}$, та більше не є її частиною. Тоді відповідно до 11, об'єднання: $\{A, B, C\} \cup \{D, E\} = \{A, B, C, D, E\}$, а видалення $\{A, B, C, D, E\} \setminus \{B\} = \{A, C, D, E\}$. Таким чином, на момент t , робоча зона $\mathbb{D}(t)$ буде включати об'єкти $\{A, C, D, E\}$ виключаючи об'єкти, які були видалені. Запропонована модель 11 на базі 7 дозволяє динамічно оновлювати робочу зону, адаптуючи її до змін у середовищі, що є важливим для точності і безпеки роботи колаборативних промислових роботів.

Модель динаміки об'єктів в просторі, базується на моделі об'єкти в просторі Ω_i , та представляє собою як області з певними геометричними формами і розмірами, математичне описання яких приведено в додатку В. Для динамічного оновлення розташування об'єктів Ω_i , пропонується використовувати алгоритми трекінгу об'єктів. Виходячи з цього модель динаміки об'єктів в робочій зоні коларативного робота маніпулятора можна представити в наступному вигляді:

$$\Omega_i(t) = \Omega_i(t-1) + \Delta\Omega_i(t) \quad (12)$$

Де: $\Omega_i(t)$ - множина об'єктів у просторі на момент часу t , це стан об'єктів у просторі на поточний момент часу t , та включає всі об'єкти, які є у робочій області колаборативного робота маніпулятора на цей момент;

$\Omega_i(t-1)$ - множина об'єктів у просторі на момент часу $t-1$, є стан об'єктів у просторі на попередній момент часу $t-1$, це базова множина об'єктів, з якої починається оновлення.

$\Delta\Omega_i(t)$ - зміна в множині об'єктів за період від $t-1$ до t , тобто нові об'єкти, які з'явилися, або зміни в існуючих об'єктах. То б то це різниця між поточним і попереднім станом об'єктів. Вона може включати нові об'єкти, які з'явилися, або зміни у властивостях

існуючих об'єктів (наприклад, переміщення, зміна розміру, зміна стану).

Модель 12 описує, як оновлюється множина об'єктів у просторі з часом, це дозволяє враховувати динамічні зміни в середовищі, такі як додавання нових об'єктів або зміни в існуючих. Приведемо математичний опис, множина об'єктів на момент t може бути описана як $\Omega_i(t) = \{\Omega_c, \Omega_{cy}, \Omega_{co}, \Omega_{cu}, \dots, \Omega_{qp}\}$, де $\Omega_c, \Omega_{cy}, \Omega_{co}, \Omega_{cu}, \dots, \Omega_{qp}$ - об'єкти в просторі, які представлені як області з певними геометричними формами і розмірами, відповідно до 2.6. Зміни в об'єктах $\Delta\Omega_i(t)$ може бути розділене на два типи змін: нові об'єкти $\Delta\Omega_i^+(t)$ та об'єкти, які були видалені або змінені $\Delta\Omega_i^-(t)$. Тоді:

$$\Delta\Omega_i(t) = \Delta\Omega_i^+(t) \cup \Delta\Omega_i^-(t) \quad (13)$$

Виходячи з 12 та 13 оновлена множина буде мати наступний вид:

$$\Omega_i(t) = \Omega_i(t-1) \cup \Delta\Omega_i^+(t) \setminus \Delta\Omega_i^-(t) \quad (14)$$

де: $\Omega_i(t-1)$ - множина об'єктів у просторі на момент часу $t-1$, є стан об'єктів у просторі на попередній момент часу $t-1$, це базова множина об'єктів, з якої починається оновлення;

$\Delta\Omega_i^+(t)$ - нові об'єкти в робочій зоні колаборативного робота маніпулятора;

$\Delta\Omega_i^-(t)$ - об'єкти, які були видалені або змінені в робочій зоні коларативного робота маніпулятора.

Як приклад, припустимо, що робочій зоні є наступні об'єкти, на момент $t-1$: $\Omega_i(t-1) = \{A, B, C\}$, нові об'єкти на момент t : $\Delta\Omega_i^+(t) = \{D\}$ та об'єкти, які були видалені або змінені на момент t : $\Delta\Omega_i^-(t) = \{B\}$. Тоді відповідно до 14 маємо наступну оновлену множину:

$$\Omega_i(t) = \{A, B, C\} \cup \{D\} \setminus \{B\} = \{A, C, D\} \quad (15)$$

Таким чином, на момент часу t , об'єктів в робочій зоні коларативного робота маніпулятора буде $\{A, C, D\}$, де об'єкт B був видалений, а об'єкт D був доданий.

Припустимо, що колаборативний робот маніпулятор, який спочатку навчився розпізнавати три основні типи об'єктів у робочій зоні. Однак у процесі роботи робот стикається з новими об'єктами (12), які потрібно розпізнавати, або з новими ситуаціями, які вимагають зміни правил управління. Відповідно початковий стан навченої моделі на момент часу $t-1$ буде мати наступний вигляд:

$$\mathbb{M}(t-1) = \Omega_s, \Omega_o, \Omega_t \quad (16)$$

Де: Ω_s - об'єкт розпізнаний як області з геометричною формою куб;

Ω_o - об'єкт розпізнаний як області з геометричною формою циліндр;

Ω_t - об'єкт розпізнаний як області з геометричною формою конус.

Робот зібрав нові дані та пройшов додаткове навчання для розпізнавання нового типу об'єкта (наприклад, паралелепіпед (Ω_{rh})) або нових правил поведінки при взаємодії з цим об'єктом. Тоді зміни в навчанні $\Delta M(t)$ будуть мати наступний вигляд:

$$\Delta M(t) = \Omega_{rh} + \text{нові правила поведінки} \quad (17)$$

Де: Ω_{rh} - об'єкт розпізнаний як області з геометричною формою прямокутний паралелепіпед.

Тоді оновлений стан навченої моделі на момент часу t , для даного прикладу буде мати наступний вигляд:

$$M(t) = \Omega_s, \Omega_o, \Omega_t + \Omega_{rh} + \text{нові правила поведінки}$$

III. ВИСНОВКИ

Запропонована модель динамічних об'єктів в робочій зоні колаборативного робота маніпулятора, дозволяє системі динамічно оновлювати список об'єктів у середовищі, що важливо для забезпечення точності і актуальності даних у роботизованих системах. Таким чином, робот маніпулятор постійно адаптує свою модель на основі нових знань, що дозволяє йому краще справлятися з новими ситуаціями або об'єктами в робочій зоні. Це може бути реалізовано як частина алгоритмів машинного навчання, які дозволяють роботу «навчатися» під час роботи, або через оновлення програмного забезпечення на основі зворотного зв'язку від сенсорів і систем управління.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Renda A, Schwaag Serger S, Tataj D, Morlet A, Isaksson D, Martins F, Mir Roca M, Hidalgo C, Huang A, Dixon-Declève S, Balland P-A, Bria F, Charveriat C, Dunlop K, Giovannini E. Industry 5.0, a transformative vision for Europe : governing systemic transformations towards a sustainable industry, European Commission Directorate-General for Research Innovation, Publications Office of the European Union, 2022. <https://doi.org/10.2777/17322>.
- [2] Holzinger, A., Schweier, J., Gollob, C. *et al.* From Industry 5.0 to Forestry 5.0: Bridging the gap with Human-Centered Artificial Intelligence. *Curr. For. Rep.* (2024). <https://doi.org/10.1007/s40725-024-00231-7>
- [3] Bhat, F.A., Parvez, S. Emerging Challenges in the Sustainable Manufacturing System: From Industry 4.0 to Industry 5.0. *J. Inst. Eng. India Ser. C* (2024). <https://doi.org/10.1007/s40032-024-01046-y>
- [4] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalailah, A. (2024). Using Convolutional Neural Networks to Analyze and Detect Key Points of Objects in Image. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 5-15.
- [5] Gurin, D., Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., & Maksymova, S. (2024). Using the Kalman Filter to Represent Probabilistic Models for Determining the Location of a Person in Collaborative Robot Working Area. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 66-75.
- [6] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Abu-Jassar, A. (2024). Effect of Frame Processing Frequency on Object Identification Using MobileNetV2 Neural Network for a Mobile Robot. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 36-44.
- [7] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalailah, A. (2024). MobileNetv2 Neural Network Model for Human Recognition and Identification in the Working Area of a Collaborative Robot. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 5-12.
- [8] Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2024). Development and Investigation of Vision System for a Small-Sized Mobile Humanoid Robot in a Smart Environment. *International Journal of Crowd Science*.
- [9] Abu-Jassar, A., Yevsieiev, V., & Maksymova, S. (2024). The Optical Flow Method and Graham's Algorithm Implementation Features for Searching for the Object Contour in the Mobile Robot's Workspace.
- [10] Yevsieiev, V., & Starodubcev, N. (2023). Development of a control algorithm for a small-sized mobile manipulation robot. *Scientific Collection «InterConf»*, (140), 648-651.
- [11] Yevsieiev, V., & Gurin, D. (2023). *Comparative Analysis of the Characteristics of Mobile Robots and Collaboration Robots Within INDUSTRY 5.0* (Doctoral dissertation, European Scientific Platform).
- [12] Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Starodubcev, N. (2022). A robotic prosthetic a control system and a structural diagram development. *Collection of scientific papers «ΛΟΓΟΣ»*, (August 12, 2022; Zurich, Switzerland), 113-114.
- [13] Maksymova, S., Yevsieiev, V., Nevliudov, I., & Bahlai, O. (2024, May). Balancing System For A Zoomorphic Spot Type Mobile Robot Development Using An Accelerometer MPU 6050 (GY-521). In *2024 IEEE 19th International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)* (pp. 39-42). IEEE.
- [14] Palácios, R.H.C., Bertoncini, J.P.S., Uliam, G.H.O. *et al.* Evaluation of mobile autonomous robot in trajectory optimization. *Computing* **105**, 2725–2745 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00607-023-01205-6>
- [15] Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., & Maksymova, S. (2024). Humanoid Robot Movement Simulation in ROS. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(7), 146-154.
- [16] I Mahmud, S., Kamarulariffin, A., Ibrahim, A.M. *et al.* Advancements and Challenges in Mobile Robot Navigation: A Comprehensive Review of Algorithms and Potential for Self-Learning Approaches. *J Intell Robot Syst* **110**, 120 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10846-024-02149-5>

Automation of Power Grid Element Management to Enhance Energy Efficiency

Artem Hubar

KITPVm-23-2, Kharkiv National University of Radioelectronics
Ukraine, Kharkiv, 14 Nauky Ave, email: artem.hubar@nure.ua.

Abstract: This paper discusses innovative solutions in the automation of power grid management aimed at increasing energy efficiency in Ukraine, particularly in the context of energy shortages caused by the war. Specific technologies and their impact on energy security are proposed.

Keywords: automation, energy efficiency, power grids, Smart Grid, energy security.

I. Introduction

Energy is a valuable resource, limited in its availability. In the modern world, humanity is constantly seeking ways to improve energy consumption efficiency, as this issue is not only about savings but also about responsibility to future generations.

In the context of a global energy crisis, driven by rising prices and resource depletion, it is important to realize that our electricity consumption today has a direct impact on the lives of future generations. The quality of life of our descendants and their ability to enjoy comfort depend on the approaches we choose for utilizing energy resources.

This awareness drives the search for innovative technologies and solutions that can reduce energy consumption and lessen the negative impact on the environment. It is necessary not only to meet the needs of today but also to leave a sustainable and clean world for future generations. In this context, the automation of managing the elements of the power grid is critically important, as it allows for optimizing energy consumption and ensuring the effective use of resources, which, in turn, will contribute to the preservation of our planet

II. Overview of Relevance

With the onset of the war in Ukraine, the relevance of efficient electricity consumption has significantly increased. The conflict has led to energy shortages, resulting in numerous power outages. This has created new challenges for consumers, businesses, and the state as a whole, as it affects not only the comfort of citizens but also the economic stability of the country.

In conditions of electricity scarcity, it is essential not only to reduce consumption but also to implement new automation technologies capable of significantly enhancing energy efficiency. In this context, the automation of managing elements of the power grid gains particular importance, as it can become a key factor in ensuring reliable and efficient use of energy resources.

In the context of Ukraine's energy security, it is important to note that the Energy Security Strategy of Ukraine emphasizes the need to synchronize Ukrainian energy systems with European ones, which will allow for sustainable development of the energy sector, particularly

through the automation of networks. In this regard, the automation of power grids is one of the key steps toward achieving a secure and efficient energy system [1].

Analysis shows that the relevance of research and publications related to the automation of managing elements of power grids to enhance their energy efficiency is very high. One of the leading technologies is Smart Grid. In 1886, the first alternating current power grid was launched in Great Barrington, Massachusetts. It was a centralized system managed on demand.

In the 20th century, local networks began to interconnect to improve efficiency and reliability. By the 1960s, they transformed into large systems supplying energy from thousands of power plants to industrial and residential consumers through high-voltage lines.

The rapid increase in demand since the 1970s required the construction of new power plants. During peak loads, this led to outages, prompting consumers to demand more reliable services. By the end of the 20th century, heating and air conditioning systems had become the main energy consumers, leading to peak loads during the day. This increased the costs of maintaining the grid, which were reflected in tariffs.

In the 21st century, countries like South Korea, China, India, and Brazil have become leaders in implementing modern smart energy systems. In the 2020s, the number of publications on this topic in Ukraine has increased nearly threefold; a pie chart comparing the number of publications is presented in Fig. 1.

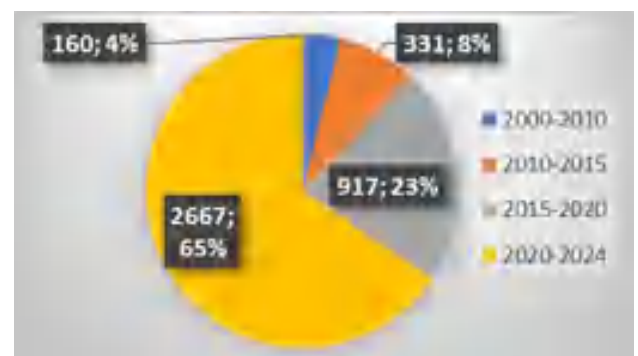


Fig. 1. Number of Publications in Different Periods of the 21st Century

The diagram shows the number of published articles on the topic of automation of managing elements of power grids to enhance their energy efficiency for four-time intervals. The percentages in the diagram reflect the share of each interval in the total number of publications released on this topic in the 21st century.

Figure 2 presents a diagram demonstrating the dynamics of the number of published articles over the period from 2020 to 2024.

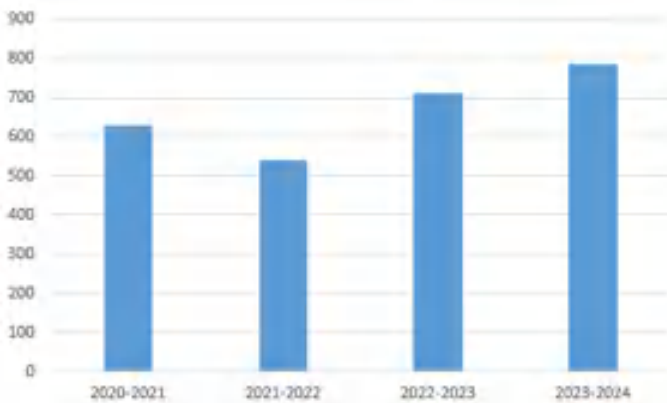


Fig. 2. Number of Publications in Recent Years

As can be seen from the figures, the number of publications continues to grow. According to the Energy Security Strategy of Ukraine, about 50% of Ukraine's power grid is in a state of disrepair, significantly complicating its operation. This situation necessitates the implementation of innovative solutions, such as monitoring and automation systems, which can help restore and optimize the functioning of the networks. The automation of networks will reduce the load on the aging infrastructure and enhance its efficiency [1].

Automation of managing elements of power grids to improve energy efficiency encompasses several key areas. One of these is smart grids (Smart Grid), such as ABB Ability and Siemens Spectrum Power. ABB Ability enables the automation, optimization, and resilience of operations across various sectors, increasing the reliability and efficiency of energy networks [2]. Siemens Spectrum Power specializes in reliable and efficient management of energy markets, allowing for the integration of various energy sources and real-time management [3].

Another area is substation automation. Schneider Electric's EcoStruxure solution allows for monitoring and remote control of key components of the power grid, significantly enhancing its operational efficiency [4]. GE Grid Solutions provides solutions for the transmission and distribution of energy, facilitating continuous energy supply and minimizing losses [5].

In the field of demand response management, notable solutions include Oracle Utilities Opower and Enel X Demand Response. Oracle Opower employs artificial intelligence and behavioral technologies to influence consumers, helping them reduce energy consumption through analysis and information [6]. Enel X Demand Response enables consumers to adjust their energy consumption based on the state of the grid, helping to reduce load and increase stability [7].

The integration of renewable energy sources is an essential component of modern power grids. Schneider Electric's Advanced Distribution Management System (ADMS) provides automatic balancing of energy flows and minimizes losses, allowing for the effective integration of solar and wind energy [8]. Siemens' Decentralized Energy Management integrates

decentralized energy sources, optimizing their use and increasing grid flexibility [9].

Particular attention should be paid to real-time monitoring and control systems. With solutions like Honeywell Energy Control System and OSIsoft PI System, it is possible not only to continuously monitor the condition of the grid but also to automatically adjust energy flows to maximize efficiency [10]. These systems provide analysis, load management, and help reduce energy losses in networks [11].

The results of implementing automation in power grids and energy-efficient technologies in various countries demonstrate significant progress in improving energy consumption efficiency. In the U.S., for instance, Smart Grid technologies have become the foundation for modernizing the power grid following the Recovery and Reform Act of 2009, which allocated about \$4.5 billion. As a result of these measures, electricity losses have been reduced by 10-15%, and the reliability of energy supply has improved, particularly in California, where the duration of outages has decreased by 25%. The implementation of renewable energy sources has also gained momentum, with wind and solar energy now accounting for about 20% of the overall electricity consumption balance in some states [12].

Germany is implementing the "Energy Transition" (Energiewende) policy, which involves gradually reducing dependence on fossil fuels and increasing the share of renewable sources. In 2020, the share of renewable sources in total electricity production exceeded 50%, and CO₂ emissions decreased by 42% compared to 1990 levels. The deployment of smart meters allows consumers to monitor their consumption and optimize electricity costs [13].

In South Korea, the Smart Grid project has been implemented in the city of Gwangju, incorporating demand management systems and smart meters. This implementation has resulted in a 20% reduction in electricity consumption during peak hours, as well as significant savings on electricity costs through the integration of renewable energy [14].

These examples demonstrate how automation and modern technologies can significantly enhance the efficiency of power grids and energy security, which is an important direction for Ukraine in the context of its energy transformation.

Among the implemented automation projects, the introduction of automated electricity commercial accounting systems (ACCS) should be noted. This system optimizes electricity consumption, reduces losses in distribution networks, and ensures more accurate accounting of consumption. Thanks to ACCS, energy companies can manage their resources more effectively, improving the overall stability of the energy system [15].

Automation systems for managing electricity supply modes and lighting have also been implemented, allowing for the optimization of urban electrical networks [16].

Ukraine faces numerous threats in the energy sector, including market monopolization, infrastructure wear, and dependence on energy resource imports. These problems significantly limit opportunities for sustainable development of the energy system. The automation of

power grids is critically important for overcoming these challenges and ensuring reliable energy supply.

III. CONCLUSIONS

Automation of managing elements of power grids to enhance their energy efficiency is a crucial link that affects stability, economic, and human resources.

To address the current issues in Ukraine's energy system, it is advisable to implement several ready-made solutions that can be the most beneficial.

First, smart grids (Smart Grid) can significantly optimize energy consumption and reduce peak loads. The implementation of Smart Grid technologies, such as solutions from ABB Ability, will facilitate the integration of renewable energy sources, which, in turn, will reduce dependence on imported fossil fuels.

Second, substation automation using technologies from companies like Schneider Electric will increase the reliability of energy supply and reduce maintenance costs for infrastructure. This solution will also help lower the likelihood of accidents, which is critically important for the stability of the energy system.

Third, demand response management systems, such as solutions from Oracle Utilities Opower, will allow users to adapt their energy consumption. This will reduce the load on the grid during peak periods, improving the overall stability of the energy system.

The experience of other countries confirms the effectiveness of these technologies. For example, in the U.S., the implementation of Smart Grid has led to a 10-15% reduction in electricity losses and improved supply reliability. Germany, by implementing the "Energy Transition" policy, has achieved a share of renewable sources in electricity production exceeding 50%. In South Korea, the Smart Grid project in Gwangju has resulted in a 20% reduction in electricity consumption during peak loads.

In general, the implementation of these solutions will enhance Ukraine's energy security, improve the stability of energy supply, and reduce energy poverty, creating a favorable environment for investment in this sector.

Therefore, the successful implementation of power grid automation is a key condition for achieving the strategic goals of Ukraine's energy security, as outlined in the Strategy until 2025. This will reduce dependence on imported energy resources, decrease infrastructure wear, and improve energy resource management, which is critically important for the country's economic development.

REFERENCE LIST

- [1] EUEA. "Overview of Ukraine's Energy Security Strategy by EUEA" – [Electronic resource] URL: <https://euea-energyagency.org/uk/novyny-ta-podiyi/novyny-rynku/oglyad-strategiyi-energetychnoyi-bezpeky-ukrayiny-vid-yeuea/>.
- [2] ABB. "ABB Ability" – [Electronic resource] URL: <https://global.abb/topic/ability/en>.
- [3] Siemens. "Grid Control" – [Electronic resource] URL: <https://www.siemens.com/global/en/products/energy/grid-software/operation/grid-control.html>.
- [4] Schneider Electric. "EcoStruxure" – [Electronic resource] URL: <https://www.se.com/ww/en/work/campaign/innovation/platform.jsp>.
- [5] GE Vernova. "Grid Solutions" – [Electronic resource] URL: <https://www.governova.com/grid-solutions/>.
- [6] Oracle. "Opower Energy Efficiency" – [Electronic resource] URL: <https://www.oracle.com/utilities/opower-energy-efficiency/>.
- [7] Enel X. "Demand Response" – [Electronic resource] URL: <https://www.enelx.com/na/en/utilities/distributed-energy/demand-response>.
- [8] Schneider Electric. "Advanced Distribution Management System (ADMS)" – [Electronic resource] URL: <https://www.se.com/ww/en/work/solutions/for-business/electric-utilities/advanced-distribution-management-system-adms/>.
- [9] Siemens Energy. "Omnivise Hybrid Control" – [Electronic resource] URL: <https://www.siemens-energy.com/global/en/home/products-services/service/omnivise-hybrid-control.html>.
- [10] Honeywell. "Energy Control System" – [Electronic resource] URL: <https://process.honeywell.com/content/dam/pmt/en/documents/gated/HPS%20BRO%20RDA%20-%20EECS%20A4%20V5.pdf>.
- [11] AVEVA. "PI System" – [Electronic resource] URL: <https://www.aveva.com/en/products/aveva-pi-system/>.
- [12] "Digitalization of Energy: How Smart Grid Technologies Will Help Rebuild Ukrainian Power Grids," Mind.ua – [Electronic resource] URL: <https://mind.ua/publications/20273149-cifrovizaciya-energetiki-yak-tehnologiyi-smart-grid-dopomozhut-vidbuduvati-ukrayinski-energomerezhi>.
- [13] "Building Smart Grid - A Path to Increasing the Resilience of Ukraine's Energy System," Ukrinform – [Electronic resource] URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3863598-rozbudova-smart-grid-slah-do-pidvisenna-stijkosti-energosistemi-ukraini.html>.
- [14] "Implementation of Energy-Efficient Technologies in New Construction," Science.lpnu.ua – [Electronic resource] URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2020/dec/22823/02-bakhtin.pdf>.
- [15] "Automated Commercial Electricity Accounting System (ASKOE)" – [Electronic resource] URL: <https://grandtesla.com.ua/service/askoe>.
- [16] DOI. "Analysis of the Prospects for the Development of Distributed Generation Systems in Ukraine" – [Electronic resource] URL: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.3/3>.

Автономний робот на Raspberry Pi з аналізом обличчя та емоцій в реальному часі

Артем Бронніков¹, Стеценко Катерина²

1. Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки, 14., email: artem.bronnikov@nure.ua

2. Деканат АКТ, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки, 14., email: katernina.stetsenko2@nure.ua

Анотація: У роботі представлено рішення для створення робота на базі платформи Raspberry Pi, який здатен визначати емоційний стан людини та відстань до її обличчя в реальному часі. Система використовує технології комп'ютерного зору OpenCV для виявлення обличчя і модуль DeepFace для аналізу емоцій. Також описано метод обчислення відстані до людини на основі розміру обличчя в кадрі. Робот адаптує свою поведінку на основі виявлених емоцій і відстані до користувача, що робить його корисним у різних сферах, таких як сервісні роботи, безпілотні транспортні засоби та медичні помічники.

Ключові слова: Комп'ютерний зір, Raspberry Pi, виявлення обличчя, аналіз емоцій, OpenCV, DeepFace, робототехніка, глибинне навчання, інтерактивна взаємодія, визначення відстані.

I. ВСТУП

Робототехніка вимагає постійного вдосконалення технологій для більш ефективної взаємодії з навколишнім середовищем і людьми. Однією з ключових технологій для розпізнавання та інтерпретації дій людини є комп'ютерний зір. Комп'ютерний зір дозволяє роботам не тільки розпізнавати об'єкти, але й ідентифікувати людей, оцінювати їхній емоційний стан і визначати відстань для безпечної навігації. Raspberry Pi — це доступна і потужна платформа для побудови таких систем. У цій статті описано процес створення робота на Raspberry Pi з використанням Python, бібліотеки OpenCV для виявлення обличчя і модуля DeepFace для аналізу емоцій.

II. ОПИС ПРОЄКТУ

Raspberry Pi 5 був обраний для цього проєкту через свою продуктивність та потужність. Плата забезпечує суттєво кращу продуктивність порівняно з попередніми моделями. Його 64-бітний процесор ARM Cortex-A76, що працює на частоті до 2,4 ГГц, дозволяє обробляти відео та проводити аналіз зображень в режимі реального часу, що критично для комп'ютерного зору.

Після налаштування камери, вона була використана для розпізнавання об'єктів. Один із методів, що використовуються для виявлення об'єктів, є каскадні класифікатори Хаара. Цей простий та ефективний метод виявлення, зокрема обличчя, працює шляхом пошуку простих характеристик у зображеннях, що дозволяє швидко виявляти об'єкти в реальному часі.

Метод Хаара заснований на виявленні простих характеристик у зображеннях, які описують, як

виглядає об'єкт, який потрібно виявити. Класифікатор навчений на великій кількості позитивних і негативних зображень, що дозволяє йому вивчити специфічні особливості обличчя, такі як форма очей, носа, рота та інших частин обличчя. Зображення з камери перетворюється в сірий масштаб для спрощення обробки. Класифікатор застосовується до зображення в каскадному режимі, де він спочатку перевіряє великі області зображення, а потім поступово зменшує область, фокусуючи увагу на менших деталях. Це дозволяє зменшити кількість обчислень і підвищити швидкість виявлення. Якщо класифікатор виявляє об'єкт, він позначає цю область прямокутником на зображенні.

Цей метод є швидким і не вимагає значних обчислювальних ресурсів, що робить його ідеальним для використання на пристроях з обмеженими можливостями, таких як Raspberry Pi.

Для реалізації цього проєкту було використано Python-код, що поєднує функції комп'ютерного зору, аналізу обличчя і руху робота. На початку імпортується необхідні бібліотеки: OpenCV для обробки зображень і DeepFace для аналізу емоцій.

У коді ініціалізується захоплення відеопотоку з камери, а також завантажується попередньо навчений класифікатор обличчя із бібліотеки OpenCV. Класифікатор обличчя використовується для виявлення обличчя у відеопотоці.

Для точного визначення відстані до обличчя використовується відома ширина обличчя (в середньому 16 см) разом із фокусною відстанню камери. Функція `calculate_distance` розроблена для обчислення відстані до обличчя на основі розміру обличчя в кадрі, що дозволяє точно оцінити відстань до об'єкта.

Формула для обчислення відстані виглядає так 1:

$$\text{distance} = \frac{\text{known_width} * \text{focal_length}}{\text{width_in_image}} \quad (1)$$

де, `known_width` — відома ширина об'єкта;

`focal_length` — фокусна відстань камери;

`width_in_image` — ширина обличчя, виявленого на зображенні.

Робот постійно отримує відеопотік, виявляє обличчя та аналізує емоції, використовуючи класифікатори, щоб адаптувати свої дії залежно від емоційних реакцій користувача.

```

while video.isOpened():
    ret, frame = video.read()
    if not ret:
        break
    gray = cv2.cvtColor(frame,
cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    faces = face_cascade.detectMultiScale(gray,
scaleFactor=1.1, minNeighbors=5)
    frame_center = frame.shape[1] // 2 # Центр кадра
    for (x, y, w, h) in faces:
        # Відображення рамки навколо обличчя
        image = cv2.rectangle(frame, (x, y), (x + w, y + h),
(89, 2, 236), 1)
        try:
            # Аналіз емоцій за допомогою DeepFace
            analyze = DeepFace.analyze(frame,
actions=['emotion'])
            if isinstance(analyze, list):
                analyze = analyze[0]
            dominant_emotion =
analyze.get('dominant_emotion', 'No emotion detected')
            cv2.putText(image, dominant_emotion, (x, y -
10), cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 1, (224, 77,
176), 2)
            # Оцінка відстані
            distance = calculate_distance(FOCAL_LENGTH,
KNOWN_WIDTH, w)
            cv2.putText(image, f"Distance: {distance:.2f}m",
(x, y + h + 20), cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 1, (0,
255, 0), 2)
            # Визначення напрямку руху
            face_center = x + w // 2
            if distance < MIN_DISTANCE:
                direction = "Stop"
            elif face_center < frame_center - 30:
                direction = "Move Left"
            elif face_center > frame_center + 30:
                direction = "Move Right"
            else:
                direction = "Move Forward"
            cv2.putText(image, direction, (x, y + h + 50),
cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 1, (0, 255, 0), 2)
            except Exception as e:
                print('No face detected or error:', e)
            # Відображення кадру
            cv2.imshow('video', frame)
            if cv2.waitKey(1) == ord('q'):
                break
        video.release()
        cv2.destroyAllWindows()

```

У цьому циклі робот аналізує кожен кадр, визначає обличчя, аналізує емоції людини та обчислює відстань до неї. На основі цих даних визначається напрямок руху робота, що дозволяє уникати занадто близького контакту або, навпаки, направляти робота до людини.

III. ВИСНОВКИ

Робототехнічні системи з інтеграцією комп'ютерного зору та технологій штучного інтелекту, таких як DeepFace, значно розширюють можливості взаємодії між роботами та людьми. Визначення емоційного стану людини дозволяє адаптувати поведінку робота відповідно до настрою користувача, що може бути корисним у багатьох сферах — від сервісних роботів до медичних асистентів. У даній статті було представлено ефективно та відносно недороге рішення для побудови робота на базі Raspberry Pi, здатного аналізувати емоції та відстань до обличчя в реальному часі.

Такі системи мають великий потенціал для подальшого вдосконалення та розвитку, включаючи поліпшення алгоритмів виявлення об'єктів, оптимізацію обчислень для мобільних платформ і розширення функціоналу взаємодії з користувачем.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Face Detection с помощью Haar Cascades. docs.opencv.org . URL: https://docs.opencv.org/3.4/d2/d99/tutorial_js_face_detection.html (date of access: 23.09.2024).
- [2] Face Recognition using OpenCV with Raspberry Pi. github.com . URL: <https://github.com/justsaumit/opencv-face-recognition-rpi4> (date of access: 23.09.2024).
- [3] Face Recognition using Raspberry Pi/A. Boxey et al. Journal of Image Processing and Intelligent Remote Sensing . 2022. P. 15–23. URL: <https://doi.org/10.55529/jipirs.24.15.23> (date of access: 23.09.2024).
- [4] Facial recognition using Haar cascade and LBP classifiers. Global Transitions Proceedings . 2021. P. 330–335. URL: <https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/4z18Xkr7/> (date of access: 23.09.2024).
- [5] Gauging Facial Abnormality Using Haar-Cascade Object Detector / M. Stotland et al. 2022 44th Annual International Conference of IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC) . 2022. URL: <https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/4gYgrv39/> (date of access: 23.09.2024).
- [6] Raspberry Pi Face Recognition Using OpenCV. oscarliang.com . URL: <https://oscarliang.com/raspberry-pi-face-recognition-opencv/> (date of access: 23.09.2024).
- [7] Using OpenCV and face Recognition in face recognition systems on single-board computers such as Raspberry Pi. <https://evergreens.com.ua/> . URL: <https://evergreens.com.ua/ru/articles/open-cv-face-recognition.html> (date of access: 23.09.2024).

Analysis of electronic locks existing systems

Andrii Lvov, Svetlana Sotnik

Department CITAR, Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine,
Kharkiv, av. Nauki. 14., email: svetlana.sotnik@nure.ua

Anotation: The aim of this work is to develop locking device control system that includes personalization function. Such solution is especially relevant for managers who want to conveniently control attendance of workspaces or restricted areas. Owners of warehouses, archives, laboratories, or ordinary offices often need information about who visits these premises and when, but do not always have ability to obtain such data promptly.

The proposed system not only provides this opportunity, but also ensures convenient control through use of modern technologies. This project has created system that, although it has analogues on market, is easy to use and affordable. The study focused on introduction of personalization technology and replacement of traditional keys to open doors using radio frequency identification (RFID), which is already widely used in modern world.

Key words: Radio Frequency IDentification, door lock, optimizing, information.

I. INTRODUCTION

In today's digital age, security and access control issues are becoming increasingly important [1-5]. As number of users and their needs increase, modern electronic locks are becoming increasingly complex, which poses new challenges for developers of such systems, particularly in context of ensuring reliability, security, and ease of use.

One of areas of development of electronic locks is integration of intelligent tools, such as artificial intelligence, machine learning, and natural language processing, which are becoming prerequisite for optimizing these systems. The use of such technologies makes it possible to create automated access control systems that significantly increase work efficiency, minimizing impact of human factor and reducing risk of errors.

Automation of lock management processes can increase speed of response to user requests and reduce time spent on their maintenance. Robotic solutions, in turn, contribute to development of autonomous systems capable of performing complex access control tasks in real time. The integration of these technologies creates new, more adaptive and flexible electronic lock systems that not only perform task of opening or closing doors, but are also able to anticipate user needs based on analysis of their behavior and context of use.

It's also worth noting that automation itself is key trend in modern technology that can significantly improve management of electronic locks. The use of automated solutions helps to reduce cost of operation and maintenance, while increasing level of security and system performance [6-10]. Automation makes it possible to efficiently manage large networks of locks, coordinate their operation, and provide instant access to system status data, which makes lock management more transparent and controlled.

Therefore, in face of increasing security and automation requirements, relevance of analyzing existing electronic lock systems becomes obvious. The integration of intelligent tools, automation, and robotics opens up new horizons for increasing reliability, speed, and efficiency of electronic locks while providing maximum user convenience.

II. ANALYSIS OF PRINCIPLES OF OPERATION OF ELECTRIC LOCKS

At its core, electric lock is executive element of access control and management system (ACS), which is designed to prevent unauthorized persons from entering premises. In general, electric lock is almost no different from regular one. Suffice it to say that electric locks can also be mortise and padlocks, can be operated with push or fixed handles, and can be opened with key. Most of these devices have popular dimensions of conventional mechanical locks – backsets, center spacing, and bar sizes. The main difference is additional control method.

To operate electrical part, lock must be supplied with power source, which is connected to control device on other side. These devices can be various elements of access control system that person interacts with to get into room: magnetic card reader, biometric sensor, code-entry keyboard, key fob, button, or even remote control with smartphone. The lock opens or closes when electric current is applied or turned off. This creates main advantage and reason why such locks are used – they allow you to open door remotely and without using mechanical key. The principle of electric locks operation in Fig. 1.



Fig. 1. Principle of electric locks operation

The main thing you need to know about operation of electric locks depending on power supply or removal is that they are divided into “normally closed”, “normally open” and “universal”.

Normally closed means that lock is unlocked when electrical signal is applied. In its absence, lock is closed.

Normally unlocked. When electrical signal is present, lock remains closed, and when signal is stopped, it opens.

Universal. Such devices have a switch that allows you to independently set desired operating mode.

III. INSTALLATION FEATURES OF ELECTRIC LOCKS

When installing electronic locks, it is important not only to choose reliable system, but also to perform installation work correctly. The quality of installation directly affects functionality and durability of lock, as well as its security and ease of use. Failure to comply with technological requirements during installation can lead to system malfunctions, reduced security, or premature equipment wear. In this section, we'll look at key features of installing electric locks that will ensure optimal operation of access control system and avoid common mistakes.

To begin with, let's consider first option, Scheme 1 – simplest electromechanical lock switching scheme, which can be used to provide remote door opening (Fig. 2) [11-13]. Among peculiarities, it should be noted that sufficiently powerful power supply is required for stable operation. Also note that long press on button (more than 3-5 seconds) will in most cases cause lock's retraction relay to burn out.

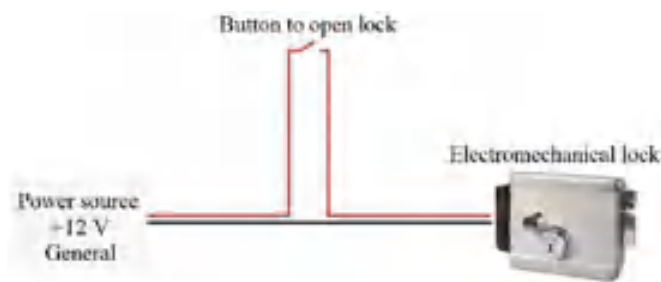


Fig. 2. Connecting electromechanical lock using power supply unit for remote door opening

Next, let's review Scheme 2 for electromechanical lock in more correct version, using lock control unit (LCU) (Fig. 3) [11-13]. This option allows you to use conventional power supply, and also limits duration of voltage supply to lock itself. In this case, lock control unit is placed in lock body or in close proximity to it. Among disadvantages of this installation is failure of security lock, which is common due to their low cost and quality of assembly, which, however, depends on delivery batch.

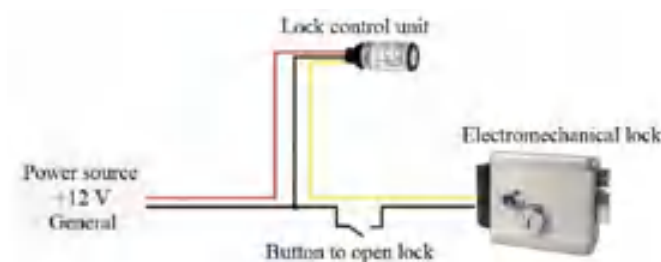


Fig. 3. Connecting electromechanical lock using power supply unit and remote control unit for remote door opening

The third option is Figure 3, and here you can see “classic” (and already outdated) connection scheme for video intercom and electromechanical lock (Fig. 4) [11-13]. This type of connection was widely used before appearance of lock control units (LCUs) on market, and it has same design flaws as option shown in Scheme (Fig. 2) [11-13]. It should be noted that most modern intercom systems control lock using call panel.

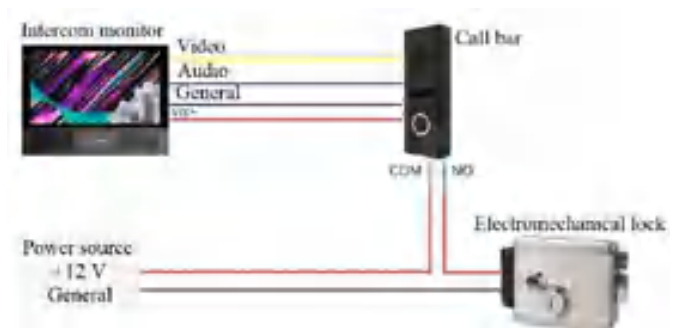


Fig. 4. Connecting electromechanical lock to intercom for remote door opening using power supply unit

The fourth option – Scheme 4 reflects modern (and most correct) option for connecting video intercom and electromechanical lock (Fig. 5).

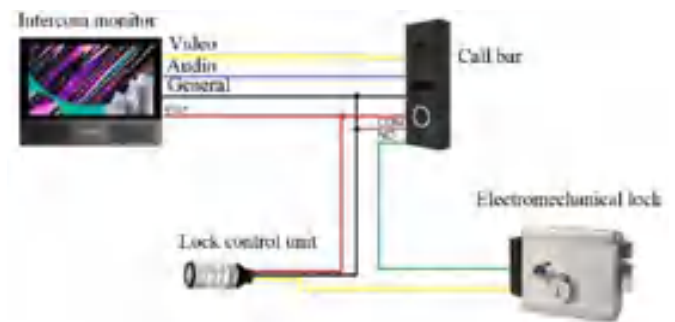


Fig. 5. Connecting electromechanical lock to intercom for remote opening of door using LCU

The advantage of this scheme, in addition to those described in explanation to scheme 2, is that there is no need to lay additional cable from intercom to call panel – to provide power to lock.

IV. OVERVIEW OF TYPES OF ELECTRONIC LOCKS

In modern access control systems, electronic locks play key role, offering wide range of solutions for different needs. The choice of appropriate type of lock depends on many factors, such as security requirements, type of room, and features of use.

There are several main types of electronic locks, each of which has its own advantages and scope of application.

So, let's review most common types of electronic locks to determine their functionality and capabilities, as well as analyze which of them are most suitable for specific operating conditions.

One of the most common types of electronic locks are combination locks (Fig. 6) [14, 15]. They work on basis of entering pre-set code. This is fairly easy-to-use option,

as user doesn't need to carry physical key or other media to access. For most part, these locks are used in buildings where speed and ease of access are important, such as apartment buildings or offices with large number of users. However, combination locks also have their drawbacks. For example, there is risk that attackers may pick up code or otherwise obtain it, so it's important to change codes regularly to provide additional protection.



Fig. 6. Code lock

Another type of electronic locks are systems that use radio frequency identification (RFID) or magnetic cards (Fig. 7). In this case, user attaches card or key fob to special reader to open lock. This approach is very popular in hotels, offices, and facilities with large number of people. RFID-based locks are convenient because they provide quick access and can be configured for specific duration of card, for example, for guest access. However, these systems also have their drawbacks, including risk of losing or copying card, which can pose threat to security of facility.



Fig. 7. RFID lock

One of most modern and secure options for electronic locks is biometric systems (Fig. 8). They work based on recognition of person's unique characteristics, such as fingerprints, face, or iris. The main advantage of such

locks is high security, since biometric data cannot be lost or copied, as is case with cards or keys. In addition, such systems are often used in conjunction with other access methods, such as passwords or RFID cards, which increases overall level of protection. However, biometric locks are more expensive than traditional electronic systems and may have limitations due to recognition errors, such as skin damage or change in user's appearance.



Fig. 8. Biometrical lock

In recent years, smart locks (Fig. 9), which work through mobile applications using Bluetooth or Wi-Fi technologies, have become very popular. Such locks allow user to remotely control access to room via smartphone, which is especially convenient in cases where it is necessary to grant access to another person or track use of lock in real time. Smart locks integrate into smart home systems, ensuring synchronization with other devices such as surveillance cameras or alarm systems. However, they also have their weaknesses, as they need constant access to Internet or battery power to work correctly, which can lead to temporary loss of access due to technical failures or exhaustion. Additionally, these systems can be targeted by hackers, making them vulnerable to cyberattacks.



Fig. 9. Wi-fi lock

In addition to basic types of locks, there are combined systems that combine several authentication methods, such as entering code, attaching card, or using biometric data. Such solutions allow for increased security, as users

need to go through several layers of protection to gain access to premises. These systems are most often used in facilities with increased security requirements, such as banks, government agencies, or large corporate offices.

In general, choice of electronic lock system depends on specifics of object, security needs, and ease of use. Each type of lock has its own advantages and disadvantages, and final solution must consider balance between cost, convenience, and level of protection required for particular situation.

V. CONCLUSIONS

In this analysis, principles of operation and features of installation of electric locks were considered, as well as overview of different types of electronic locks was provided. This comprehensive review serves several important purposes. Firstly, it helps to understand basic mechanisms and advantages of electric locks in access control systems. Second, it highlights critical installation considerations to ensure optimal functionality, safety, and longevity of these systems. Finally, by researching different types of electronic locks – from combination and RFID locks to biometric and smart lock systems – we have provided framework for selecting most suitable lock based on specific security needs, usage scenarios, and technological preferences. This research is critical to making informed decisions in implementing efficient and effective access control solutions in variety of applications, from residential to commercial high-security environments.

Additionally, this study emphasizes importance of balancing security, convenience, and cost when implementing electronic lock systems. We've discussed how different types of locks can be integrated into broader security ecosystems, such as video intercoms and smart home networks, showcasing versatility and adaptability of modern access control solutions. The analysis of installation schemes and common pitfalls serves as practical guide for professionals in field, helping to avoid potential issues and ensure reliable system performance.

LIST OF REFERENCES

- [1] V. Kaponkin, et al., "The role of big data in improving functionality of search engines," *The 8th International scientific and practical conference "European congress of scientific achievements" (August 12-14, 2024) Barca Academy Publishing, Barcelona, Spain.* 2024, pp. 69-76.
- [2] S. Sotnik, A. Andreiev, "QR codes in production," *Manufacturing & Mechatronic Systems 2023: roceedings st International Conference, Kharkiv, October 19-20, 2023.* 2023, pp. 19-21.
- [3] I. S. Nevludov, et al., "Cloud giants: AWS, Azure and GCP," *2023 2nd International Conference on Innovative Solutions in Software Engineering Ivano-Frankivsk, Ukraine, November 29-30.* 2023, pp. 18-23.
- [4] S. Sotnik, I. Borysenko, "Chat GPT features in data search," *9th International scientific and practical conference "Scientific progress: innovations, achievements and prospects" (May 29-31, 2023) MDPC Publishing, Munich, Germany.* 2023, pp. 139-144.
- [5] A. Y. Hubar, et al., "Impact of automation and CALS technologies on human factor in production," *The 8th International scientific and practical conference "European congress of scientific achievements" (August 12-14, 2024) Barca Academy Publishing.* 2024, pp. 243-249.
- [6] Ф. В. Кирпота, та інш., "Визначення функціональних вимог в автоматизованій теплиці," *International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics and Telecommunications dedicated to the 85th anniversary of the Department of Theoretical Radio Engineering and Radio Measurements.* 2024, pp. 182-185.
- [7] Я. І. Халімонов, и др., "Створення інтелектуального модулю для автоматизованого моніторингу середовища у приватних та комерційних приміщеннях з використанням комп'ютерно-інтегрованих технологій," *International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics and Telecommunications dedicated to the 85th anniversary of the Department of Theoretical Radio Engineering and Radio Measurements.* 2024, pp. 176-181.
- [8] S. V. Sotnik, F. V. Курпота, "Modeling of potting greenhouse design," *Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій / Матеріали XXIV Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів.* 2024, pp. 483-484.
- [9] S. V. Sotnik, V. V. Trokhin, D. O. Tereshchuk, "Development of remote control for thermoplastics dosing automation system," *The 5th International scientific and practical conference "Topical aspects of modern scientific research" (January 25-27, 2024) CPN Publishing Group, Tokyo, Japan.* 2024, pp. 179-184.
- [10] S. V. Sotnik, Y. R. Vasylychenko, "Analysis of design process of automated fire protection system," *V Форум "Автоматизація, електроніка та робототехніка" (AERT-2023).* –2023, pp. 59-62.
- [11] B. Bonekeh, Bonekeh B. G. "The use of electronic code locks for the security of homes and properties," *Centria university of applied sciences information technology.* 2016, pp. 179-184.
- [12] M. Maritano, "Design of electro-mechanical height adjustment system for multi-link suspension," *Politecnico di Torino/* 2023, 90 p.
- [13] F. G. Moritz, "Electromechanical motion systems: Design and simulation," *John Wiley & Sons,* 2013, 299 p.
- [14] O. Oke Alice, et al., "Development of a programmable electronic digital code lock system," *International Journal of Computer and Information Technology.* 2013, pp. 127-131.
- [15] D. Mahoney, "The Best Electronic Keypad Door Lock," *Wirecutter.* 2024, pp. 127-131. pp. 1-3.

Intelligent tools for optimizing information and search engines

Artem Tverdokhlib, Svetlana Sotnik

Department CITAR, Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine,
Kharkiv, av. Nauki. 14., email: svetlana.sotnik@nure.ua

Abstract: The study highlights transformational impact of intelligent technologies on functioning of IPS. The focus is on integration of artificial intelligence, machine learning and natural language processing, which are revolutionizing the processes of understanding user queries and providing relevant results. The paper analyzes benefits of implementing these technologies, including improved search accuracy, personalized user experience, and system adaptability. Particular attention is paid to semantic search as advanced area of IRS development. The study is not limited to theoretical aspects, but provides specific examples of intelligent tools use in leading search engines. A critical analysis of challenges and limitations of these technologies provides balanced view of their potential. Visual elements of work contribute to better understanding of complex concepts. Overall, study emphasizes key role of intelligent tools in improving IRS and their potential impact on various sectors, from scientific research to everyday access to information.

Key words: intelligent tools, artificial intelligence, optimizing, information, information retrieval systems.

I. INTRODUCTION

In today's digital age, search for relevant and reliable data has become integral part of everyday life. Information retrieval systems (IRSs) play key role in providing access to information that is crucial for effective decision-making in scientific, commercial, and social spheres [1-3]. However, growth in data volume and complexity of search queries pose new challenges for ISAs, in particular, ensuring accuracy and relevance of search results. In this context, integration of intelligent tools (IT), such as artificial intelligence, machine learning, and natural language processing, is becoming prerequisite for optimizing IRS. introduction of intelligent tools into information retrieval systems is closely related to development of automation and robotics. Automation of information processing processes can significantly increase speed and efficiency of search, reducing human factor and minimizing likelihood of errors. Robotics, for its part, contributes to development of IRS by creating autonomous systems capable of performing complex search tasks in real time [4, 5]. integration of these technologies contributes to formation of new, more adaptive and flexible information retrieval systems that can not only respond to user requests but also anticipate their needs, offering most relevant results based on behavioral and contextual analysis [6-10].

Thus, in context of constant growth of data and complexity of search queries, relevance of this study becomes obvious. integration of intelligent tools, automation, and robotics opens up new horizons for improving accuracy, speed, and efficiency of information retrieval.

II. ROLE OF INTELLIGENT TOOLS IN IRS

In today's information environment, where data volumes are growing exponentially and user requests are becoming increasingly complex, role of IRS is becoming critical. Intelligent technologies not only allow processing huge amounts of data faster and with fewer errors, but also adapt to changing conditions, improving relevance and quality of search results. Table 1 below provides detailed overview of how each of these tools affects and contributes to functioning of IRS.

Table 1. Role of intelligent tools in information retrieval systems

Intelligent tool	Role in information retrieval systems
Artificial intelligence (AI)	Recognize patterns in large amounts of data.
	Improving accuracy of search results through intelligent algorithms.
	Adaptation to changing user requests and context.
Machine learning (ML)	Analyze and classify large amounts of data to improve search relevance.
	Recognize and predict user preferences and interests. Automatic improvement of search algorithms based on feedback.
Natural language processing (NLP)	Interpreting and understanding human queries in natural language.
	Identify named entities such as people, places, and organizations.
	Generating clear and relevant answers to user requests. Reducing human intervention in information processing and indexing.

III. SEARCH OPTIMIZATION USING INTELLIGENT TOOLS

Modern information and search engines use wide range of intelligent tools to provide efficient and relevant searches.

Intelligent algorithms for ranking search results are one of key elements of search engine optimization. They allow search engines to provide more accurate and relevant results, ensuring high level of user satisfaction. These algorithms are based on machine learning and deep

learning, which allow systems to analyze and process huge amounts of data.

Machine learning is used to analyze huge amount of data generated during search sessions. ML algorithms are able to learn from historical data, identifying patterns between user queries and selected results. The ML concept is shown in Fig. 1.

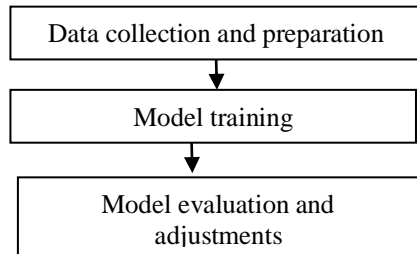


Fig. 1. Machine learning concept

The Data collection and preparation stage collects data on previous user requests, selected results, time spent on page, behavioral factors, etc. This data is used to create training sets on which algorithm will be trained.

At «Model Training» stage, using prepared data, machine learning model is trained by identifying relationships between query and result that users most often choose. The most popular models are those based on decision trees, random forests, and gradient boosting methods.

After initial training, model is tested on new data. If accuracy of predictions is unsatisfactory, model's hyperparameters are adjusted or another model is selected.

Deep learning and neural networks are subset of machine learning that uses multi-layer neural networks to process data. These networks are able to recognize complex patterns in data and use them to improve ranking of search results. Deep neural networks consist of numerous layers, each of which is responsible for extracting certain features from user queries.

Examples of ML application in information search engines:

- Google's RankBrain ML algorithms are used to rank search results, analyzing many factors (content relevance, link quality, user behavioral signals) to determine most relevant results for particular query. For example, if user searches for «apple», system can determine whether search is for fruit or technology company based on user's previous queries and context;

- automatic error correction and query suggestion – ML models analyze large number of correctly spelled queries to identify and correct common spelling mistakes;

- personalization of search results – ML algorithms analyze user's search history, for example, Amazon system, here, if user has repeatedly searched for books from certain genre, system will recommend similar books based on previous searches and purchasing activity;

- image recognition and classification – ML models, such as convolutional neural networks, are used to analyze and classify images in search engines. This allows users to search for visual content by description or similarity, not just by textual labels.

The concept of deep learning and neural networks in Fig. 2:

1. Understanding context of query. Deep neural networks, such as transformers (e.g., BERT, GPT), allow search engines to better understand context of user queries, including complex or ambiguous queries. This enables system to answer queries more accurately by recognizing user's true intentions.

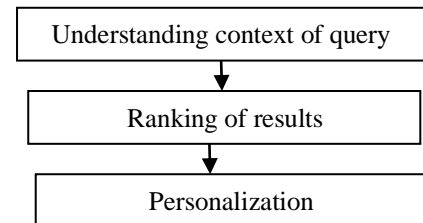


Fig. 2. Concept of deep learning and neural networks

2. Search engines use deep learning models to analyze and rank large number of documents or pages based on their relevance to specific query. These models take into account many factors, such as textual content, context, page popularity, and behavior of other users.

3. Neural networks allow you to adapt search results based on individual preferences and past user behavior. This provides more relevant results for particular person, which increases overall quality of search engine.

Examples of deep neural networks application:

- Google Search uses models such as BERT to improve understanding of natural language and query context;

- Bing uses neural networks to improve accuracy of search result rankings, especially in complex cases;

- Amazon uses deep learning to improve its «product» search by providing accurate recommendations.

The concept of natural language processing in information retrieval systems aims to improve interaction between users and systems by facilitating understanding and processing of textual queries and answers provided and is summarized in Fig. 3:

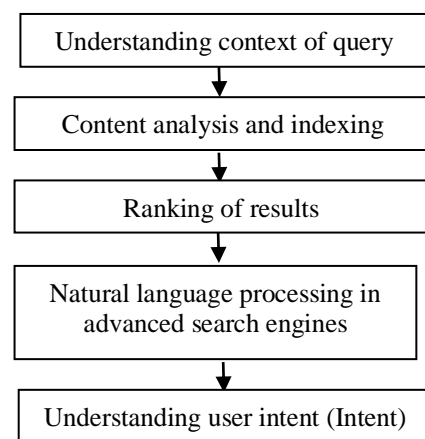


Fig. 3. Concept of NLP

1. Query understanding becomes more efficient thanks to NLP, which allows systems to better interpret natural language queries, taking into account context, synonyms, morphological features, and grammatical structures. This significantly improves accuracy of search results, even if query is ambiguous or contains errors.

2. Content analysis and indexing in IRS is also enhanced by NLP, which allows for efficient analysis and categorization of large amounts of textual information, creating more relevant indexes. This includes keyword discovery, thematic analysis, and entity recognition, such as names, dates, places, etc.

3. Ranking of results becomes more accurate through use of NLP, which analyzes semantics of query and documents. This allows IRS to take into account not only keywords, but also more complex concepts such as similarity between query and content, tone, etc.

4. Natural language processing in advanced search queries also benefits from use of NLP, which allows you to correctly interpret complex queries that may contain logical operators, phrase queries, or queries in languages with different grammatical structures, and find relevant results.

5. Understanding user intent is made easier with NLP, which helps system determine exactly what user wants to find, even if their query is imprecisely worded or has several possible meanings. This enables IRS to provide more accurate answers or offer clarifying queries.

Example of NLP application in information search engines – Google Search uses NLP to improve search results. For example, when user enters query «best places to visit in Ukraine in winter», system uses NLP to understand intent of query and context. Even if specific web pages don't contain exact words «best», «place» or «in winter», Google can show pages that contain useful information about winter tourist destinations in Ukraine by semantic analysis and understanding context of query. This allows user to get more relevant and accurate results.

IV. INTELLIGENT TOOLS FOR SEMANTIC SEARCH

Semantic search is one of most innovative technologies in field of IRS, which radically changes approach to processing and interpreting search queries. Unlike traditional methods that rely on simple keyword matching, semantic search uses IT to gain deeper understanding of user's context and intentions.

Semantic search is based on principles of NLP and machine learning, which allow it to

- understand meaning of words in context because IT analyzes not only individual words but also their interrelationship in sentence or phrase;
- interpret user intentions because system tries to understand what exactly user wants to find, even if query is ambiguously worded;
- take into account semantic relationships between concepts, as IT can find information that is semantically related to query, even if it does not contain exact keywords.

Challenges and limitations of semantic search in Fig. 4, a, b.

Challenges of semantic search:

1. Challenges of semantic search include proper understanding of queries context. Words can have different meanings depending on situation in which they are used, and semantic search must effectively take these

nuances into account, which is not always easy, especially when words are polysemous.

2. Language barriers also create difficulties. Even if system supports multiple languages, different language structures and cultural characteristics can cause errors in understanding queries or interpreting results.

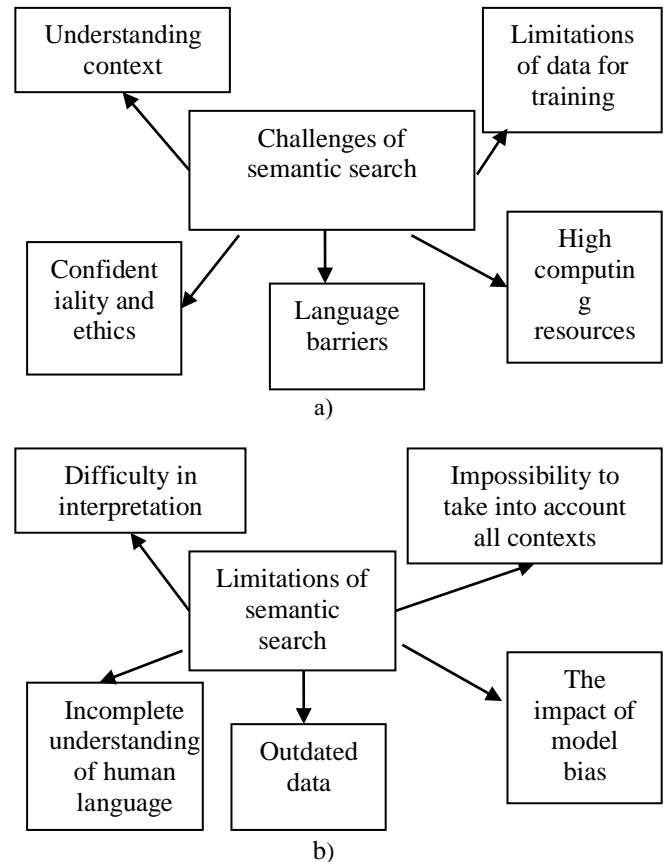


Fig. 4. Concept of deep learning and neural networks: a) challenges of semantic search; b) limitations of semantic search

3. Limiting training data is another challenge, as semantic models require large amount of data to train. The quality of this data is crucial, and if it is incomplete or biased, it can lead to incorrect search results.

4. Another limitation is need for high computing resources. Using NLP for semantic search requires significant resources, especially when it comes to real-time processing, which can be problem for large systems with high query frequency.

5. Privacy and ethical issues are also important challenge. To improve search, systems often collect and analyze data about users, which raises concerns about how this data is protected and used.

Limitations of semantic search:

1. Difficulty in interpreting ambiguous queries because queries that have several possible interpretations can be difficult for semantic search engines. For example, query «family movies» can mean both searching for family movies and searching for movies about families.

2. Inability to take into account all contexts because even most advanced semantic search engines cannot always take into account all possible query contexts, especially if user does not provide enough information or query is formulated too generally.

3. Semantic search often relies on indexed data. If this data is outdated or not updated in real time, it can lead to less accurate or irrelevant results.

4. Semantic models can be biased due to nature of data they are trained on. This can lead to irrelevant or unfair search results, especially for socially sensitive topics.

5. Despite progress in NLP, computer systems still cannot fully understand human language at level similar to that of humans. This limits effectiveness of semantic search in some cases.

Semantic search in context of intelligent tools for optimizing information retrieval systems is important because this approach significantly improves accuracy of results. Semantic search allows IRS to understand meaning of query at deeper level, taking into account context, user intent, and relationship between concepts. This not only increases relevance of results, but also provides more intuitive and efficient user experience, which is key for modern IRSs focused on providing quality and personalized information. Thus, semantic search is critical tool in evolution of IRS, contributing to their optimization and meeting needs of users.

V. CONCLUSIONS

Intelligent ranking algorithms based on machine and deep learning techniques are significantly improving functioning of IRS, making them better able to understand user queries and intentions. With introduction of these technologies, IRSs can provide more relevant, accurate, and useful search results. Important aspect of this process is use of neural networks and natural language processing models, which allow systems to efficiently process complex queries, take into account context, and personalize responses. This ensures more intuitive user experience and allows IRS to adapt to their ever-changing needs. Thus, introduction of intelligent tools not only optimizes search engines, but also improves overall quality of information provision, making it more accessible and useful to users in modern information environment.

This summary outlines key findings, implications, challenges, and overall conclusion regarding use of intelligent tools for optimizing information retrieval systems. The research highlights significant improvements these tools bring to search accuracy, efficiency, and user experience, while also acknowledging the challenges and limitations that need to be addressed.

The integration of AI, ML, and NLP into IRS represents major advancement in how we interact with and retrieve information from vast data repositories. These technologies enable more intuitive, context-aware, and personalized search experiences, which is crucial in our increasingly data-driven world.

The development and implementation of these intelligent tools will continue to be key area of focus for improving information retrieval systems, with potential far-reaching impacts on various sectors including research, business, and everyday information access for users worldwide. The work discusses different types of intelligent tools (AI, ML, NLP) and their specific roles in optimizing IRS. It provides concrete examples of how

these technologies are applied in real search engines such as Google, Bing, and Amazon.

Considerable attention is paid to semantic search as advanced technology in field of IRS.

The article not only describes advantages of these technologies, but also critically analyzes challenges and limitations faced by developers and users.

LIST OF REFERENCES

- [1] V. Kaponkin, et al., "The role of big data in improving functionality of search engines," *The 8th International scientific and practical conference "European congress of scientific achievements" (August 12-14, 2024) Barca Academy Publishing, Barcelona, Spain. 2024*, pp. 69-76.
- [2] I. S. Nevludov, et al., "Cloud giants: AWS, Azure and GCP," *2023 2nd International Conference on Innovative Solutions in Software Engineering Ivano-Frankivsk, Ukraine, November 29-30. 2023*, pp. 18-23.
- [3] S. Sotnik, I. Borysenko, "Chat GPT features in data search," *9th International scientific and practical conference "Scientific progress: innovations, achievements and prospects" (May 29-31, 2023) MDPC Publishing, Munich, Germany. 2023*, pp. 139-144.
- [4] I. Sh. Nevludov, et al., *Tekhnolohii informatsiino-poshukovykh system. – Kyiv-58, prosp. 76 Kosmonavta Komarova, 1, 2022. – 349 p.*
- [5] Z. Deineko, et al., "Features of Database Types," *International Journal of Engineering and Information Systems (IJEAIS). 2021, vol. 5(10), pp. 73-80.*
- [6] S. Sotnik, "[Development of automated control system for continuous casting](#)," *Radio Electronics, Computer Science, Control. 2024, issue 2, pp. 181-189.*
- [7] A. Y. Hubar, et al., "Impact of automation and calcs technologies on human factor in production," *The 8th International scientific and practical conference "European congress of scientific achievements" (August 12-14, 2024) Barca Academy Publishing, Barcelona, Spain. 2024*, pp. 243-249.
- [8] I. С. Зарубін, С. В. Сотник, "Ефективність використання роботизованих систем у виробництв," *Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки 2024: матеріали І-ої Всеукраїнської конференції, Харків, 16-17 травня 2024 (CITAR-2024). 2024*, pp. 150-153.
- [9] Я. І. Халімонов, и др., "Створення інтелектуального модулю для автоматизованого моніторингу середовища у приватних та комерційних приміщеннях з використанням комп'ютерно-інтегрованих технологій," *International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics and Telecommunications dedicated to the 85th anniversary of the Department of Theoretical Radio Engineering and Radio Measurements. 2024*, pp. 176-181.
- [10] S. Sotnik, et al., "Optimization of work: in-depth look at Kanban, Scrum and Lean," *Journal of Natural Sciences and Technologies. 2024, T. 3, №. 1, pp. 290-301.*

Basic principles of building aerial robots

Igor Zarubin, Svetlana Sotnik

Department CITAR, Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine,
Kharkiv, av. Nauki. 14., email: svetlana.sotnik@nure.ua

Anotation: The study covers key principles of building aerial robots, including those related to construction, aerodynamics, navigation and data acquisition systems. The focus is on integration of modern technologies, such as sensors, GPS modules, and specialized software, which ensure efficient task performance in challenging environments. The paper analyzes benefits of implementing intelligent control systems, including algorithms for automatic route planning, flight correction, and obstacle detection. Particular attention is paid to the aerodynamic design of the body and choice of materials that ensure lightness, durability, and resistance to external factors such as wind, rain, and high temperatures. The study offers practical examples of implementation of design principles on example of modern agricultural aerial robots used for monitoring and data collection. A critical analysis of design and operational challenges provides deep understanding of potential of these technologies. Visual elements of work contribute to better understanding of complex technical solutions.

Key words: aerial work, design, aerodynamics, navigation, sensors, data collection.

I. INTRODUCTION

In today's world, aerial robots (drones) have become indispensable tools for performing wide range of tasks, from environmental monitoring to data collection for agriculture. The fundamental principles of their construction determine their effectiveness and reliability in executing tasks, particularly in complex and often unpredictable conditions. Developing aerial robots requires comprehensive approach that includes both engineering solutions and the integration of advanced technologies [1-7].

The design of aerial robot is crucial for ensuring its stability and maneuverability. Key aspects include selection of materials for chassis, which must provide necessary strength and lightness, as well as aerodynamic shape, which affects flight efficiency. Navigation and control systems, including sensors and management algorithms, play a vital role in ensuring accuracy and autonomy. The integration of advanced technologies, such as GPS modules, LIDAR, and various sensors, ensures high precision in data collection and adaptability to changing conditions.

This work explores fundamental principles of aerial robot construction, including their design, material selection, aerodynamic characteristics, and modern navigation and data collection systems. Practical examples of these principles in contemporary models used for various tasks, such as agronomic monitoring and mapping, are examined. This research provides better understanding of how technical and technological aspects impact the effectiveness and reliability of aerial robots, as well as the challenges faced by developers in this rapidly evolving field.

Automation is an ever-present topic in development of aerial robots, as it provides increased task efficiency and

adaptability to changing conditions. Thanks to automated control and data collection systems, drones can perform complex tasks with minimal human intervention, making them indispensable in many areas of activity [8, 9].

II. THE ROLE OF BASIC COMPONENTS AND TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION OF AERIAL ROBOTS

In modern design of aerial robots, role of various components and technologies is critical to ensure efficiency, reliability, and functionality of devices. Different design elements and technological solutions not only determine technical characteristics of robots, but also affect their ability to perform complex tasks in real world. The table below provides detailed overview of key components and technologies that play important role in design and operation of aerial robots.

Table 1. The role of main components and technologies in construction of aerial works

Component/Technology	Role in construction of aerial robots
Body and frame	Ensuring strong and lightweight design for optimized aerodynamics.
	Use of modern materials to reduce weight and increase durability.
Management systems	Flight control and stabilization using GPS and inertial measurement units (IMU).
	Intelligent algorithms for autonomous control and navigation.
Engines and propellers	Impact on maneuverability and flight efficiency. Selection of engine and propeller types.
	Aerodynamic characteristics for optimal lifting power.
Energy systems	Selection of power sources to ensure long flight time.
	Optimize energy efficiency and reduce battery weight.
Sensors and cameras	Expanding data collection and environmental monitoring capabilities.
	Integration of sensors to collect information and improve autonomy functions.

III. THE PROCESS OF DESIGNING AERIAL ROBOTS USING MODERN TECHNOLOGIES

The design process for aerial robots is complex and multi-stage, involving numerous steps and technologies to maximize efficiency and reliability. Modern technologies, such as computer-aided design, simulation, data-driven optimization, and intelligent systems integration, play critical role in each stage of design process. The concept of design process is shown in Fig. 1.

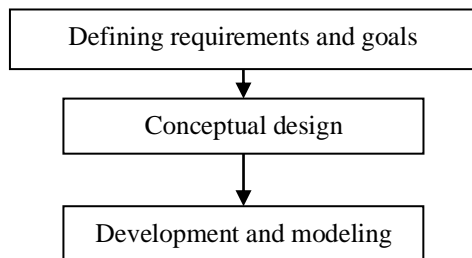


Fig. 1. Design process concept

At «Define Requirements and Objectives» stage, main functions to be performed by aerial robot (e.g., surveillance, data collection, monitoring) are established.

The target characteristics can be presented in form of defining technical parameters, such as maximum flight altitude, duration of operation, maximum payload. Assessment of operating conditions should be made, namely:

1. Environment analysis. Evaluation of environment in which robot will be used (e.g., urban environments, agricultural lands).

2. Protection requirements Determination of protection requirements against weather, dust, and other factors.

The «Conceptual Design» phase should consider development of concepts, ideas, technologies and materials. Decisions need to be made to determine type of structure (quadcopter, hexacopter, flying drone) according to objectives, and basic aerodynamic characteristics need to be developed to optimize lift and stability. Responsible consideration should be given to selection of lightweight and strong materials, such as carbon fiber or composites, to increase strength and reduce weight, and to consider opportunities to integrate latest technologies, such as brushless motors and high-performance sensors.

3. The final stage of design process is called development and modeling, during which CAD system is used to create 3D models, i.e. to develop detailed models of structure using computer simulation for accurate planning of all elements, analysis and verification (checking model for compliance with technical requirements and operating conditions). After these steps have been completed, we move on to design optimization.

The process of design optimization based on testing Fig. 2.

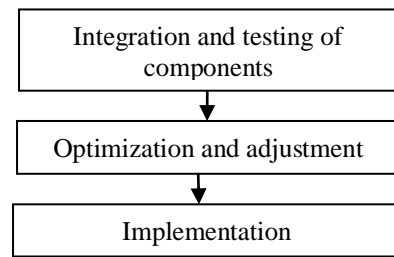


Fig. 2. Design optimization process based on testing

1. Integration and testing of components. The choice of sensors for navigation, such as GPS, barometers, or LiDAR, helps robot better understand its location and environment, just as transformers help systems recognize context of query. Video surveillance cameras can be selected with high resolution and night vision capabilities to ensure accurate data collection, and installing motors, sensors, and cameras according to designed model ensures that robot will have all necessary functions and capabilities. This includes correct placement of components to ensure optimal stability and flight efficiency. Testing involves ground and flight tests to verify operation of control systems, integration of components and their interaction, and to identify any problems before conducting flight tests. Flight tests, in turn, evaluate flight efficiency, stability, and accuracy of robot's control in air. This helps to identify and correct any problems that may arise in real-world use.

2. Optimization and control is broken down into several steps, such as: collecting data on robot's performance, including flight time, sensor performance, and stability, is critical for further analysis and adjusting system design performance assessment based on information obtained. If necessary, design and component changes are made based on results of analysis and testing to improve overall performance and reliability of aerial robot. Machine learning models can help adapt the system to different flight conditions and improve overall performance of robot.

3. The implementation stage also includes several points, namely:

- final testing. Conformance checks and final tests to confirm that robot meets all technical requirements and can operate in real-world environments. Final testing includes checking all systems and components and ensuring that quality standards are met before going into mass production;

- preparation for production. Includes setting up production processes, ensuring required quality standards and preparing production facilities.

- implementation. Launching aerial robot in real-world conditions to test its functionality and reliability in actual use, supervising the robot's operation and ensuring its efficient operation, identifying and eliminating any problems that may arise during use;

- user training. Conducting training for operators and technicians on use of aerial robot, its setup and maintenance, providing support to users to resolve any issues or problems that may arise during operation.

This approach provides clear picture of designing and implementing aerial robots process, with emphasis on

importance of each stage and its role in ensuring robot's efficiency and reliability.

IV. TECHNOLOGY AND INNOVATION

In today's world, where technology is evolving at incredible pace, innovations in development and use of aerial robots are becoming critical to improving their efficiency and functionality. Continuous progress in aerospace technology, computing, and materials science opens up new opportunities for improving aerial robots, which significantly expands their capabilities and reduces limitations they face.

This section is dedicated to analyzing advanced technologies and innovations that affect design, manufacture, and operation of aerial robots. We will review latest advances in areas such as sensor technology, control systems, data processing algorithms, materials and structures, as well as latest approaches to automation and artificial intelligence. Special attention will be paid to how these innovations contribute to accuracy, reliability, and efficiency of aerial robots, as well as benefits they provide in practical applications such as environmental monitoring, agronomic research, and more.

The purpose of this section is to present current technologies underlying development of new models of aerial robots and to assess their impact on future trends and opportunities in this dynamic and promising industry. The presentation of latest technologies and innovations can be seen in Table 2.

Table 2. Technologies and innovations in aerial robot development

Section	Subject	Description
1. Technologies and innovations	Sensor technologies	Modern sensor technologies used to ensure accurate navigation, environmental monitoring, and task completion.
The development of sensory systems	High-resolution cameras	Innovative cameras provide detailed images and video, including thermal imagers and variable focus cameras.
LiDAR and its application	Laser systems for distance detection	LiDAR systems create 3D maps of terrain using laser pulses. The latest technologies ensure high accuracy and speed of data collection.
Integration of sensor data	Processing data from different sensors	Integration of data from cameras, LiDAR, and other sensors to obtain comprehensive information.

Continued Table 2

2. Control and automation systems	Development of management systems	Control systems include powerful processors and specialized software for data processing and robot control.
Autonomous systems	Autonomous route planning and obstacle avoidance	Innovative AI algorithms allow robots to make decisions and perform tasks without human intervention.
Extended use of AI	Intelligent algorithms for object recognition	AI algorithms are used for object recognition, route planning, and flight control.
Programmable systems	Specialized platforms for software development	Programmable systems allow you to customize robot's operating parameters and use specialized programming languages.
3. Materials and structures	Newest materials	Using composites and nanomaterials to create lightweight and durable structures.
3D printing and its application	3D printing technologies for manufacturing parts	3D printing allows you to quickly produce parts and components, reducing costs and providing flexibility in design.
Aerodynamic structures	Modeling of aerodynamic characteristics	Use of simulations to optimize wing and body shapes to ensure flight efficiency.
Innovations in power supply systems	Increased battery capacity and charging speed	Developing new types of batteries and power sources, such as solid-state batteries and supercapacitors, to improve energy efficiency.
4. Automation and data processing	Process automation	Reduce need for manual intervention by automating flight planning and data collection.
Big data processing [10]	Storage and analysis of data from various sources	Using cloud platforms and specialized programs to process and store large amounts of data.

Continued Table 2

Real processing time and speed	Real-time data processing	Powerful computing systems for processing sensor information and real-time navigation control.
Real processing time and speed	Real-time data processing	Powerful computing systems for processing sensor information and real-time navigation control.
Real processing time and speed	Real-time data processing	Powerful computing systems for processing sensor information and real-time navigation control.
Intelligent algorithms	Machine learning and deep learning	Use of intelligent algorithms to improve data processing and automate processes.
5 Latest approaches and trends	Integration with IoT	Connecting aerial robots with the Internet of Things (IoT) for distributed monitoring and control.
Use of blockchain technologies	Data security and transparency	Blockchain to ensure security and protection of data collected by aerial robots from fraud and unauthorized access.
Development of new form factors	Hybrid systems and new designs	Development of new form factors for aerial robots, including hybrid systems and compact designs.
Improving energy efficiency	The impact of technology on development	Innovations and latest technologies contribute to expansion of their capabilities and areas of application.

Together, these technologies and innovations open up new opportunities for development of aerial robots, making them more functional, reliable and efficient in various applications. The development of these areas ensures continuous improvement of the quality of robots and expansion of their capabilities.

V. CONCLUSIONS

The development of aerial robots has undergone significant advances due to introduction of advanced technologies and innovations. Modern sensor systems, such as high-resolution cameras and LiDAR, have significantly increased accuracy of data collection and detail of information about environment. This allows us

to create accurate 3D maps of area and provides reliable navigation and real-time monitoring. Important component is development of control systems, where intelligent algorithms and autonomous systems provide high level of automation. Independent route planning and automated control reduce need for manual intervention and increase flight efficiency.

Materials and designs of aerial robots have also undergone significant improvements. The latest composites and 3D printing technologies contribute to lightweight and durable structures that optimize performance and stability during flight. Innovations in data processing and process automation enable rapid analysis and adaptation to changing conditions, and use of machine learning allows for continuous improvement of algorithms and robot performance based on data obtained.

Recent trends include integration with Internet of Things (IoT) and use of blockchain technologies to improve data security, which opens up new opportunities for expanding robot functionality. The development of new form factors and improvements in energy efficiency through new batteries and energy recovery systems also contribute to durability and reliability of aerial robots.

Thus, modern technologies and innovations not only improve functionality and efficiency of aerial robots, but also ensure that they can adapt to new challenges and requirements in various applications. The development of these technologies ensures that aerial robots will continue to improve and be introduced into new practical areas in future.

LIST OF REFERENCES

- [1] I. С. Зарубін, “Огляд сучасних повітряних роботів,” *Автоматизація та Приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2024) [Електронний ресурс]: збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки*. 2024, pp. 144-149.
- [2] S. V. Sotnik, I. S. Zarubin, “Modeling design of mobile robotic platform,” *Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій / Матеріали XXIV Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів*. 2024, pp. 481-482.
- [3] I. С. Зарубін, та інш., “Ефективність використання роботизованих систем у виробництві,” *Computer-integrated technologies, automation and robotics CITAR-2024*. 2024, pp. 150-153.
- [4] S. V. Sotnik, “Safe cobots in development of industrial robotics,” *European scientific congress. Proceedings of the 8th International scientific and practical conference. Barca Academy Publishing*. 2023, pp. 80-84.
- [5] Y. M. Al-Sharo, et al., “Generalized Procedure for Determining the Collision-Free Trajectory for a Robotic Arm,” *Tikrit Journal of Engineering Sciences*. 2023, 30 (2), pp. 142-151.
- [6] AJA Tahseen, et al., “Access Control to Robotic Systems Based on Biometric: The Generalized Model and its Practical Implementation,” *International*

- Journal of Intelligent Engineering & Systems*. 2023, pp. 313-328.
- [7] V. Lyashenko, et al., "Modern walking robots: a brief overview," *International Journal of Recent Technology and Applied Science*. 2021, vol 3, no. 2, pp. 32-39.
- [8] S. V. Sotnik, et al., "Modeling of potting greenhouse design," Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій / Матеріали XXIV Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів. 2024, pp. 483-484.
- [9] A. Y. Hubar, et al., "Impact of automation and calcs technologies on human factor in production," *The 5th International scientific and practical conference "Perspectives of contemporary science: theory and practice" (June 24-26, 2024) SPC "Sci-conf.com.ua"*, 2024, pp. 243-249.
- [10] V. G. Kaponkin, et al., "The role of big data in improving functionality of search engines," *The 8th International scientific and practical conference "European congress of scientific achievements" (August 12-14, 2024) Barca Academy Publishing, Barcelona, Spain*. 2024, pp. 69-76.

Critical review of GSM network structure

Pavlo Sukhno, Svetlana Sotnik

Department CITAR, Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine,
Kharkiv, av. Nauki. 14., email: svetlana.sotnik@nure.ua

Anotation: In world where technology is changing at speed of light, GSM remains unchanging foundation of mobile communications. The study dives into heart of system, revealing its "anatomy and physiology". Each component of GSM, from Mobile Station to Operation Support System, is studied in detail, showing how coordinated work of all parts allows billions of people to communicate over distance. This work not only reveals mechanisms of GSM, but also looks boldly into future. It outlines problems that this technology faces in whirlwind of modern innovation and proposes solutions for its adaptation. The study lifts veil on challenges facing GSM in world of 5G and IoT and inspires us to find ways to harmoniously coexist past and future in telecommunications. This review is compass for those who want to understand how to keep legacy systems relevant in world that is constantly moving forward. The paper suggests that we think about how we can modernize time-tested technology without losing its reliability and versatility.

Key words: GSM, network architecture, advantages, limitations, challenges, modernization.

I. INTRODUCTION

The Global System for Mobile Communications (GSM) remains one of most widely used cellular technologies in world [1-4]. Despite rapid development of newer standards, such as 4G and 5G, GSM networks continue to play critical role in providing basic communications, especially in regions where introduction of newer technologies is not yet complete. At same time, automation, robotization, and digitalization are rapidly evolving [5-14]. This development naturally affects evolution of GSM technologies, improving network management, increasing its efficiency and reliability. These innovations allow for more accurate monitoring and maintenance of network, as well as reducing human factor in operation process.

The relevance of GSM network structure critical review is driven by several factors:

- GSM still covers significant portion of world's population, especially in developing countries;
- time-tested GSM architecture provides stable communication in variety of environments;
- understanding GSM structure is important for development of hybrid systems that combine GSM with newer standards;
- GSM remains cost-effective solution for many operators and users;
- GSM continues to play important role in Internet of Things development and machine-to-machine communication.

The purpose of this paper is to conduct detailed analysis of key components of GSM network, and to do so, we need to:

- assess how GSM structure meets current requirements of telecommunications industry;

- consider problems of GSM compatibility with latest technologies.

II. GENERAL ARCHITECTURE OF GSM NETWORK

GSM is one of the most widely used standards for mobile communications, which provides voice and data transmission in mobile networks [1-4]. The GSM architecture consists of several main components and is based on clearly defined principles of operation that ensure its efficiency and reliability. Therefore, this paper discusses main components (Table 1) and principles of operation.

Table 1. Main components of GSM

GSM components	Composition
Mobile Station (MS)	It is end device that subscribers use to make calls and transfer data. The MS includes cell phone or other mobile device, as well as SIM card that stores subscriber information and provides access to network.
Base Station Subsystem (BSS)	This is component responsible for direct connection to mobile devices. The BSS includes Base Transceiver Stations (BTS), which provide radio communication, and Base Station Controllers (BSC), which manage radio channel resources and transmit information between BTS and networks.
Network Switching Subsystem (NSS)	For routing calls and data in GSM network. It includes Mobile Switching Center (MSC), which processes calls, messages, and manages mobile stations. The NSS also contains Home Location Register (HLR) and Visitor Location Register (VLR) that store information about subscribers and their locations.
Operation Support System (OSS)	It is support system that is responsible for monitoring, managing, and maintaining entire network. OSS provides resource management, error handling, and technical support to ensure smooth operation of network.

The diagram of main components of GSM network is shown in Figure 1.

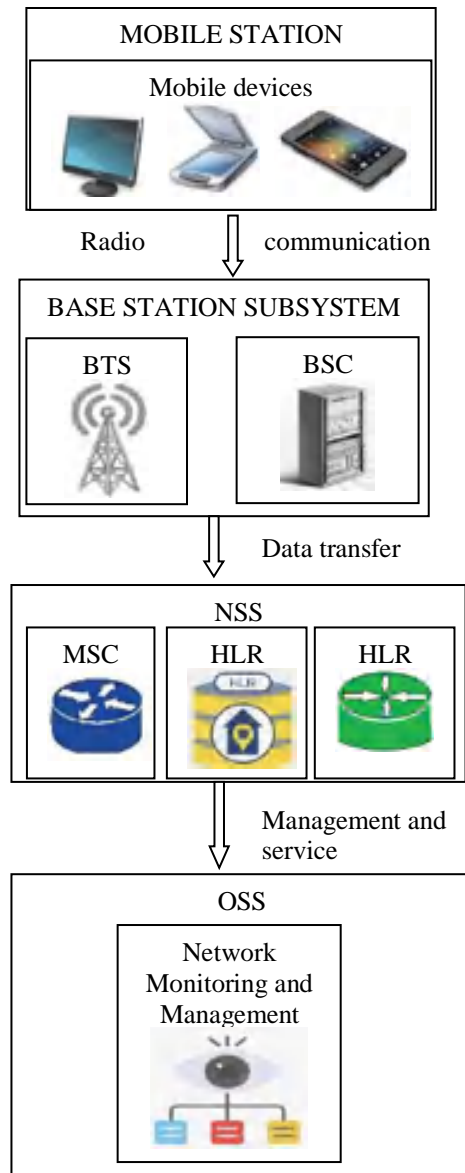


Fig. 1. Diagram of main components of GSM network

The principles of operation are as follows:

1. Resource allocation. GSM uses frequency division multiplexing technology to distribute radio frequencies among several subscribers. Each channel is time division multiple access (TDMA), which allows multiple subscribers to use same frequency without interference.

2. Network segmentation. GSM architecture distributes control and data transmission functions among different network components. This ensures modularity and scalability of system, which makes it easy to integrate new components and functions.

3. Authentication and security. GSM implements mechanisms for subscriber authentication and data encryption to protect against unauthorized access and ensure confidentiality.

4. Roaming. GSM network supports roaming, which allows subscribers to use their mobile devices in other GSM networks around world without having to change their SIM card.

Critical review of structural aspects of GSM network provides comprehensive analysis of this fundamental mobile communications technology. It provides in-depth

understanding of GSM architecture and operating principles, identifying both its strengths and limitations in context of today's requirements.

III. CRITICAL REVIEW OF GSM NETWORK STRUCTURAL ASPECTS

Despite its long existence and advanced architecture, GSM has both advantages and limitations that affect its efficiency and ability to adapt to modern requirements.

The advantages of GSM architecture are shown in Table 2.

Table 2. Advantages of GSM

Advantages	Description
Reliability and stability	The system was designed to provide high level of availability and uninterrupted communication, making it highly resistant to failures and technical problems.
Wide coverage and accessibility	GSM has huge coverage around world, providing access to mobile communications even in remote and rural areas. This is made possible by extensive network of base stations and roaming support.
Distribution of functions and modularity	GSM architecture distributes control and data transmission functions among different components (MS, BSS, NSS), which ensures scalability and flexibility of system. This facilitates integration of new components and technologies.
Support for roaming	GSM ensures uninterrupted operation of subscribers in different networks thanks to roaming support. This allows users to use their mobile devices outside their home network without having to change their SIM card.
Authentication and security	The system implements mechanisms for subscriber authentication and data encryption, which ensures high level of security and protection against unauthorized access.

Although GSM architecture has numerous advantages that ensure reliable and stable mobile communications, it is not flawless. The system has certain limitations that can affect its efficiency and ability to meet modern user requirements. The following section will discuss main limitations of GSM architecture to help understand which aspects need to be improved and enhanced.

One of the main limitations of GSM is limited data transfer speed, which does not meet requirements of modern users who need high-speed Internet and large amounts of data. GSM provides only basic data transmission speeds, which limits ability to use modern applications and services.

As example, GSM provides low data rates (up to 9,6 kbps for standard channel), making it difficult or even impossible to watch high quality video without delays and buffering. This limits possibilities for video

streaming services such as YouTube or Netflix, which require faster internet connection.

Another limitation is inability to adapt to latest standards. While GSM is effective in providing basic mobile communications, it has limited ability to integrate with new technologies such as 4G and 5G. This creates difficulties in transitioning to new standards and implementing modern features.

Other limitations include fact that GSM networks tend to consume more energy than latest communication technologies, which can lead to high energy costs and affect environmental friendliness of system.

The GSM architecture may have compatibility issues with new technical solutions and devices using other communication standards. This can create additional costs for modernization and integration.

The cost of supporting and maintaining GSM network can be significant, especially when it comes to upgrading equipment and integrating with new technologies.

Therefore, an analysis of advantages and limitations of GSM architecture allows us to understand which aspects of this technology remain strong and which challenges need to be addressed in context of mobile communications rapid development.

IV. PROBLEMS OF COMPATIBILITY WITH LATEST TECHNOLOGIES

The GSM architecture, despite its widespread adoption and reliability, faces compatibility issues with latest mobile technologies. The development of new standards, such as 3G, 4G (LTE) and 5G, creates challenges for integration and adaptation of GSM in modern networks (Fig. 2).

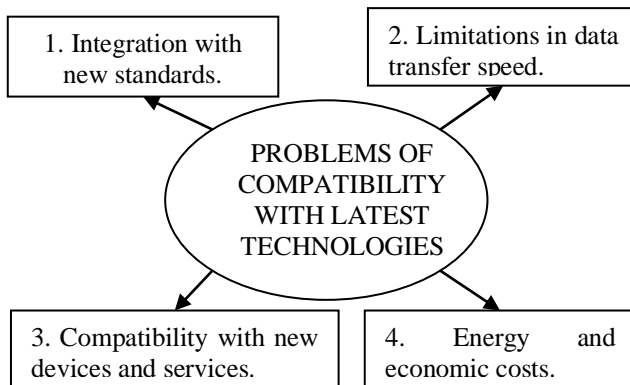


Fig. 2. Diagram of existing problems of GSM compatibility with latest technologies

1. GSM was developed in era when need for mobile communications was lower. Newer standards such as 3G, 4G and 5G offer significantly higher data rates and new functionalities such as support for high-speed Internet and modern mobile applications. Integrating GSM with these new technologies requires sophisticated solutions to ensure interoperability between different standards.

To address GSM compatibility with new standards such as 3G, 4G and 5G, comprehensive approach is needed, including modernization of existing infrastructure, integration of new components and protocols, and software interoperability. This may involve installing specialized gateways and controllers

that allow different standards to interoperate, upgrading base stations and network elements to support new frequency bands and data rates, and implementing new technologies such as network virtualization and software-defined networking (SDN) to facilitate integration and management of multi-standard environments.

Comparative analysis with other technologies. Detailed comparison of GSM with 3G, 4G and 5G in Table 3.

Table 3. Comparison of GSM with 3G, 4G and 5G

Characteristics	GSM (2G)	3G	4G	5G
Data transfer rate	Up to 384 Kbps	Up to 42 Mbps	Up to 1 Gbps	Up to 20 Gbps
Delay	300-1000 ms	100-500 ms	20-30 ms	< 1 ms
Frequency range	900/1800 MHz	850/900/1900/2100 MHz	700/1700/2500 MHz	600 MHz – 71 GHz
Basic technology	TDMA / FDMA	CDMA	OFDMA	OFDM A/ MIMO
Channel width	200 kHz	5 MHz	20 MHz	Up to 100 MHz
Main application	Voice communication, SMS	Internet, video calls	High-speed internet	IoT, AR/VR, autonomous vehicles
Network capacity	Low	Medium	High	Ultra-high
Energy efficiency	Low	Medium	High	Ultra-high
Security	Basic	Improved	Advanced	Reinforced
IoT support	Limited	Basic	Extended	Full-scale

A comparative analysis of GSM, 3G, 4G and 5G technologies illustrates evolution of mobile communications, reflecting significant advances in data rates, latency reduction and functionality. From basic voice communications in GSM to support for sophisticated applications like IoT and AR/VR in 5G, each generation has significantly expanded capabilities of mobile networks. Technological advances in data transmission methods, expanded frequency bands, and increased energy efficiency have been accompanied by enhanced security measures and increased network capacity. This comparison not only illustrates current state of mobile technologies, but also helps to understand GSM compatibility issues with modern requirements, substantiates need for network modernization and allows forecasting future trends in telecommunications development.

2. GSM provides slow data rates compared to newer technologies such as 4G and 5G. This can lead to

problems when trying to integrate GSM with networks that support high-speed Internet.

To address slow data rates of GSM when integrating with 4G and 5G networks, hybrid solutions such as upgrading equipment to 4G/5G standards, using gateways for interoperability, and implementing channel aggregation technologies to increase speeds are needed.

3. The latest mobile devices designed to work with 4G and 5G may have compatibility issues with GSM networks, especially if these devices use new technologies that are not supported by older networks.

To solve problem of latest devices compatibility with GSM, it is necessary to provide backward compatibility through adapters or modems that support older standards, or to integrate multi-standard modules that can work with different technologies.

4. Increasing demands on data transfer speeds and volumes can increase energy costs, which can be problematic for older networks that were not designed to meet modern requirements.

To address problem of increasing energy costs, energy-efficient technologies should be implemented, equipment should be modernized to reduce energy consumption, and network infrastructure should be optimized to reduce load.

V. CONCLUSIONS

Therefore, paper is devoted to GSM network structure critical review in context of current technological challenges. This study presents main components of GSM: Mobile Station, Base Station Subsystem, Network Switching Subsystem, Operation Support System. The principles of GSM functioning are described, including resource allocation, network segmentation, authentication and security, roaming. The advantages of using GSM are determined. The limitations of GSM application are identified. The problems of compatibility with latest technologies are analyzed. Some solutions to overcome compatibility problems are proposed. The presented work helps to understand current state of GSM technology and identifies challenges faced by GSM in modern telecommunications environment. Thus, this review outlines directions for further development and adaptation of GSM to new technologies. A comparative analysis of GSM, 3G, 4G and 5G technologies has been carried out. Such analysis is important for telecom operators, technology developers, providing basis for making decisions on infrastructure development, investments and research directions in the field of mobile communications. Overall, paper provides comprehensive analysis of GSM technology, highlighting its strengths and limitations in context of modern telecommunications needs. This study is important for understanding ways to modernize and integrate GSM with latest mobile technologies.

LIST OF REFERENCES

- [1] M.A. Al. Rakibet, et al., "GSM based home safety and security system," *European Journal of Engineering and Technology Research*. 2021, 6 (6), pp. 69-73.
- [2] M.A. Al. Rakibet, et al., "GSM based home safety and security system," *European Journal of Engineering and Technology Research*. 2021, 6 (6), pp. 69-73.
- [3] U. J. Ekah, et al., "A comparative assessment of GSM and UMTS Networks," *World Journal of Advanced Research and Reviews*. 2022, 13(1), pp. 187-196.
- [4] W. A. Awan, et al. "A frequency-reconfigurable filter for GSM, 4G-LTE, ISM, and 5G Sub-6 GHz band applications," *Sensors*. 2022, 22 (15), pp. 5558.
- [5] І. С. Зарубін, С. В. Сотник, "Ефективність використання роботизованих систем у виробництві," *Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки 2024: матеріали І-ої Всеукраїнської конференції, Харків, 16-17 травня 2024 (СІТАР-2024)*. 2024, pp. 150-153.
- [6] S. V. Sotnik, "Development of automated control system for continuous casting," *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2024, № 2(69), pp. 181-189.
- [7] A. Y. Hubar, et al., "Impact of automation and CALS technologies on human factor in production," *The 8th International scientific and practical conference "European congress of scientific achievements" (August 12-14, 2024) Barca Academy Publishing*. 2024, pp. 243-249.
- [8] Ф. В. Кирпота, та інш., "Визначення функціональних вимог в автоматизованій теплиці," *International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics and Telecommunications dedicated to the 85th anniversary of the Department of Theoretical Radio Engineering and Radio Measurements*. 2024, pp. 182-185.
- [9] S.V. Sotnik, "Modeling design of mobile robotic platform," *XXIV Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених, аспірантів та студентів*. 2024, pp. 481-482.
- [10] V. Kaponkin, et al., "The role of big data in improving functionality of search engines," *The 8th International scientific and practical conference "European congress of scientific achievements" (August 12-14, 2024) Barca Academy Publishing, Barcelona, Spain*. 2024, pp. 69-76.
- [11] I. S. Nevludov, et al., "Cloud giants: AWS, Azure and GCP," *2023 2nd International Conference on Innovative Solutions in Software Engineering Ivano-Frankivsk, Ukraine, November 29-30*. 2023, pp. 18-23.
- [12] S. Sotnik, I. Borysenko, "Chat GPT features in data search," *9th International scientific and practical conference "Scientific progress: innovations, achievements and prospects" (May 29-31, 2023) MDPC Publishing, Munich, Germany*. 2023, pp. 139-144.
- [13] Я. І. Халімонов, и др., "Створення інтелектуального модулю для автоматизованого моніторингу середовища у приватних та комерційних приміщеннях з використанням комп'ютерно-інтегрованих технологій," *International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics and Telecommunications dedicated to the 85th anniversary of the Department of*

Theoretical Radio Engineering and Radio Measurements. 2024, pp. 176-181.

- [14] S. Sotnik, et al., "Optimization of work: in-depth look at Kanban, Scrum and Lean," Journal of Natural Sciences and Technologies. 2024, T. 3, №. 1, pp. 290-301.

Assessment of the quality of brushless DC motors

Oleksii Shevchenko¹, Nataliia Furmanova², Vadim Yakovenko¹, Yaroslav Lukash¹

1. Department of Information Technologies of Electronic Devices, Zaporizhzhia Polytechnic National University, UKRAINE, Zaporizhzhia, Zhukovskogo str., 64, email: zkrshvchenko@gmail.com

2. Faculty of Information Security and Electronic Communications, Zaporizhzhia Polytechnic National University, UKRAINE, Zaporizhzhia, Zhukovskogo str., 64, email: nfurmanova@gmail.com

Abstract: The article deals with the development and implementation of a quality system for brushless DC motors. A stand for testing, monitoring and evaluation of motor parameters is described, as well as the software architecture for the quality system. The results of the research will help improve the quality and reliability of modern electrical systems

Keywords: brushless direct current motors; quality system; reliability; testing

I. INTRODUCTION

Modern technology development and increasing needs for highly efficient electrical systems are driving the popularity of brushless DC motors (BDCM). These motors are widely used in various industries, including automotive, aviation, robotics, as well as household appliances and medical equipment. They are characterized by high energy efficiency, durability and reliability, which makes them indispensable in conditions of increased requirements for quality and productivity [1, 2].

Along with the growing demand for brushless DC motors, there is a need to ensure their high quality and compliance with international standards. The quality of the products directly affects the safety, efficiency and durability of the equipment in which these motors are used. That is why the issue of development and implementation of quality systems for brushless motor s is becoming extremely urgent.

The purpose of this work is to create a comprehensive approach to the development of a quality system for the BDCM, which will ensure their high reliability, efficiency and safety in operation. Achieving this goal involves measuring vibrations and the number of revolutions of motors with high accuracy, as well as providing access to this data both in real time and in the form of analytical information. This approach will improve the quality and reliability of brushless motors, which is an important step in the development of modern electrical systems.

II. GENERAL APPROACH TO ASSESSING THE QUALITY OF BRUSHLESS DC MOTORS

A comprehensive approach is used to assess the quality of brushless DC motors, which includes several stages and methods. First, there is an incoming inspection of materials and components, the quality of the materials from which the motors are made is checked, as well as the quality control of components such as magnets, windings and bearings.

At the production stage, automated systems are used to check motor parameters, tests are carried out for

compliance with technical characteristics. Functional testing includes checking the operation of the motor in different load modes, testing for resistance to overloads and overheating.

The analysis of motor parameters is carried out using parameter identification methods, such as the method of least squares, differential evolution, the particle swarm method, and others. The efficiency and reliability of the motor is evaluated based on the obtained parameters.

Monitoring and diagnostics include the implementation of monitoring systems for constant monitoring of the condition of motors during operation, the use of machine learning methods to detect malfunctions and predict their occurrence. Data analysis and optimization involves the collection and analysis of data about the operation of motors to identify possible problems and ways to eliminate them, optimizing the design and control algorithms to improve efficiency and reliability.

This approach ensures high quality and reliability of brushless DC motors at all stages of their life cycle.

III. STAND FOR QUALITY SYSTEM OF BRUSHLESS DC MOTORS

The practical implementation of the proposed approach was carried out through the development of the stand of the BDCM quality system.

The working model of the stand includes a voltage stabilizer; electrical connector; lamp with thermistor, electronics unit; capacitor; 32-bit controller; stand with mounting for motors and sensors (MPU 6050); power elements. In the assembled state, the stand model has the following appearance (Fig. 1).



Fig. 1. Working model of the brushless DC motors quality assessment stand

IV. TESTING AND INSPECTION

In the field of testing, engineers use a general approach that includes a combination of unit, integration, and

system tests. The goal of this approach is to make sure that each component and the entire system is working properly. Types of testing used in the developed stand are listed in Table 1. All tests must meet the specified tolerances.

Table 1. TYPES OF TESTS USED IN THE DEVELOPED STAND

Type of tests	Test tasks
Module tests	<ul style="list-style-type: none"> – check the basic functions of individual components, such as input, output, analog-to-digital signal (ADC) conversion accuracy, and communication protocols (e.g., I2C, Wi-Fi); – set clear acceptance criteria for each test.
Integration tests for the microcontroller	<ul style="list-style-type: none"> – check the connection between the microcontroller and each sensor; – make sure that the data collection, processing and display on the LCD display are working correctly.
System level tests	<ul style="list-style-type: none"> – check the entire functionality of the system in various environmental conditions (temperature, light level); – check network connection and remote access to the system.
Individual testing of sensors	<ul style="list-style-type: none"> – reference devices are used to check the accuracy of temperature, humidity, pressure and illumination measurements; – check the response time and stability of the sensors.
Program testing	<ul style="list-style-type: none"> – check the presence of bugs and the stability of the backlight; – functional testing includes checking the formatting and clarity of the display of text, numbers and symbols
Power supply measurement	<ul style="list-style-type: none"> – make sure that the power source provides the necessary voltage and current levels without pulsations and noises; – determine battery life (if applicable).

V. SOFTWARE ARCHITECTURE

The software architecture for the brushless motor quality control system includes several key components:

1. Wi-Fi access point and web server

The Wi-Fi access point is configured using the WiFi.h library. It creates a wireless network with the SSID "MotorTestNetwork" and the password "password123".

The web server is implemented using the ESPAsyncWebServer library. It handles HTTP requests and provides a web interface to the user.

2. Web interface

The web interface is represented by the main page and test pages.

The home page, accessible from the root URL ("/"), contains a welcome message.

Test pages include:

- the motor test page ("/test_motor") with buttons to start and stop the test, calibrate the ESC and accelerometer, and reset data;
- servo test page ("/test_servo") with corresponding buttons;

- the balancing page ("/balance") with buttons for starting and stopping the balancing test;
- the reboot page ("/reboot"), which reboots the controller.

3. Processing of HTTP requests

The web server handles requests to the following URLs:

- /start_motor: start of motor testing;
- /stop_motor: stop motor testing;
- /calibrate_esc: ESC calibration;
- /calibrate_accel: accelerometer calibration;
- /reset_data: reset test data;
- And other relevant URLs.

4. Control of motors and servo drives

PWM control is used to control the speed of the motor. ESC and accelerometer calibration are performed accordingly.

5. FreeRTOS tasks

- motorControlTask: task for motor control.
- readMPU6050DataTask: task for reading accelerometer data and vibration analysis.
- servoTestTask: task for testing the servo.

6. Initialization

The system initializes Wi-Fi access point, web server, I2C for MPU6050 and PWM for ESC control.

7. The main cycle of the program

The main loop() loop is not used, since all processing and control logic is distributed among FreeRTOS tasks.

This architecture provides efficient brushless motor and servo control by providing a user-friendly web interface to interact with the system.

The program interface has the form presented in Fig. 2. The developed application offers 3 interaction options: "Motor test", "Servo test" and "Balance".

When starting, the motor spins up. The stand at each level of revolutions tests motor vibrations, all this is summed up and the total figure is displayed on the program display. The number itself reflects the force of motor vibration. Indicators 265-300 belong to good motors suitable for drones, they have practically no vibrations. The approximate error of repeated calculations is 5-10%. It is also worth noting that the indicators of the sensors of the frameworks, which makes it a universal tool for the development of various platforms.

The brushless DC motor quality system test stand is a key tool aimed at testing, monitoring and evaluating motor parameters under conditions that are as close as possible to real-world operating conditions. This test stand performs several important tasks:

- control and monitoring: the stand collects data on the operation of the BPS, including rotational speed, temperature, voltage, current and torque; this allows parameters to be monitored and deviations to be detected in real time;
- testing and analysis: the test stand conducts various tests aimed at assessing the reliability, efficiency and safety of the BPU; this is important to ensure high product quality and compliance with standards;
- calibration and tuning: the test stand helps to adjust the parameters of the control system of the BPS; this includes optimizing the operation of the motors and ensuring their optimal performance.



Fig. 2. The interface of the developed application for the quality assessment system of the brushless DC motors

Selecting the right components and integrating the test stand is critical to obtaining accurate and reliable results. This becomes the basis for further improvement of the technology to produce brushless DC motors, which in turn contributes to the quality and reliability of the products.

The test stand for the quality system of brushless motors has the following advantages:

- accuracy and reliability of measurements: the test stand provides high-precision data collection from various sensors, which allows obtaining reliable information about the parameters of motor operation;
- automation of processes: the use of microcontrollers and single-board computers [3] allows to automate the processes of data collection and processing, reducing the likelihood of a “human factor”;
- scalability and flexibility: the test stand can be adapted to different types of brushless motors and customized for different tests;
- documentation and visualization: automatic data collection and storage allows for the creation of detailed reports and graphs, simplifying the analysis of test results.

The disadvantages include the following:

- high cost: creating and maintaining a test stand requires significant financial investments in equipment, sensors, and software;
- complexity of setup: setup and integration of all components of the test stand requires highly qualified engineers and specialists;
- limited portability: the test stand is stationary and takes up a lot of space, which can be a problem for small production facilities;
- dependence on electronics and software: the reliability of the test stand depends on the stable operation of electronic components and software;

- time for testing: full-fledged tests can take a considerable amount of time, which affects the overall duration of the quality control process.

Given these factors, the test stand is an important tool for ensuring high product quality, but its use requires a careful approach and consideration of all aspects.

VI. CONCLUSIONS

This paper investigated the issues related to the design, development, and implementation of a quality system for a database on DBPS. The study covered various technical aspects, system components, and implementation strategies,

Visual Studio was chosen to develop the graphical user interface. Arduino IDE was used to create the software of the DBPS quality system. To implement the user software, we chose the C++ language and the .NET platform. C++ programming language was also used to implement the software of the DBPS quality system itself.

This practical work has provided information on the design, development and implementation of the DBPS quality system. Future directions for the system development include expanding the functionality, adding new sensors, increasing the size of the stand to adapt to large-scale production, improving automation, and improving the quality of individual components. It is also possible to expand the capabilities of the user interface, including the use of neural networks for data analysis, displaying data in charts, and automated process control through robots.

REFERENCES

- [1] Yuan, T.; Chang, J.; Zhang, Y. Research on the Current Control Strategy of a Brushless DC Motor Utilizing Infinite Mixed Sensitivity Norm. *Electronics* **2023**, *12*, 4525. <https://doi.org/10.3390/electronics12214525>
- [2] Soni K. Umesh, Tripathi K. Ramesh, Recent Challenges and Advances in the Sensorless Commutation of Brushless DC Motors, Recent Advances in Electrical & *Electronic Engineering*; Volume 14, Issue 1, 2021. <https://doi.org/10.2174/2352096513999200825105724>
- [3] Mach, V., Kovář, S., Valouch, J., & Adámek, M. (2018). Brushless DC motor control on Arduino platform. *Przegląd elektrotechniczny*. <https://doi.org/10.15199/48.2018.11.24>

System for monitoring and alerting in a coal mine

Artem Zhulai¹, Nataliia Furmanova²

1. Department of Information Technologies of Electronic Devices, Zaporizhzhia Polytechnic National University, UKRAINE, Zaporizhzhia, Zhukovskogo str., 64, email: artemzhulay3@gmail.com
2. Faculty of Information Security and Electronic Communications, Zaporizhzhia Polytechnic National University, UKRAINE, Zaporizhzhia, Zhukovskogo str., 64, email: nfurmanova@gmail.com

Abstract: The study aims to develop a system for monitoring and alerting safety in a coal mine based on the Internet of Things, with indicators displayed on the screen for observation.

Keywords: Monitoring of data; safety; coal mine; emergencies; radio communication; methane; gas; sensor.

I. INTRODUCTION

Mining is one of the oldest and most demanding professions in the world. Mining is critical in energy supply, construction, metal production, and other industries. It is also one of the most dangerous professions in the world due to cave-ins caused by methane, coal dust, or moisture explosions.

Mines are typically situated in intricate geological formations. These conditions can result in instability, rockfalls, and subsidence, all of which pose risks to miners' safety. Coal seams often contain methane (CH₄) and other gases. The accumulation of these gases within the mine can lead to explosive situations if not properly managed. Fine coal dust is a common hazard in mines. Prolonged exposure to this dust can cause respiratory diseases, affecting miners' health. Machinery breakdowns are a significant concern. When mining equipment malfunctions, it disrupts operations and puts workers at risk. Miners face challenges related to fatigue, stress, and communication gaps. These factors contribute to accidents and incidents within the mining environment.

Most of the critical factors that lead to accidents in a mine can be controlled, and workers can be warned about the situation, increasing the number of miners who will not be injured. Therefore, a coal mine safety monitoring and warning system was developed. Mining safety systems are crucial in mitigating these challenges and ensuring miners' well-being [1].

II. GENERAL ANALYSIS

A mine is an enterprise that is focused on the extraction of minerals by underground mining. It consists of surface facilities and underground mining workings.

A coal mine has the following structure:

- the shaft, which is the beginning of the underground workings and is the descent and ascent of personnel, or the place for lifting coal to the surface;
- a drift, an area where rails are laid to transport coal from the mining site to the shaft;
- Longwall is a place where coal is mined.

One of the main hazards in a mine is the constant content of methane, which is released during the destruction of the coal seam. For this reason, a set of measures is constantly being taken to prevent gas explosions, and the frequency of such measures depends on the category of the mine. A mine is assigned a

category based on its methane content. Table 1 shows the classification of mines by methane level.

Table 1 - Classification of mines by methane level

Category of methane mines	Relative methane abundance of the mine, m ³ /t, type of gas emission
I	Up to 5, normal
II	From 5 to 10, average gas emission
III	10 to 15, average gas emission
Supracategorical	15 and more; mines hazardous for fugitive emissions
Sudden release hazardous	Mines that mine seams hazardous for sudden release of coal and gas; mines with rock

In addition to methane, one of the indicators that affect workers' performance, their physical condition, and accident prevention is temperature. It depends on the depth of the drift or longwall and fire hazards. The temperature in the mine is unevenly distributed; the closer to the surface, the colder it is, and the temperature is further reduced by ventilation. The physical condition is also affected by humidity, which should be in the mine range of (80-90) %.

A large amount of electrical equipment is used in the mine, and the main voltage levels are

- low voltage: 380V, 220V, 127V;
- high-voltage 6.10 kV;
- for lighting and low-voltage mechanisms: 36 V .

The main factors that can lead to the failure of mine equipment are untimely inspection and repair, humidity, and dust. Closing all gaps in the housing with rubber seals achieves moisture resistance and dust protection. They are coated with a protective varnish or sealant to protect the boards.

One of the most essential conditions to be considered when choosing equipment for a mine is its intrinsic safety. It is achieved in several ways:

- creating conditions for the device to operate at low power and voltage levels;
- selection of materials with a low potential for ignition;
- providing insulation and protection against dust and moisture;
- Strict adherence to the instructions for installation and maintenance of the equipment.

Any electrical equipment used in a mine is subject to specific technical requirements. These include:

- safety requirements: intrinsic safety, fire, and moisture resistance, dust protection, long service life
- maintainability;

- operational requirements.

III. SELECTION OF ELEMENT BASE AND CREATION OF THE SYSTEM

For a monitoring and alerting system, it is essential to notify miners and rescuers of abnormal readings by activating a siren and notify the operator of changes in the readings. One of the communication systems can be used to inform the operator. Communication systems used in the mine are divided into telephone systems, radio communication, and local communication. Each of the communication systems has advantages and disadvantages, which are shown in Table 2. Therefore, based on the results of the table, radio communication was chosen because of its rapid implementation, signal penetration, and mobility.

Table 2 - Advantages and disadvantages of types of communication in the mine

Type of communication	Advantages	Disadvantages
Telephone system	Proven to be a good and reliable way to communicate underground and above-ground	Dependent on wires
Radio communication	an provide more comprehensive coverage, as it does not require the use of wires to transmit information	Limited to the range of the transmitter or receiver, with a range extender, the transmission radius increases
Local communication	Everyone can hear, which can save miners' lives in case of a dangerous situation.	Limited to a specific area of use

For systems that are used for information wireless communication, including the developed monitoring and alerting system, repeaters are essential. Repeaters are designed to amplify and retransmit radio signals between remote transmitters. All repeaters are divided into passive and active. Active repeaters work on the principle of signal enhancement: the signal received at the receiver is amplified and transmitted through the transmitter to the following points. Passive repeaters do not have a built-in amplifier, so they work by transmitting signals without changing their power or quality.

One of the main issues for a wireless system is the choice of operating frequency. Experiments were conducted on the signal range in the mine, where such frequencies as 455 and 915 MHz and 2.45 and 5.8 GHz were investigated, and it was concluded that high frequencies work better in both polarizations [2]. Similar tests were also conducted in the post-Soviet space. They used frequencies of 1.8 and 1.9 GHz and concluded they are effective when the capital workings are extensive more than 10 meters.

The signal transmission range limits radio communication, so repeaters are used to increase the range. After analyzing the research results, the distance between the repeater and the signal source or receiver depends on the obstacles encountered on the way. Therefore, for the experimental conditions where 2.4 and 5.8 GHz frequencies were studied, the repeater should be located at 350-390 m for the experiment with 1.8 and 1.9 GHz frequencies - 700 m. Still, the signal transmission range of this frequency directly depends on the number of obstacles in the form of metal structures of the mine, equipment, and various cables.

Considering the technical and climatic conditions that the mining equipment must meet, the following components were selected for the monitoring and warning system

- sensors: temperature and humidity, smoke gas;
- Arduino microcontroller;

- data transmission modules: NRF24L01 radio module at 2.4GHz, Wi-Fi module on ESP8266.

According to the mine zones, the system consists of three main modules: a data collection module, a repeater, and a "Base" module. We also created printed circuit boards for each of the modules. The boards contain circuits for power supply and battery charging, a communication module, a microcontroller, and sensors for the data collection module.

As current events demonstrate, an additional source is essential for any vital equipment. The miners' lives are a priority, so the designed system must have its emergency power source when the main power supply is lost. Therefore, a rechargeable battery with a capacity of 59 Ah has been developed, consisting of Li-Ion 18650 batteries with an excellent price-performance ratio.

Each device must be protected from external influences, so the system modules have a housing. Its shape depends on the boards' size and the elements' height. Given the size of the battery and the peculiarity of any battery wearing out over time, the battery is made as a separate unit attached to the main board housing. The case must also be reliable in the mine environment, so ABS plastic was chosen as the best material for manufacturing. The material is heat-resistant and non-toxic under normal conditions, durable, moisture, and acid-resistant under selected operating conditions. The connection between the battery and central board units is made through wires. The wires between the board and the battery are connected using explosion-proof switches.

A website with measured indicators now called the Operator's Screen, was developed to display information from the mine. Figure 1 shows the page of the Operator's Screen, which displays all the indicators measured in the mine.

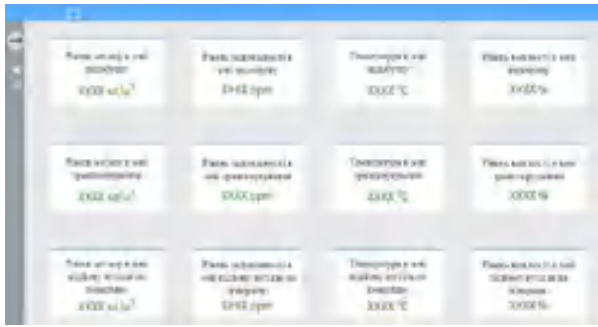


Fig. 1 Operator screen

IV. DESCRIPTION OF THE OPERATION AND TESTING OF THE SECURITY MONITORING AND NOTIFICATION SYSTEM

The system operates as follows: the data acquisition modules located in the production (longwall), transportation (adit), and surface (shaft) zones collect the leading indicators (methane, smoke, humidity, and temperature) and then send them via radio to another data acquisition module or repeater, where the data is forwarded further. If the data exceeds the average values for a given zone, a signal is sent to the siren, which activates it.

The indicator collection module works as follows:

- data is received from another module or repeater;
- the received data is sent;
- collecting readings from the sensor;
- data recording and address assignment;
- sending the collected data.

The range extender has no sensors, but it works in active mode.

The "Base" module works as follows:

- data reception and recording in the database;
- sending the received data to the server;

The data is received from the remote modules and sent to the nearest ones.

The server works as follows:

- data is received;
- indicators are recorded in the appropriate blocks;
- sending data to the Operator's Screen website.

Figure 2 shows the system operation results.

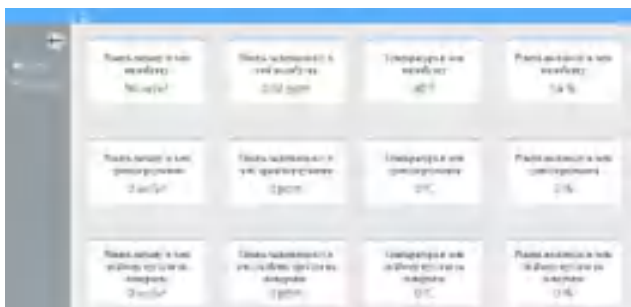


Fig. 2. The result of the IoT-based safety monitoring and alert system in a coal mine

V. CONCLUSIONS

The IoT-based monitoring and alert system in a coal mine was developed, considering intrinsic safety and dust and moisture protection, and the system was developed using reliable and more accurate components.

Intrinsic safety is ensured by using low-consumption components and explosion-proof switches. Protection against dust and moisture is ensured by using rubber gaskets between the housing and the lid and in the gaps between the sensors and the housing lid. The developed system was created using reliable and more accurate sensors. The modules' housing is designed for use in a mine environment; the plastic of the housing is durable, non-toxic to humans, moisture resistant, heat resistant, and resistant to oils.

All modules are developed using Arduino boards; during production, it is planned to use only the ATmega 328 microcontroller without additional strapping of electronic components.

Communication between the modules is provided by radio communication at a frequency of 2.4 GHz using an omnidirectional antenna.

The system is designed to be powered by a 36 V supply voltage for lighting in the mine. To ensure the autonomous operation of the module, a rechargeable battery, which is a detachable unit, has been developed.

The housing of the modules is designed with the board design and components located on it in mind.

For additional personnel protection, the device can make decisions on its own; in case of abnormal values, a siren is activated.

All indicators are displayed on the operator's screen. For this purpose, the markup and styles of the website have been created, and to change the data on the website, an ajax query to the database table is used.

The demonstrated system is not final; in the future, the monitoring and notification system can be developed and supplemented by adding a system for locating personnel in the mine based on tags, adding other sensors to expand the number of collected indicators, supplementing the operator's screen with information, for example, a history that stores the received indicators for a long time; using water-repellent and conformal coatings to protect the electronic part of the system from moisture; revising the shape of the case and simplifying it.

REFERENCES

- [1] Ansari, A. H., Shaikh, K., Kadu, P., & Rishikesh, N. (2021). IOT based coal mine safety monitoring and alerting system. *Int. J. Sci. Res. Sci. Eng. Technol*, 8, 404-410.
- [2] C. Zhou, T. Plass, R. Jacksha and J. A. Waynert, "RF Propagation in Mines and Tunnels: Extensive measurements for vertically, horizontally, and cross-polarized signals in mines and tunnels," in *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 57, no. 4, pp. 88-102, Aug. 2015

Огляд щодо використання радіоаматорами радіочастотного спектру в Україні

Сніжана Вичужаніна¹, Олександр Малий²

1. Кафедра РТТ, Національний університет «Запорізька політехніка», УКРАЇНА, Запоріжжя, вул. Жуковського 64, email: snezhanavych@gmail.com

2. Кафедра ІТЕЗ, Національний університет «Запорізька політехніка», УКРАЇНА, Запоріжжя, вул. Жуковського 64, email: docsasha2@gmail.com

Анотація: В даному матеріалі наведено огляд щодо користування радіочастотним спектром в Україні та країнах ЄС.

Ключові слова: СЕРТ, радіоаматор, смуги частот, аматорські радіостанції.

I. ВСТУП

Питання державної політики та нормативні питання у сфері пошти та електрозв'язку, зокрема використання радіочастотного спектру, у межах Європи розглядає Європейська конференція адміністрацій зв'язку (англ. The European Conference of Postal and Telecommunications Administrations, СЕРТ). На сьогодні членами СЕРТ є 48 країн, зокрема Україна.

II. ВИКОРИСТАННЯ РАДІОАМАТОРАМИ РАДІОЧАСТОТНОГО СПЕКТРУ В УКРАЇНІ

Для визнання між країнами-членами СЕРТ (та країнами, які приєдналися до рекомендацій СЕРТ) рекомендується використовувати три види радіоаматорських ліцензій: базового рівня (NOVICE), початківця (ARNEC) та повну (HAREC).

Для кожної з перерахованих ліцензій визначений мінімальний рівень кваліфікації радіоаматорів і підхід до розподілу для них смуг частот, видів роботи та припустимих потужностей.

Адміністрації зв'язку країн-учасниць на підставі рекомендацій СЕРТ визначають відповідність між своїми національними радіоаматорськими ліцензіями (кваліфікаційними категоріями) і трьома категоріями ліцензій СЕРТ, перерахованими вище.

В Україні, з урахуванням відповідних рекомендацій СЕРТ, застосовується наступна класифікація категорій операторів аматорських радіостанцій (АРС):

1. А (вища кваліфікація радіоаматора) – відповідає повній ліцензії СЕРТ. Для її одержання потрібно здати теоретичний екзамен за програмою повної ліцензії СЕРТ (T/R 61-02);
2. В (радіоаматор-початківець) – відповідає ліцензії СЕРТ новачка. Для її одержання потрібно здати теоретичний екзамен за програмою ліцензії СЕРТ новачка (ERC32);
3. С (радіоаматор-учень) [2].

Дозволені смуги радіочастот в діапазоні від 100 МГц до 24 ГГц при максимальному рівні вихідної потужності 5 Вт та види зв'язку передавачів аматорських радіостанцій (АРС) усіх категорій в Україні представлені на рисунках 1 – 3.

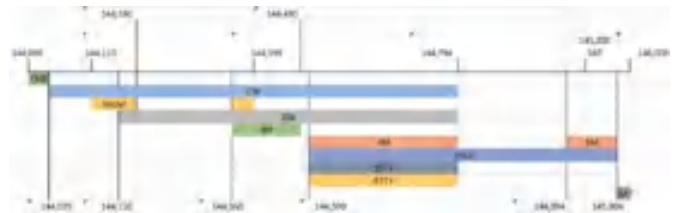


Рис. 1. Дозволені смуги радіочастот (МГц) для первинної категорії аматорської та аматорської супутникової служби в Україні та види зв'язку передавачів аматорських радіостанцій (АРС) в Україні

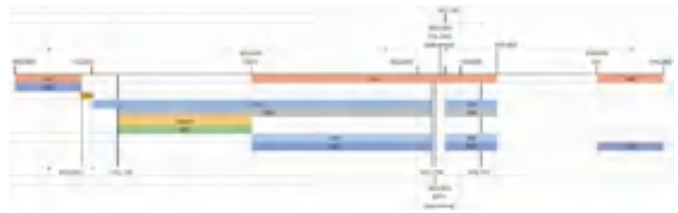


Рис. 2. Дозволені смуги радіочастот (МГц) для первинної категорії аматорської та аматорської супутникової служби в Україні (використовується спільно з іншими радіослужбами) та види зв'язку передавачів аматорських радіостанцій (АРС) в Україні

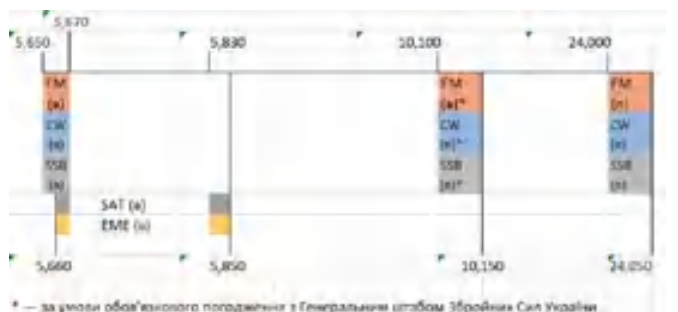


Рис. 3. Дозволені смуги радіочастот (ГГц) для первинної (п) та вторинної (в) категорії аматорської та аматорської супутникової служби в Україні та види зв'язку передавачів аматорських радіостанцій (АРС) в Україні

Розшифровані види зв'язку наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Види зв'язку передавачів аматорських радіостанцій (АРС) [2]

Позначення	Призначення та основні характеристики
CW	Телеграфія – передавання текстових повідомлень із використанням коду Морзе. А1 – амплітудна телеграфія; F2 – тональна телеграфія із застосуванням частотної маніпуляції. Необхідна ширина смуги випромінювання не більше 100 Гц
SSB AM FM	Телефонія – передавання мовних повідомлень в аналоговому вигляді. J3E – одна бічна смуга (SSB) з подавленою частотою-носієм та необхідною шириною смуги випромінювання не більше 2,7 кГц; F3E – частотна модуляція (FM) з необхідною шириною смуги випромінювання не більше 6,0 кГц на частотах нижче 30 МГц та 20 кГц на частотах вище 30 МГц; A3E – двосмугова телефонія з використанням частоти-носія (AM) з необхідною шириною смуги випромінювання не більше 6,0 кГц
SSTV	Передавання зображень – передавання відеоінформації. J2F – з необхідною шириною смуги випромінювання не більше 2,7 кГц
DIGI MGM	Передача сигналів з цифровими методами модуляції (RTTY, PSK31, PSK63, MT63, Hell тощо). F1B – безпосередня частотна маніпуляція носійної частоти передавача з використанням двох частот; F2B – модуляція FM передавача двома звуковими тонами; J2B – модуляція SSB передавача двома звуковими тонами (RTTY); F1D – передача даних шляхом безпосередньої частотної маніпуляції носійної з використанням декількох частот, що чергуються; F2D – передача даних шляхом модуляції FM передавача декількома звуковими тонами, що чергуються; Передавання сигналів з цифровими методами модуляції (RTTY, PSK31, PSK63, MT63, Hell та інші). F1B – безпосередня частотна маніпуляція частоти-носія передавача з використанням двох частот; F2B – модуляція FM передавача двома звуковими тонами; J2B – модуляція SSB передавача двома звуковими тонами (RTTY); F1D – передавання даних шляхом безпосередньої частотної маніпуляції частоти-носія з використанням декількох частот, що чергуються; F2D – передавання даних шляхом модуляції FM передавача декількома звуковими тонами, що чергуються; J2D – передавання даних шляхом модуляції SSB передавача декількома звуковими тонами, що чергуються

Продовження таблиці 1

IBP	Міжнародний проект радіоаматорських «маяків». А1 – амплітудна телеграфія з необхідною шириною смуги випромінювання 100 Гц
SAT	Зв'язок з використанням штучних супутників Землі. Щільність потоку випромінювання космічних станцій АСС біля поверхні Землі не повинна перевищувати мінус 110 дБВт/кв. м
APRS	Узагальнене найменування технології та протоколу пакетного (цифрового) аматорського радіозв'язку
EME	Зв'язок з використанням Місяця як пасивного ретранслятора

Після успішного здавання іспиту кваліфікаційно-технічної комісії та перевірки технічного стану АРС радіоаматор одержує в Українському державному центрі радіочастот (УДЦР) дозвіл на експлуатацію аматорської радіостанції встановленого зразка.

Дозвіл засвідчує призначення позивного сигналу та право його власника на експлуатацію АРС відповідно до кваліфікації оператора упродовж визначеного терміну в певних умовах.

Для отримання певної категорії гармонізованого екзаменаційного сертифіката СЕРТ до УДЦР надається заява встановленого зразка.

Видані УДЦР гармонізовані екзаменаційні сертифікати визнаються адміністраціями зв'язку інших країн-членів СЕРТ і країн, що приєдналися до гармонізації ліцензій СЕРТ.

Радіоаматор, що має ліцензію СЕРТ, може вільно, не одержуючи національну ліцензію країни перебування, здійснювати передачі упродовж 90 днів із країни, що приєдналася до рекомендацій СЕРТ.

Адміністрації зв'язку деяких країн прийняли рекомендації СЕРТ частково. Для здійснення передач із цих країн необхідно одержати національні дозвільні документи.

У разі проведення сеансів радіозв'язку на території України радіоаматори інших країн перед особистим позивним сигналом через дріб додають літери «UT».

Рекомендації та повідомлення СЕРТ, які відносять до аматорської служби та аматорської супутникової служби:

1. Recommendation T/R 61-01 – Радіоаматорська ліцензія СЕРТ;
2. Recommendation T/R 61-02 – Гармонізований радіоаматорський екзаменаційний сертифікат (HAREC) [1].

В Україні Постановою Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах електронних комунікацій, радіочастотного спектра та надання послуг поштового зв'язку, затверджений «Регламент аматорського радіозв'язку України». Цей регламент визначає:

1. Порядок користування радіочастотним спектром України аматорською службою радіозв'язку та аматорською супутниковою службою радіозв'язку;
2. Загальні вимоги до гармонізованого та національного експлуатаційних документів АРС;

3. Процедуру замовлення і оформлення позивних сигналів та експлуатаційних документів АРС;
4. Форми експлуатаційних документів АРС, а також форми замовлення (перелік необхідної інформації) для їх оформлення;
5. Вимоги до опублікування загальнодоступної інформації про експлуатаційні документи АРС та обміну інформацією із власниками інформаційних ресурсів.

Дія цього регламенту поширюється на всіх радіоаматорів, зокрема на радіоаматорів-іноземців, які експлуатують або мають намір експлуатувати аматорські радіостанції на території України.

Серед основних вимог, встановлених регламентом, щодо проведення аматорського радіозв'язку варто відзначити:

1. Проведення сеансів радіозв'язку операторами АРС повинно здійснюватися тільки у смугах радіочастот, видами радіозв'язку та з рівнями вихідної потужності, що відповідають категорії (кваліфікації оператора) та зазначені у дозволі.
2. Перед початком сеансу радіозв'язку оператор АРС повинен переконатися, що обраний номінал частоти (канал) вільний.
3. При веденні радіозв'язку оператор АРС не повинен створювати завади у суміжних смугах радіочастот, що вже використовуються іншими станціями.
4. Радіозв'язок з іншими радіостанціями, що не належать аматорській радіослужбі, дозволяється тільки у випадку передачі ними сигналів лиха (SOS, MAYDAY) на радіочастотах, що розподілені аматорській службі.
5. Аматорський радіозв'язок повинен проводитися відкритим текстом на радіоаматорську тематику й обмежуватися повідомленнями з дотриманням законодавства про конфіденційну інформацію.
6. Оператор АРС зобов'язаний передавати позивний сигнал своєї станції на початку та при закінченні сеансу радіозв'язку, але не рідше ніж один раз на 10 хвилин [2].

Ці вимоги справедливі для проведення сеансів аматорського радіозв'язку у всіх країнах-учасницях СЕРТ.

III. ВИСНОВКИ

В даному матеріалі представлений огляд щодо використання радіоаматорами радіочастотного спектру в Україні. Матеріали підготовлені на основі чинних нормативно-правових актів на вересень 2024 р.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Вебсайт Громадської спілки «Всеукраїнська радіоаматорська ліга». Режим доступу: <http://surl.li/qlwtaz> (дата звернення: 24.09.2024)
- [2] Про затвердження Регламенту аматорського радіозв'язку України [Електронний ресурс]: Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах електронних комунікацій, радіочастотного спектра та надання послуг поштового зв'язку: [zareestrovano v Ministerstvi yustitsii Ukraini 29 chervnia 2023 r. za

№ 1106/40162]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1106-23#Text>

Розробка методу визначення швидкості переміщення об'єктів на основі аналізу зображень

Воронов Денис ¹, Сезонова Ірина ²

1. Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки. 14., email: denys.voronov@nure.ua
2. Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки. 14., email: iryna.sezonova@nure.ua

Анотація: В даному матеріалі наведено приклад використання бібліотеки OpenCV для розробки методу аналізу зображень.

Ключові слова: OpenCV, Алгоритм, інтеграція.

I. ВСТУП

Сучасні системи моніторингу дорожнього руху, відеоспостереження, аналіз спортивних подій та системи безпеки значною мірою залежать від алгоритмів, що здатні точно вимірювати швидкість та тип об'єктів. Визначення швидкості може бути корисним для покращення безпеки на дорогах, запобігання нещасним випадкам, а також для автоматизації багатьох рутинних процесів, таких як контроль транспортних потоків. Одним із найбільш поширених і потужних інструментів для аналізу зображень є бібліотека OpenCV, вона надає безліч функцій для реалізації складних алгоритмів обробки відео. Її впровадження дозволить оптимізувати процес аналізу виробничих систем стеження та безпеки, а також надасть нові можливості для їх розвитку.

II. МЕТОД АНАЛІЗУ ЗОБРАЖЕНЬ

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) — це відкрита бібліотека для комп'ютерного зору та обробки зображень, яка надає широкий набір інструментів для аналізу візуальних даних, таких як фото, відео та зображення з камер у реальному часі. Вона підтримує різні мови програмування (Python, C++, Java), працює на різних операційних системах (Windows, macOS, Linux, Android) і включає понад 2500 алгоритмів для таких задач, як розпізнавання об'єктів, трекінг руху, аналіз оптичного потоку тощо.

OpenCV дозволяє обробляти зображення в реальному часі завдяки підтримці апаратного прискорення (GPU), що робить її особливо корисною в системах відеомоніторингу, автоматизації, автомобільній промисловості, медицині та робототехніці. Вона має велику спільноту розробників, що забезпечує легку інтеграцію та широкі можливості для розробки в сфері комп'ютерного зору.

OpenCV надає широкий набір інструментів і функцій, що дозволяють значно спростити створення алгоритму шляхом застосування вже готових модулів для детекції, трекінгу об'єктів та аналізу їх переміщень. Основні етапи, які можна автоматизувати за допомогою OpenCV, включають попередню обробку зображень, виділення контурів

об'єктів, трекінг їх руху між кадрами та розрахунок параметрів швидкості. Це дозволяє реалізувати систему в реальному часі, що є важливою перевагою в контексті сучасних виробничих процесів, де необхідна швидка і точна обробка великих обсягів даних. Прикладом може виступати аналіз руху машин у площі дорожньої розв'язки розбитої на сектори рис.1.



Рис.1. Аналіз руху машин у площі дорожньої розв'язки

Алгоритм на основі OpenCV здатний забезпечити високу точність завдяки використанню методів оптичного потоку, кореляції та інших підходів для аналізу руху. Це дозволяє автоматично визначати швидкість переміщення об'єктів без втручання людини, що значно підвищує ефективність і зменшує ймовірність помилок на виробництві. Крім того, можливість інтеграції з іншими системами, такими як роботизовані комплекси чи автоматизовані лінії контролю якості, дозволяє використовувати ці дані для автоматичної корекції процесів або прогнозування можливих відхилень.

У разі невикористання OpenCV або аналогічних бібліотек розробка алгоритму потребуватиме створення власних рішень для кожного етапу, включно з обробкою зображень, виділенням об'єктів, аналізом руху та обчисленням швидкості. Це не тільки значно збільшить час розробки, але й підвищить складність оптимізації алгоритму для роботи в реальному часі. Крім того, такі алгоритми можуть виявитися менш точними та продуктивними, оскільки не використовуватимуть готових і перевірених рішень, які вже є у складі OpenCV. Відсутність готових засобів для паралельної обробки даних і використання апаратного прискорення також

негативно вплине на продуктивність і масштабованість системи, що є важливим для великих виробничих процесів.

Розробка власного методу визначення швидкості переміщення об'єктів для виробництва на основі OpenCV може мати кілька важливих переваг порівняно з наявними аналогами. Перш за все, власний метод дозволяє гнучко адаптувати алгоритми під конкретні потреби підприємства. Це особливо важливо для виробництв з унікальними технологічними процесами, де типові рішення можуть не повністю відповідати вимогам щодо точності, продуктивності або інтеграції. Власний метод дозволяє оптимізувати систему під специфічні умови експлуатації, такі як розмір об'єктів, швидкість їх руху та особливості виробничих процесів, що забезпечує підвищену ефективність. Прикладом може слугувати зчитування визначених заздалегідь об'єктів на виробництві, таких як коробки, навантажувачі, люди тощо рис.2.



Рис.2. Зчитування визначених заздалегідь об'єктів

Ще однією перевагою є можливість глибокої інтеграції з наявними інформаційними системами підприємства, що дозволяє отримати повну автоматизацію, від збору даних до ухвалення рішень. Наприклад, метод може бути інтегрований з системами контролю якості, логістики або управління запасами, що створює єдиний інформаційний простір для управління виробництвом. Власний метод може бути також масштабованим, забезпечуючи можливість легкої адаптації до нових умов або розширення виробничих потужностей без необхідності суттєвих змін у програмному забезпеченні.

III. ПРИНЦИП РОБОТИ АЛГОРИТМУ

Алгоритми OpenCV працюють за принципом аналізу зображень і відео з використанням методів комп'ютерного зору. Основний процес включає кілька етапів, починаючи від попередньої обробки вхідних даних і закінчуючи виведенням необхідних результатів, таких як координати об'єктів, їх траєкторії або швидкість переміщення.

Перший етап — завантаження та обробка зображень або відео. OpenCV може працювати з різними форматами файлів, зчитувати потоки з камер

у реальному часі або завантажувати статичні зображення з файлової системи. На цьому етапі зазвичай проводиться попередня обробка: перетворення зображень у необхідний формат (наприклад, в сірі тони), зменшення шумів або інші фільтраційні операції для покращення якості даних рис.3.



Рис.3. Фільтраційні операції для покращення якості даних

Другий етап — виділення об'єктів. Це ключовий момент у роботі алгоритмів OpenCV. Для цього використовують різні методи, такі як порогова обробка (thresholding), детекція контурів (edge detection) або алгоритми сегментації зображень. Часто застосовують методи детекції країв, такі як алгоритм Канні (Canny) рис.4, який виділяє межі об'єктів у зображенні, або методи оптичного потоку, що дозволяють відслідковувати зміну положення пікселів у послідовності кадрів.



Рис.4. Алгоритм Канні (Canny)

Третій етап — трекінг об'єктів. Після того, як об'єкти виділені, їх необхідно відстежувати у наступних кадрах відео. Це досягається шляхом порівняння позицій об'єктів між кадрами. Існує кілька підходів до трекінгу, зокрема методи, засновані на кореляції, або використання більш складних алгоритмів, таких як Kalman Filter (рис.5) або Mean Shift. Такі алгоритми дозволяють враховувати зміну положення об'єктів навіть у складних умовах, таких як часткове перекриття або зміни освітлення.

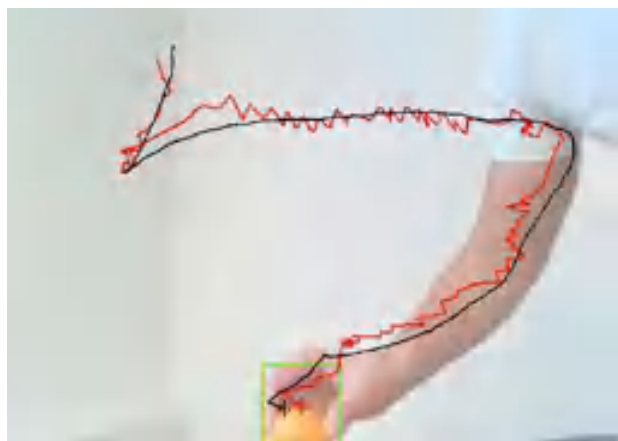


Рис.5. Kalman Filter

Четвертий етап — аналіз руху та розрахунок швидкості. Для визначення швидкості переміщення об'єктів OpenCV використовує методи оптичного потоку (optical flow), які дозволяють аналізувати зміну позицій пікселів між кадрами і визначати напрямок та швидкість руху об'єктів. Найпоширеніший алгоритм для цього — метод Лукаса-Канаде (Lucas-Kanade) рис.6, який дозволяє обчислювати вектор швидкості кожного пікселя, що переміщається між кадрами. На основі отриманих даних можна розраховувати середню швидкість об'єктів або їх траєкторії.



Рис.5. Метод Лукаса-Канаде (Lucas-Kanade)

Останній етап — інтерпретація результатів та виведення. Після завершення аналізу руху алгоритм OpenCV виводить оброблені дані у зручному форматі — це можуть бути як числові дані (координати, швидкість), так і графічні зображення (відображення траєкторій руху на зображеннях). OpenCV також дозволяє інтегрувати результати в інші системи, такі як системи керування виробничими процесами або автоматизовані аналітичні системи.

Завдяки таким крокам OpenCV забезпечує високу точність і продуктивність під час аналізу зображень і відео, що робить його незамінним інструментом для

реалізації алгоритмів визначення швидкості об'єктів у різних виробничих або наукових проектах.

Прикладом де представлений кожен етап може бути система контролю за рухом конвеєрних стрічок та автоматизації виробничого процесу на заводах, що виготовляють і пакують продукцію. Камери встановлюються вздовж виробничої лінії, де постійно рухаються вироби чи деталі по конвеєру. Камери фіксують відео або роблять серію зображень продукції під час її руху по стрічці. За допомогою OpenCV проводиться аналіз зображень для виділення об'єктів (виробів), які рухаються по конвеєру. Застосовуються методи для трекінгу об'єктів між кадрами для оптичного потоку, щоб точно визначити, як швидко рухаються об'єкти. Алгоритми дозволяють виміряти швидкість кожного виробу або деталі та відстежувати їхню траєкторію. Якщо швидкість руху на конвеєрі виходить за межі допустимих параметрів, система автоматично коригує швидкість конвеєра або видає попередження оператору. Така система також здатна виявляти збої, коли продукція неправильно рухається або застрягає. Це дозволяє значно підвищити точність і швидкість контролю над виробничим процесом, знизити ризики простоїв або пошкодження продукції, а також оптимізувати роботу обладнання без втручання людини.

IV. ВИСНОВКИ

Впровадження власного методу визначення швидкості переміщення об'єктів на основі аналізу зображень в автоматизовані виробничі процеси приводить до підвищення точності моніторингу та контролю, оптимізації роботи обладнання, автоматизації збору даних і аналізу руху об'єктів у реальному часі. Це дозволяє підприємству ефективніше керувати ресурсами, зменшити кількість помилок і збоїв, а також забезпечити безперервність і якість виробництва. Така інтеграція сприяє підвищенню продуктивності, зниженню витрат на технічне обслуговування, мінімізації простоїв та покращенню конкурентоспроможності підприємства.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] OpenCV (Documentation) – [Електронний ресурс] URL: <https://docs.opencv.org>
- [2] medium.com «Object Detection and Counting in Manufacturing Industry Using Python and OpenCV» – [Електронний ресурс] URL: <https://medium.com/@karishmaagarwal2505/object-detection-and-counting-in-manufacturing-industry-using-python-and-opencv-a4f6a536bb60>
- [3] Opencvhelp.org «Industrial Inspection with OpenCV» – [Електронний ресурс] URL: <https://www.opencvhelp.org/tutorials/applications/industrial-inspection/> Opencvhelp.org «Industrial
- [4] learnopencv.com «Optical Flow in OpenCV (C++/Python)» – [Електронний ресурс] URL: <https://learnopencv.com/optical-flow-in-opencv/>
- [5] pieriantraining.com «Kalman Filter OpenCV Python Example» – [Електронний ресурс] URL: <https://pierantraining.com/kalman-filter-opencv-python-example/>

- [6] [geeksforgeeks.org «Python OpenCV – Canny\(\) Function»](https://www.geeksforgeeks.org/python-opencv-canny-function/) – [Электронный ресурс] URL: <https://www.geeksforgeeks.org/python-opencv-canny-function/>
- [7] [medium.com «Image Processing using OpenCV — Python»](https://medium.com/@nimritakoul01/image-processing-using-opencv-python-9c9b83f4b1ca) – [Электронный ресурс] URL: <https://medium.com/@nimritakoul01/image-processing-using-opencv-python-9c9b83f4b1ca>

Features of Functional Testing for Low-Power Consumption Devices with Built-In Batteries

Oleh Hurtovyi

CITAR Department, Kharkiv National University of Radio Electronics, UKRAINE,
Kharkiv, Nauki Ave. 14., e-mail: oleh.hurtovyi@nure.ua

Abstract: This paper analyses the specific features of low power consumption IoT devices with an built-in power cell in relation to ensuring a guaranteed service life. It also considers the actual issues of the need for automated functional control of the consumption of such devices during acceptance testing by the manufacturer.

Keywords: low-power consumption devices, microcurrent, leakage current, battery-powered, functional testing.

I. INTRODUCTION

Modern electronic products are monitored during the production cycle to detect defects at early stages of production, minimize the cost of their elimination and produce products that meet the requirements of international quality standards ISO 9000, IEC standards, quality requirements for printed circuit boards (PCBs) and solder joints - IPC standards, as well as Ukrainian state standards - DSTU, in particular DSTU 3021-95 [1]. In order to avoid the risk of errors caused by the human factor and to reduce the time spent on testing, all these types of inspections are automated as much as possible.

One type of such inspection is functional testing. Functional testing verifies that all the functions of the electronic assembly or device under inspection meet the specified requirements. This is its difference from electrical testing, which is limited to checking each component in isolation from the entire electrical circuit. During these tests, it is not only checked how the components of the assembly or device function, but also how some components and signal circuits affect others.

Functional testing is a much more complex and comprehensive process than other types of production inspection. It is purely unique to each item of manufactured products and involves a deep understanding of how all the components of the product work, not only how they should work according to their intended purpose, but also «knowing the hundreds of ways in which this chain can fail» [2].

Functional testing requires automated testing equipment that is specialized to the maximum extent possible for each product item being tested. This equipment, although created from unified blocks, requires development costs (including software) and setup.

Taking into account the fact that after optical and electrical inspection, only 5 to 7.5% of manufacturing defects can be found during functional inspection and the above mentioned high costs of such inspection, most contract electronics manufacturers try to avoid functional testing, limiting themselves to performing a combination

of optical inspection, X-ray inspection and electrical inspection.

However, there are a number of devices for which functional testing is one of the key ways to verify product quality. For these devices it is vitally important to perform functional testing, because only with the help of this type of inspection it is possible to guarantee the required product quality and reduce the manufacturer's reputational risks.

II. ANALYSIS OF SPECIFIC FEATURES

In this paper, we will focus on a class of low-power consumption components of automatic control and data acquisition systems with a built-in, non-removable power source and either a wireless data exchange interface or a liquid crystal display (LCD) for further visual reading. These devices are referred to as IoT devices and present sensors/converters of the measured physical quantity (temperature, humidity, gas concentration, etc.), recorders (loggers) or various energy metering devices, such as heat cost allocators, meters for hot/cold water, gas, and electricity consumption.

The main feature of these devices that unites them into a separate group is that they use a built-in, non-removable battery as the main, and in most cases the only power source. This cell provides them with electricity throughout their service life, which is usually long (5 to 10 years of continuous operation). This is achieved by lowering the current consumption of such devices as much as possible, including the use of ultra-low-consumption components. Currently, these devices use lithium batteries (lithium-manganese dioxide Li-MnO₂, lithium-thionyl chloride Li-SOCl₂). The reasons for their use are that these types of cells can be manufactured in various form factors (cylinder or coin), have a high energy density (0.5 kWh/kg, 1.2 kWh/l), exceptionally low self-discharge currents (approximately 1% per year) and are capable of operating in a wide range of negative and positive temperatures. The high degree of tightness allows lithium cells to be stored for 5-7 years before use.

The devices we are considering in this paper are mostly mass-produced, have a low cost, and in the event of a battery discharge, cannot be repaired or restored, but are replaced with an identical device. In this regard, the design of such devices is extremely simplified and focused on performing the main function - measuring and transmitting data to the user.

The maximum simplicity of the design of these devices eliminates all possible tools for self-diagnosis and communication with automated test equipment, because the microcontrollers used in them fully utilize all available resources to perform the main functions. Any

functions that are not directly related to the main functions require extra peripherals (additional input/output ports, analogue-to-digital converters, control interfaces, program and data memory resources), which increases the cost of microcontrollers and the cost of the device as a whole.

Such devices function by combining short intervals of activity, during which the device consumes an increased current of a few units to tens of milliamperes (usually no more than 40 mA), with long intervals of reduced consumption or 'sleep' (Low power mode or Sleep mode). In Sleep mode, the consumption is several orders down from that in the active mode and is a few microamperes (approximately 0.5 to 6 μA). Such power management is achieved by using microcontrollers that can switch off power to all their peripheral functions, reducing consumption to a minimum. During activity intervals, these devices measure physical quantities (e.g. temperature), process the data, and transmit it via interfaces if necessary. In sleep mode, only timers work, counting down the time until the sleep interval ends and the device switches to activity mode. The majority of their service life (over 97%) is spent in the low-power mode. The duration of sleep intervals can range from a few seconds to check the status of the timers, to several minutes between measurements and data processing, and even several hours between data transmissions over the wireless interface.

A diagram of the power consumption of such a device is shown in Figure 1, which clearly demonstrates sleep intervals and peaks of active consumption

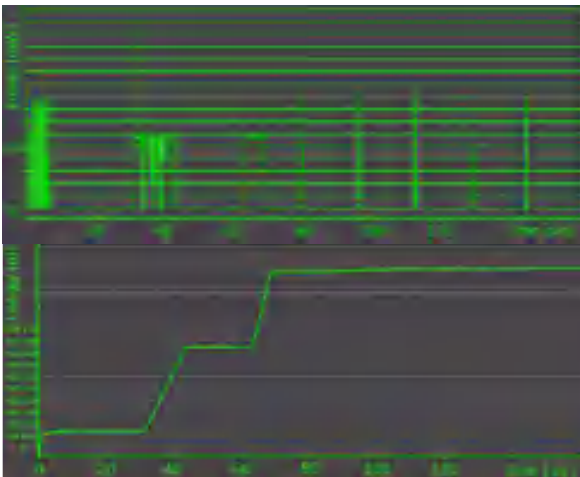


Fig. 1. Energy consumption diagram of the temperature sensor with radio transmitter

Such micropower devices are extremely sensitive to certain types of defects that may not play such a significant role in other electronic devices. One such defect may be a breakdown in the internal structure of multilayer ceramic capacitors installed in power circuits, which occurs during mechanical impacts (such as bending of the printed circuit board when it is inserted into the plastic case of the device or the impact of electrical control probes). In this case, mechanical deformation causes the destruction (cracking) of the ceramic dielectric layer between the capacitor plates as shown in Fig. 2 [3].

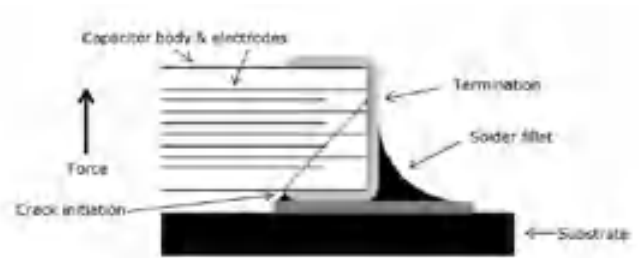


Fig. 2. Mechanical crack of capacitor

Another example of a manufacturing defect may be the presence of flux residues on the printed circuit board after assembly due to poor cleaning.

The leakage currents resulting from such damage and defects can reach values of several microamps, which are comparable to the consumption currents of the device as a whole, and reduce the service life of the battery and the device in general by several times.

Some types of battery designs, in particular the «coin» type, have technological features that can cause leakage currents in case of poor quality assembling. This is explained by the fact that the bottom side of the cell is one of the poles of the battery, and not insulated. When small metal debris, solder splashes, etc. get under the case of the battery, the protective layer of the printed circuit board may be damaged and contact may occur through metal conductive debris between the pole of the battery and the signal tracks of the printed circuit board as shown in Fig. 3. It can also be caused by poor quality manufacturing of components, e.g. welding marks on the battery terminal. As a consequence, leakage currents and short circuits may occur, resulting in higher current consumption, shorter service life and malfunctioning of the device.

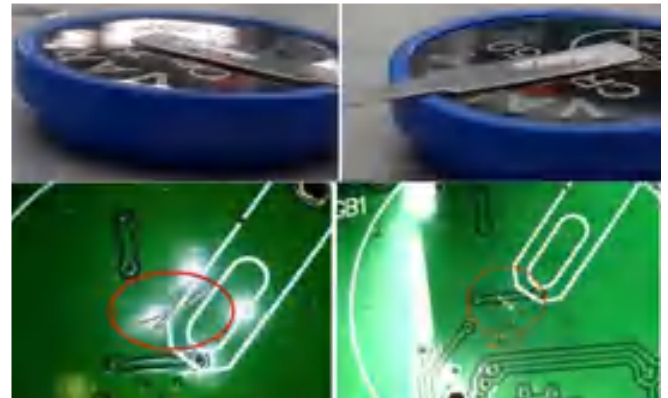


Fig. 3. Physical damage to the solder mask layer of the PCB by metal scraps

The need to prevent products from being manufactured with any of the defects listed above increases the importance of measuring device consumption currents during function testing.

The above-mentioned cyclicity of the device's operation requires that during the test, not a single measurement of the consumption current value is carried out, but rather the measurement of the average value for a certain cycle, taking into account the values of sleep currents and active consumption currents [4].

An additional factor that complicates the test is that the power supply unit of such devices, due to the

requirements of cost reduction, does not provide for any converters or stabilizers, and the DC voltage from the battery terminals is directly connected to the device power supply circuit. At the same time, firstly, the voltage of the lithium battery decreases over time and at some point falls below the minimum supply voltage of the microcontroller that controls the device, which leads to its hardware reset and, accordingly, the termination of the functioning of the entire device. Secondly, the lithium battery itself has an internal resistance of about ten ohms (which increases as the battery ageing), which at the time of peak activity of the device (during radio data transmission) will cause a significant voltage drop, which can also reduce the supply voltage of the device below the minimum level and also result in a hardware reset. To counteract this, a large-capacity electrolytic capacitor (1000 μ F or more) with low leakage currents is installed in the power supply circuit of these devices in parallel with the load. Its capacity is calculated so that the charge accumulated by it, discharging during peak activity, does not allow the supply voltage to fall below the minimum level. Accordingly, the waveform of the measured consumption current will not be pulsed, but distorted by the charges and discharges of this capacitance, and this must be taken into account when monitoring the consumption current – Fig.4.

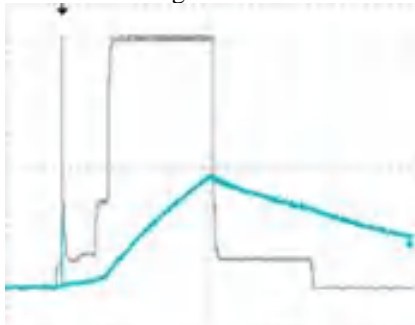


Fig. 4. Distortion of the waveform at the shunt resistor when the buffer capacitor is connected (grey - before the capacitor is connected, blue - after the capacitor is connected).

Traditional methods of measuring the current with the placement of a low-impedance shunt resistor in series with the load in the device power supply circuit and measuring the voltage drop across it, firstly, further reduce the device supply voltage and create possible risks of resetting at times of peak activity, and secondly, increase the cost of the device due to the placement of a component that will be used only once over the entire service life of the device, during testing. Other methods of measuring microcurrents are currently being considered, based, for example, on the Hall effect et al. [5, 6].

In addition, the condition of the battery itself must be taken into account to evaluate the ability of the device under test to provide the guaranteed service life, as it may have been stored in the warehouses of the supplier or manufacturer of the device for a long time before being installed in the product. In this case, it is not enough to simply measure the no-load voltage of the battery during the input test, and it is advisable to carry out this test in parallel with the measurement of the consumption current in the loaded state.

Since the devices we are considering are mass produced, one of the key points of their functional testing is the automation of this product quality inspection. This will allow to avoid the risk of ‘human factor’ errors, reduce the inspection time and, consequently, the production cycle, which in turn will affect the cost of production, as well as to accumulate, store and analyzing the measurement results for quality forecasting.

III. CONCLUSION

Thus, there is an urgent need during acceptance testing of such low-power consumption devices with built-in batteries to perform automated functional control of the guaranteed service life by monitoring the consumption currents, taking into account the periodicity of their changes, and other battery parameters, such as voltage and internal resistance, to estimate the battery life.

Therefore, it is necessary to develop new methods or upgrade existing ones to enable such quality inspection and its implementation in the production of electronic equipment.

REFERENCES

- [1] ДСТУ 3021–95. Випробування і контроль якості продукції. Терміни та визначення. Чинний від 1996-01-01. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 1995. 70 с.
- [2] Ungar L. Y. Design for testability (DFT) to overcome functional board test complexities in manufacturing test. IPC APEX Expo 2017, San Diego, 11-16 February 2017.
- [3] Teverovsky A. Cracking Problems in Low-Voltage Chip Ceramic Capacitors. NASA NEPP ASRC Federal Space and Defense, 2018. 73 p.
- [4] Martikainen O. Non-Sampling current measurement for microampere ranges. Tampere : Tampere University, 2023. 48 p.
- [5] Measuring system for microelectric power / G. Bucci et al. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. 2014. Vol. 63, no. 2. P. 410-421.
- [6] Sharon Y., Khachatryan B., Cheskis D. Towards a low current Hall effect sensor. *Sensors and Actuators A: Physical*. 2018. Vol. 279. P. 278-283.

Роль експертних систем та голосового керування в сучасному виробництві

Варвара Карташова, Артем Бронніков

Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА,
Харків, пр. Науки. 14., email: artem.bronnikov@nure.ua

Анотація: В даній статті було розглянуто вплив експертних систем та голосового керування в сучасному виробництві, а саме в приладобудуванні. Проаналізовано їх впровадження для підвищення ефективності, зниження кількості людських помилок та безпеки виробництва.

Ключові слова: експертні системи, приладобудування, голосове керування.

I. ВСТУП

Індустрія 4.0 здійснила великий крок в зміні моделі виробництва, де автоматизація відіграє важливу роль в оптимізації промислових процесів та в підвищенні загальної продуктивності. Технології автоматизації, такі як робототехніка, машинне навчання, штучний інтелект або аналітика великих даних роблять більш прогресивними звичайні виробничі операції. Ці технології дозволяють машинам та системам обмінюватися інформацією, та приймати інтелектуальні рішення в режимі реального часу, що призводить до підвищення точності, швидкості та рентабельності [1].

На рівні з цими засобами автоматизації, експертні системи та голосове керування стають більш значимими в сучасній промисловості, особливо в приладобудуванні.

Тож нижче розглянемо, що таке експертні системи та голосове керування і як вони застосовуються у виробництві.

II. ОГЛЯД ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ У ВИРОБНИЦТВІ

Експертна система, заснована на знаннях, являє собою комп'ютерну програму, яка використовує досвід та інформацію у визначеній галузі для прийняття рішень. Ця система містить в собі базу даних, яка резервує збірку інформації та правил та відтворює усі дані про проблемну область [2].

Експертна система розроблена для заміни людей-експертів в конкретній галузі, наприклад, приладобудуванні. Коли на виробництві не вистачає фахівців для проектування чи діагностики, експертна система може надавати поради та пояснення, які вже існують в базі знань в реальному часі. Додавання знань в базу даних експертної системи є основним процесом, який визначає гнучкість системи.

Існують різні способи додавання знань:

- додавання знань експертами, використовуючи інтерфейс системи та спеціальної мови для описування фактів і правил, але цей процес займає купу часу та обмежується обсягом знань фахівців;

- автоматизоване вилучення знань спроможне працювати з великими обсягами інформації та може

швидко оброблювати дані, але потребує складних інтеграцій, таких як машинне навчання або data mining;

- комбінований підхід використовує декілька методів разом, утворюючи більш якісну та комплексну систему, але вимагає великих витрат на розробку.

Власне, експертна система представляє собою комплекс знань про проблему, яку потрібно застосувати та механізм, який дозволяє використовувати ці знання для вирішення завдання в вигляді набору правил.

Одна з перших галузей, яка почала використовувати експертні системи була приладобудування. Їх почали додавати у виробництво на початку 80-х років для обслуговування та діагностики обладнання, коли складні завдання робили виключно кваліфіковані спеціалісти і компанії тільки почали впроваджувати комп'ютерні системи, замість роботи фахівців [3].

Так і зараз, експертні системи продовжують використовуватися в діагностиці, управлінні, обслуговуванні та оптимізації. Вони все частіше інтегруються в промислову діяльність підприємств та використовуються для прогнозування відхилень чи несправності обладнання ще до їх виникнення. Аналізуючи дані датчиків в режимі реального часу, ці системи можуть передбачати необхідність технічного обслуговування та скорочувати час простою, оптимізувати графіки технічного обслуговування та продовжувати термін експлуатації. Компанії зазначають зниження витрат на 30% та підвищення ефективності роботи за рахунок зменшення неочікуваних відмов [4].

Передові технології, такі як штучний інтелект або машинне навчання, використовуються для оптимізації виробничих процесів. Введення цих технологій призвело до підвищення продуктивності на 10-15% та зниженню кількості бракованих виробів [5].

Експертні системи також допомагають в контролі якості, аналізуючи виробничі дані та розпізнаючи деякі аномалії або відхилення від стандартів. Наприклад, в умовах складальної лінії на виробництві дуже складно розподілити завдання між фахівцями таким чином, щоб збалансувати робоче навантаження, беручи до уваги такі фактори, як фізичне напруження, безпека та втома. Також потрібно не забувати, що існує невизначеності, такі як, непередбачуваний час виконання роботи чи різний рівень кваліфікації фахівців. Тобто ціль експертної системи збалансувати робоче

навантаження, при цьому забезпечити безпеку експертів. Нечітка логіка дозволяє системі працювати з неоднозначними даними та може використовувати правила на основі експертних систем, наприклад: «Якщо втома робітника висока і задача потребує великих фізичних зусиль, доручити це завдання іншому фахівцю». Система містить багато критеріїв та щоб її реалізувати потрібно зібрати інформацію про робітників (фізичні дані та навички), задачі (складність та вимоги). Експертна система обробить ці дані за допомогою нечіткої логіки для оцінки співвідношення між працівниками та робочими завданнями. Далі, на основі правил, система може генерувати прийняття рішень для підвищення безпеки та ефективності. Завжди в експертних системах є зворотній зв'язок зі спеціалістами для поновлення вже існуючої інформації. Система може адаптуватися до виробничих змін, що робить її гнучкою в рухливих умовах [6].

III. ГОЛОСОВЕ КЕРУВАННЯ У ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСАХ

Технологія розпізнавання мови є важливою частиною між взаємодією людини та комп'ютера, забезпечуючи безперервний зв'язок між користувачем та приладами за допомогою усних команд і запитів. За останні кілька десятиліть відбувся значний прогрес в обробці та розумінні природної мови, який перетворив розпізнавання голосу з виняткової технології до широкого використання у повсякденному житті [7].

Системи розпізнавання голосу дозволяють споживачам взаємодіяти з технологіями, просто розмовляючи з нею, уможливаючи запити по гучному зв'язку, нагадування та інші прості завдання. Розпізнавання голосу може ідентифікувати та розрізнити голоси за допомогою програм автоматичного розпізнавання мови, такі як ASR (Automatic Speech Recognition), Microsoft Azure Speech Service, Kaldi, Google Cloud Speech-to-Text та інші.

Система розпізнавання голосу використовує технологію для оцінки біометричних характеристик вашого голосу. Це включає в себе частоту і потік вашого голосу, а також ваш акцент. Кожне слово, яке ви вимовляєте, розбивається на сегменти з декількох тонів. Потім це оцифровується і перекладається, щоб створити ваш власний унікальний голосовий шаблон.

В приладобудуванні, голосове керування змінило спілкування операторів та інженерів з машинами та системами, воно забезпечує роботу без застосування рук, підвищує ефективність та безпеку в умовах підвищеної небезпеки. На хімічних заводах чи галузях важкого машинобудування, де робітники можуть мати обмежену рухливість чи видимість (наприклад, при носінні захисних костюмів), розпізнавання мови підвищує безпеку. Фахівці можуть надавати команди для керування машинами та аварійні команди (наприклад зупинити машину, ініціювати протоколи вимкнення), зменшуючи необхідність фізичного контакту з панелями управління, що особливо корисно в небезпечних або

стерильних середовищах. Також це корисно в диспетчерських або на станціях віддаленого моніторинга та покращує швидкість реагування. Системи з НМІ (Human-Machine Interface) з використанням голосу можуть активувати сигнали тривоги, запускати процеси та зупинити операції, коли ситуація потребує негайних дій [7].

В робототехніці голосові команди можуть використовуватися для управління роботами або на складальних лініях, що дозволяє прискорити переналадження та зменшити час простою. Розпізнавання мови, інтегроване в верстати з числовим програмним управлінням дозволяє операторам надавати команди для виконання точних промислових завдань.

Інженери, які виконують діагностику та профілактичне обслуговування, можуть надавати голосові команди для збору інформації, управління діагностичними інструментами та регулювання налаштувань приладів. Також, системи голосового керування можуть забезпечити зворотній зв'язок та сповіщення в реальному часі, які, в свою чергу, повідомляють фахівців о продуктивності машин та систем, допомагаючи вчасно усунути несправності.

Заводи, які оснащені датчиками промислового Інтернету речей (IoT), можуть керуватися за допомогою розпізнавання мовлення. Наприклад, оператори можуть контролювати температуру, тиск та інші дані датчиків за допомогою голосових команд, що дозволяє ефективно контролювати декілька параметрів без фізичної участі. Системи використовують голосові команди для управління бездротовими датчиками, забезпечуючи централізоване керування та зворотний зв'язок у реальному часі з різних ділянок підприємства.

Як і багато переваг, так і недоліки мають системи голосового керування:

- промислові підприємства являють собою шумні середовища і цей шум може знизити точність голосових команд;

- системи розпізнавання мовлення можуть відчувати складність з різними акцентами та вадами мови, тому потрібно використовувати просунуті системи, які навчені на багатомовних та акцентних наборах даних;

- голосове керування потребує надійних механізмів безпеки, щоб уникнути несанкціонованого втручання в систему чи підміни голосу.

Голосове керування має успішне впровадження у виробництво. Наприклад, завод Siemens інтегрував голосове управління в свої промислові робототехнічні системи, в виробничих контролерах Simatic робітники можуть надавати голосові інструкції для управління роботизованими руками та іншими машинами на складальних лініях. Для цього фахівці використовують спеціальні гарнітури для подання команд, типу «Взяти предмет» або «Перемістити в становище», керуючи роботами без ручного введення [8].

Bosch інтегрувала голосове розпізнавання до своїх систем контролю якості на заводах з виробництва автомобільних складових. Інспектори використовують голосові команди для запуску

візуальних перевірок, доступу до даних та реєстрації результатів, не перериваючи свій робочий процес. Інспектор Bosch може сказати: «Збільшити деталь 5» або «Зареєструвати дефект в елементі 12» під час перевірки якості, що дозволяє керувати системою перевірки без допомоги рук. Так голосове керування скорочує час перевірки, підвищує точність виявлення дефектів та оптимізує процес контролю якості [9].

Ford Motor Company впровадила голосове керування для збірки та діагностики транспортних засобів. Спеціалісти використовують Microsoft HoloLens із вбудованим голосовим керуванням для доступу до даних у реальному часі під час складання транспортних засобів або проведення перевірок контролю якості. Робітник на виробничій лінії може використовувати голосові команди для активації інструментів, перегляду 3D-схем або перевірки стану деталей, і все це не залишаючи свого робочого місця. Перевагами цього підходу є безконтактний доступ до інформації, підвищена точність збирання складних компонентів та підвищена продуктивність праці [10].

IV. ВЗАЄМОДІЯ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ І ГОЛОСОВОГО КЕРУВАННЯ

Експертні системи та голосове управління можуть ефективно працювати разом, забезпечуючи операторам доступ до важливої інформації та дозволяючи їм виконувати завдання швидко та зручно. Експертні системи збирають та аналізують дані від обладнання, включаючи виробничі показники, стан машин та виробничі цикли. Оператори можуть використовувати голосові команди, щоб запитувати інформацію, наприклад, про поточний стан обладнання або рекомендації щодо обслуговування. На основі аналізу даних експертна система надає поради щодо оптимізації процесів, усунення несправностей або виконання операцій, що дозволяє швидко реагувати на зміни у виробничому середовищі.

Переваги цих інтеграцій:

- швидкий доступ до інформації дозволяє операторам приймати рішення на основі актуальних даних, що скорочує час простою;
- автоматичне надання рекомендацій та можливість голосової взаємодії зменшують ймовірність людських помилок, пов'язаних із введенням даних;
- системи можуть адаптуватися до змін у виробничих процесах, дозволяючи операторам легко перемикатися між завданнями та отримувати оновлення у реальному часі;
- нові співробітники можуть швидше адаптуватися, оскільки голосові команди та експертні рекомендації роблять управління зрозумілішим.

Недоліки впровадження експертних систем і голосового керування:

- положення на голосові команди та експертні системи може спричинити проблеми у разі збою обладнання або програмного забезпечення;
- оператори повинні бути навчені як взаємодіяти з системою, так і розуміти її рекомендації, що може зайняти час та ресурси;

– інтеграція таких систем може вимагати значних інвестицій у технології та навчання персоналу;

– хоча експертні системи можуть надавати рекомендації, вони можуть не завжди враховувати контекст або умови, що змінюються, та це вимагає людського втручання для прийняття остаточних рішень.

Впровадження голосових інтерфейсів та експертних систем на виробництві стало важливим кроком до підвищення ефективності та гнучкості процесів. У різних компаніях, таких як ABB, Mitsubishi Electric, Rockwell Automation, KUKA та Honeywell, ці технології інтегровані у різні аспекти виробництва та управління. Робітники можуть використовувати голосові команди для отримання інформації про стан обладнання, управління роботизованими системами, моніторингу та діагностики, а також для управління складськими процесами. Експертні системи у цих додатках аналізують дані, надають рекомендації та допомагають швидко реагувати на зміни.

Ці інновації призводять до збільшення продуктивності, скорочення часу на прийняття рішень, підвищення безпеки та точності роботи, а також покращують взаємодію між операторами та машинами.

Наприклад, Mitsubishi Electric застосовує голосові команди для керування роботизованими системами на складальних лініях. Експертні системи забезпечують аналіз даних про продуктивність, і працівники можуть вголос ставити запитання або вносити зміни до параметрів роботи. Це підвищує гнучкість виробництва та покращує взаємодію між операторами та машинами [11].

Rockwell Automation інтегрує голосові технології у системи управління для моніторингу та діагностики обладнання. Оператори можуть використовувати голосові команди для доступу до інформації про стан машин та отримувати рекомендації від експертної системи для усунення несправностей. Це призводить до скорочення часу на діагностику та покращення безпеки на виробництві.

KUKA використовує голосове керування взаємодії з роботами у виробничих процесах. Експертні системи аналізують завдання та можуть запропонувати найефективніші шляхи виконання операцій, а оператори керують роботами за допомогою голосових команд. В результаті збільшується точність роботи та скорочується часу навчання нових співробітників [12].

V. ВИСНОВКИ

Інтеграція експертних систем та голосового управління на виробництві пропонує безліч переваг, включаючи збільшення ефективності, покращення безпеки та зниження помилок. Однак слід враховувати і потенційні недоліки, такі як залежність від технології та складності навчання. З правильним підходом та впровадженням ці системи можуть значно покращити виробничі процеси та робоче середовище. Інтерфейси голосового керування дозволяють операторам взаємодіяти з системами за допомогою команд природньою мовою. Це полегшує

роботу без допомоги рук, що особливо корисно в середовищах, де ручне введення ускладнене. Експертні системи можуть аналізувати дані з обладнання у реальному часі та пропонувати конкретні дії (наприклад, регулювання, етапи обслуговування). Оператори можуть миттєво виконувати ці рекомендації за допомогою голосових команд, що зменшує затримки, пов'язані з ручним введенням.

Синергія експертних систем та голосового керування призводить до поліпшення продуктивності, гнучкості та надійності виробничих процесів, дозволяючи підприємствам адаптуватися до умов ринку, що швидко змінюються, і вимогам клієнтів.

Розвиток машинного навчання та ШІ покращить точність рекомендацій експертних систем, дозволяючи їм адаптуватися до специфіки виробничих процесів та переваг операторів. Голосові інтерфейси ставатимуть все інтуїтивнішими, включаючи підтримку кількох мов та акцентів, що спростить взаємодію для багатонаціональних команд. У майбутньому ми можемо очікувати ширшої автоматизації виробничих процесів, де голосові команди будуть використовуватися для управління автономними системами, що підвищать ефективність та зменшать потребу в людському втручанні. Інтеграція голосових технологій у навчання нових співробітників стане стандартом, дозволяючи прискорити процес адаптації та підвищення кваліфікації. У результаті комбінація експертних систем та голосового управління продовжить трансформувати виробничі процеси, створюючи більш ефективні, безпечні та адаптивні виробничі середовища.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] A. K. Madan, A. Solanki, O. S. Sahay, O. Vinayak, O. Jha, N. Khandelwal, "Industry 4.0 and automation in manufacturing: An extensive overview." *International Journal of Research Publication and Reviews*, 2582-7421, pp. 3999-4001, 2024.
- [2] T. C. E. Cheng, D. Bizruchak, "Expert systems and production/operations management." *Department of Actuarial and Management Sciences, University of Manitoba, Winnipeg, Canada*, pp. 250-253, Aug. 1991.
- [3] T. Kuo, A. Mital, S. Anand, "An introduction to expert systems in production and manufacturing engineering: The structure, development process and applications." *Handbook of Expert Systems Applications in Manufacturing Structures and Rules*, pp. 6-15, 1994.
- [4] B. Xing, T. Marwala, "Smart maintenance for human-robot interaction: An intelligent search algorithmic perspective," *Smart Maintenance for Human-Robot Interaction*, pp. 21-31, 2017. DOI: 10.1007/978-3-319-67480-3.
- [5] Z. B. Akhtar, "Artificial intelligence (AI) within manufacturing: An investigative exploration for opportunities, challenges, future directions," *Metaverse*, vol. 5, no. 2, pp. 2731, 2024. DOI: 10.54517/m.v5i2.2731.
- [6] E. Ghorbani, S. Keivanpour, F. Sekkay, D. Imbeau, "Fuzzy expert system for ergonomic assembly line worker assignment and balancing problem under uncertainty," *Journal of Industrial and Production Engineering*, pp.1-5, August 2024. DOI: 10.1080/21681015.2024.2389963.
- [7] T. Salunkhe, N. I. Jamadar, and S. B. Kivade, "Prediction of Remaining Useful Life of Mechanical Components-A Review," vol. 3, no. 6, pp.125-135, 2018.
- [8] "Voice Assistant in Automation: A New Era for Machine Building," Siemens. URL: <https://www.siemens.com/global/en/company/stories/industry/factory-automation/voiceassistant-automation-machinebuilding-fps.html>.
- [9] "Voice Control Solutions," Bosch Mobility. URL: <https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/infotainment/voice-control/>.
- [10] N. Rychtycky, "Intelligent systems for manufacturing at Ford Motor Company," *Intelligent Systems*, vol. 22, no. 1, pp. 16-19, January 2007. DOI: 10.1109/MIS.2007.13.
- [11] Mitsubishi Electric Corporation, "Mitsubishi Electric develops teaching-less robot system technology," *Mitsubishi Electric News*, 2023. URL: www.MitsubishiElectric.com/news/.
- [12] "KUKA zeigt Premieren auf der CIIF 2018," KUKA. URL: <https://www.kuka.com/en-se/company/press/news/2018/08/kuka-zeigt-premieren-auf-der-ciif-2018>.

Інноваційний підхід до візуалізації: розробка автоматизованого модуля для збору, обробки та збереження поточних даних

Антон Паньков

Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки УКРАЇНА,
61166, Харків, пр. Науки 14., email: anton.pankov@nure.ua

Анотація: Дана робота пропонує новий підхід до розробки автоматизованого модуля для ефективного збору, обробки та збереження поточних даних з метою створення зручного інструменту для їх візуалізації. Застосування інноваційних технологій та методів аналізу дозволяє вирішити проблеми, пов'язані з неоднорідністю та обсягом даних, що обробляються, та надає зручний інтерфейс для ефективної взаємодії користувача.

Ключові слова: автоматизований модуль, збір даних, обробка даних, візуалізація, інновації.

I. ВСТУП

В сучасному світі обсяг даних, які потребують обробки та аналізу, значно зріс. Ефективна візуалізація даних стала ключовим аспектом у процесі прийняття рішень як у бізнесі, так і в наукових дослідженнях. Проте традиційні методи обробки та візуалізації даних часто не справляються з сучасними викликами, що створює необхідність у розробці нових інноваційних рішень. З появою великих даних (Big Data) зросла потреба у високоефективних інструментах для їх обробки та візуалізації. Автоматизація процесів збору та аналізу даних дозволяє значно підвищити ефективність роботи аналітичних відділів та уникнути людських помилок, що часто виникають при використанні традиційних методів.

Автоматизований модуль для збору, обробки та збереження поточних даних — це програмне рішення, яке дозволяє автоматизувати весь цикл роботи з інформацією, починаючи від її збору з різних джерел і закінчуючи зберіганням у зручному для подальшої обробки форматі. Такий модуль дозволяє скоротити час і зусилля, необхідні для обробки великих обсягів даних, підвищуючи точність і надійність отриманих результатів. Його розробка є важливим кроком у вирішенні сучасних викликів, пов'язаних із великими даними, та сприяє підвищенню ефективності візуалізації та аналізу інформації.

II. ЗБІР, ОБРОБКА ТА ЗБЕРЕЖЕННЯ ДАНИХ

Модулі цього типу є комплексною системою, яка виконує кілька важливих етапів роботи з інформацією. Цей підхід дозволяє максимально ефективно обробляти великі обсяги інформації, що надходить із різних джерел, та забезпечувати її збереження у зручному форматі для подальшого аналізу та візуалізації.

Модуль може отримувати дані з різних джерел у режимі реального часу, використовуючи як традиційні, так і сучасні методи збору інформації [1]. Наприклад, в газовій промисловості автоматизовані модулі інтегруються з IoT-сенсорами [2], встановленими на трубопроводах, газових свердловинах або компресорних станціях. Ці сенсори вимірюють критичні параметри, такі як тиск, температура, витрата газу, рівень вологості, склад газу тощо. Завдяки цьому модуль постійно отримує оновлення про стан системи, що дозволяє миттєво реагувати на можливі відхилення від норми, виявляти потенційні ризики та запобігати аваріям. Такий підхід зменшує необхідність ручного втручання, а також забезпечує безперервність і точність моніторингу навіть у важкодоступних або небезпечних для людей місцях.

Крім того, модулі можуть отримувати інформацію з різноманітних систем керування та баз даних підприємства. Наприклад, системи SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) дозволяють відстежувати та контролювати промислові процеси, а також збирати дані з різних технічних об'єктів та обладнання. Ці системи інтегруються з автоматизованими модулями для збору даних, що дає змогу проводити повний аналіз процесів у реальному часі та підтримувати стабільну роботу інфраструктури.

Важливим аспектом є збір даних із зовнішніх джерел. Для бізнес-аналітики, наприклад, дані можуть надходити від API сторонніх сервісів, таких як соціальні мережі або CRM-системи. Одним із поширених прикладів є збір інформації з веб-сайтів через API таких платформ, як Twitter, Facebook або Google Analytics. Модуль автоматично отримує потоки даних, аналізуючи поведінку користувачів, вподобання, зворотний зв'язок або тенденції на ринку. Наприклад, для маркетингових кампаній автоматизований збір даних дозволяє швидко оцінювати рівень взаємодії з клієнтами або реагувати на зміни у вподобаннях аудиторії.

Збір даних виконується за допомогою технологій потокової передачі даних, таких як Apache [3] Kafka, RabbitMQ або MQTT, що забезпечує мінімальні затримки при передачі інформації між джерелами та модулями. Ці системи підтримують високу пропускну здатність, здатні обробляти великі обсяги даних і забезпечують швидку передачу інформації для негайного використання у процесі обробки та аналізу. Такий підхід дозволяє підприємствам не тільки своєчасно отримувати дані, а й

використовувати їх для швидкого прийняття рішень, підвищуючи ефективність бізнес-процесів.

Після отримання даних починається етап їх обробки, який включає кілька рівнів. Спочатку дані очищуються від "шуму", тобто від зайвої або пошкодженої інформації. Наприклад, при зборі даних з сенсорів, що вимірюють погодні умови, можуть бути присутні некоректні показники, зумовлені збоєм у передачі або несправністю сенсора. Ці дані відсіюються під час обробки.

Наступним кроком є нормалізація даних. У випадку з даними про погодні умови, показники температури можуть бути представлені у різних одиницях виміру (Цельсій або Фаренгейт). Модуль автоматично приводить усі дані до єдиного формату для подальшого аналізу. Аналогічно, в системах бізнес-аналітики, такі дані як ціни або обсяги продажів можуть надходити у різних валютах або форматах, тому їх також потрібно приводити до єдиного стандарту.

Для більш складних завдань модулі можуть використовувати алгоритми машинного навчання або штучного інтелекту [4]. Наприклад, у фінансовому аналізі автоматизовані модулі можуть ідентифікувати аномальні транзакції, що можуть свідчити про шахрайство, або прогнозувати тренди на основі історичних даних. Інший приклад — обробка медичних даних, де модулі можуть автоматично аналізувати електрокардіограми та виявляти потенційні ризики для здоров'я пацієнтів.

Модуль забезпечує безперервне збереження зібраних даних у хмарних чи локальних сховищах, залежно від потреб користувача. Важливою частиною процесу є забезпечення надійності та безпеки даних, що включає регулярне резервне копіювання, а також підтримку різних форматів зберігання для зручності подальшого використання. Також сучасні автоматизовані модулі легко інтегруються з інструментами для візуалізації даних, що дозволяє безперервно моніторити результати та представляти їх у зрозумілому графічному форматі. Модуль також забезпечує реальну автоматизацію процесів, знижуючи втручання людини та підвищуючи продуктивність.

На етапі збереження модуль забезпечує структурування та архівування даних у локальних або хмарних сховищах. Наприклад, зібрані дані можуть бути збережені у форматах, таких як CSV, JSON або SQL-бази, що дозволяє легко інтегрувати їх з іншими системами для подальшого аналізу. Хмарні рішення, такі як AWS або Google Cloud, дозволяють зберігати величезні обсяги даних з можливістю швидкого доступу до них у будь-який час.

Важливим аспектом є забезпечення безпеки та надійності збереження даних. Модулі використовують шифрування для захисту даних при передачі та збереженні, а також резервне копіювання для відновлення у разі втрати або пошкодження інформації. Також передбачена можливість налаштування прав доступу, що дозволяє контролювати, хто може редагувати, переглядати або завантажувати дані.

III. ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ДАНИХ

Сучасні програмні рішення для візуалізації даних пропонують широкий набір інструментів, які дають змогу ефективно перетворювати складні масиви інформації у зрозумілі графічні форми [5]. Найпопулярніші платформи, такі як Tableau, Power BI, D3.js або Grafana, дозволяють легко інтегрувати зібрані дані з базами та автоматизованими модулями, надаючи користувачам можливість миттєво отримувати аналітичні результати у зрозумілому вигляді. Наприклад, у газовій промисловості візуалізація може допомагати відображати на карті місця витоків або проблемні ділянки трубопроводів, що дозволяє оперативно локалізувати проблему і прийняти рішення щодо ремонту або заміни обладнання. Інтерактивні дашборди надають можливість користувачам налаштовувати параметри фільтрів або змінювати часові періоди, що дозволяє гнучко аналізувати дані у реальному часі.

Важливою особливістю сучасної візуалізації є здатність не лише представити дані, але й робити це у зрозумілий та інтуїтивний спосіб, що полегшує прийняття рішень на різних рівнях управління. Наприклад, керівники підприємств або інженери можуть швидко оцінити ефективність роботи системи, порівнюючи дані за різні періоди, ідентифікуючи ключові тренди та відхилення. Візуалізація також допомагає зосередитися на критичних індикаторах, що дає змогу виявляти потенційні проблеми до їх виникнення. Так, за допомогою аналізу історичних даних, можна прогнозувати необхідність технічного обслуговування обладнання, що знижує ризики непередбачуваних поломок і оптимізує витрати на ремонт.

Однією з головних інновацій у сфері візуалізації є інтеграція елементів штучного інтелекту (ШІ), що дозволяє значно підвищити якість аналізу та інтерпретації даних. Використання ШІ для візуалізації відкриває нові можливості у прогнозуванні, автоматизації аналізу та виявленні аномалій [4]. Наприклад, за допомогою методів машинного навчання, модулі можуть автоматично аналізувати великі масиви даних і виявляти приховані закономірності, які важко або неможливо виявити вручну. Це особливо корисно для галузей, де обсяги даних величезні, як у газовій промисловості, де сенсори та інші IoT-пристрої постійно генерують потоки інформації.

ШІ також може автоматизувати процес створення візуалізацій, роблячи їх більш адаптивними до потреб користувача. Наприклад, в системах управління можна використовувати алгоритми для автоматичного створення індивідуальних дашбордів, які будуть відображати найбільш важливі показники в режимі реального часу. Це дозволяє персоналізувати аналіз для різних відділів компанії, забезпечуючи кожного користувача лише тією інформацією, яка йому потрібна для прийняття ефективних рішень.

Інтерактивні платформи, що інтегрують технології ШІ, також можуть використовувати розширену

аналітику для підготовки рекомендацій на основі зібраних даних. Наприклад, система може не лише виявити потенційні проблеми у трубопроводі, але й запропонувати конкретні кроки для вирішення ситуації, використовуючи історичні дані, прогнози та аналітичні моделі. Це суттєво знижує навантаження на персонал і покращує точність прийняття рішень.

IV. ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ

Автоматизовані модулі для збору, обробки та збереження даних стали важливим елементом сучасних підприємств завдяки їх здатності покращувати ефективність управління інформацією. Однак, як і будь-які інноваційні технології, вони мають свої переваги та певні виклики. Оцінка сильних та слабких сторін допоможе краще зрозуміти їхню цінність для різних сфер діяльності.

Автоматизовані модулі мають ряд переваг:

- Швидкість обробки даних: Модулі здатні працювати в режимі реального часу, що дозволяє миттєво отримувати інформацію та реагувати на зміни в процесах, запобігаючи аваріям або оптимізуючи роботу.

- Зниження людського фактору: Автоматизація мінімізує потребу в ручній обробці даних, зменшуючи ризик людських помилок та підвищуючи загальну точність і надійність роботи систем.

- Інтеграція з іншими системами: Модулі легко інтегруються з існуючими IoT-системами, базами даних, CRM та ERP-платформами, що дозволяє підприємствам працювати в єдиній екосистемі.

- Оптимізація ресурсів: Автоматизовані процеси дозволяють економити час та людські ресурси, зменшуючи потребу у ручній обробці даних і підвищуючи загальну продуктивність компанії.

- Підвищення ефективності аналізу: Модулі забезпечують постійний збір та аналіз великих обсягів даних, що дозволяє отримувати цінну інформацію для бізнес-рішень і стратегічного планування.

Однак, є і певні виклики та недоліки:

- Висока вартість впровадження: Початкові витрати на встановлення модулів можуть бути значними, особливо для великих підприємств із розгалуженими мережами сенсорів та джерел даних.

- Складність налаштування та обслуговування: Інтеграція модулів з існуючими системами може бути технічно складною та вимагати кваліфікованих фахівців для їхньої підтримки, що підвищує операційні витрати.

- Залежність від стабільного інтернет-з'єднання: У випадках поганого з'єднання або відсутності доступу до мережі може виникати затримка в зборі та обробці даних, що впливає на точність та своєчасність прийняття рішень.

- Можливість технічних збоїв: Хоча модулі створені для надійної роботи, існує ризик технічних збоїв або помилок програмного забезпечення, що може вплинути на безперебійну роботу системи.

Загалом, автоматизовані модулі є потужним інструментом для покращення продуктивності та ефективності підприємств, але їх впровадження та

експлуатація потребують ретельного планування та ресурсів.

V. ВИСНОВКИ

У даному матеріалі проведено аналіз актуальності розробки автоматизованих модулів для збору, обробки та збереження поточних даних, а також розглянуто основні етапи їхньої роботи, включаючи можливості візуалізації даних. Окрім цього, було досліджено переваги і недоліки таких систем, що дозволяє краще зрозуміти їхнє місце у сучасних бізнес-процесах.

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що автоматизовані модулі відіграють ключову роль у підвищенні ефективності управління даними, забезпечуючи швидкий доступ до інформації у реальному часі та покращуючи процес прийняття рішень. Однак важливо враховувати певні виклики, такі як висока вартість впровадження та складність технічного обслуговування, які можуть вимагати додаткових ресурсів для їхньої оптимальної роботи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

[1] С. Журавель, С. Думич, О. Шпур, Дослідження методів збору та обробки даних в розподілених інформаційних системах. *Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія*. № 1 (1), С. 20–38 (2021).

[2] В. В. Стаценко, О. П. Бурмістенков, Т. Я. Біла, Д. В. Стаценко, Розроблення комп'ютерної централізованої системи збору даних від аналогових датчиків, *Вісник Хмельницького національного університету*, №3, 2021 (297).

[3] В. В. Стецюк Т. В. Гришук, Сучасні методи обробки потокових даних, *Вінницький національний технічний університет* 2019.

[4] Аналіз даних і ШІ: як це працює. [Електронний ресурс]; режим доступу (<https://claspo.io/ua/blog/data-analytics-ai-how-it-is-used/>) 2024.

[5] Гелілів В., Полотай О., Особливості візуалізації даних, *кафедра управління інформаційною безпекою Львівського державного університету безпеки життєдіяльності* 2020.

Аналіз існуючих методів підтримки прийняття рішень у віддаленому управлінні виробництвом

Олег Посашков, Олександр Цимбал

1. Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА,
м. Харків, пр. Науки, 14, e-mail: oleh.posashkov@nure.ua

2. Факультет АКТ, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, м. Харків, пр. Науки, 14.
e-mail: oleksandr.tsymbal@nure.ua

Анотація: Дослідження присвячено аналізу сучасних методів підтримки прийняття рішень у віддаленому управлінні виробництвом. Розглянуто експертні системи, методи аналізу даних, імітаційне моделювання, системи на основі нечіткої логіки та штучного інтелекту. Визначено переваги та обмеження кожного підходу. Обґрунтовано ефективність гібридних систем, що поєднують різні методи. Окреслено перспективи розвитку систем підтримки прийняття рішень у контексті цифровізації виробництва та Індустрії 4.0.

Ключові слова: віддалене управління виробництвом, системи підтримки прийняття рішень, штучний інтелект, великі дані, імітаційне моделювання, нечітка логіка, експертні системи, гібридні системи.

I. ВСТУП

В умовах глобалізації та цифровізації економіки віддалене управління виробництвом стає дедалі актуальнішим. Воно дає змогу оптимізувати виробничі процеси, знижувати витрати і підвищувати ефективність підприємств. Ключовим елементом такого управління є системи підтримки прийняття рішень (СППР), що забезпечують керівників і фахівців необхідною інформацією для ухвалення обґрунтованих рішень [1].

Метою цього дослідження є аналіз наявних методів підтримки прийняття рішень у контексті віддаленого управління виробництвом, виявлення їхніх переваг і недоліків, а також визначення перспективних напрямів розвитку.

II. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ СППР У ВІДДАЛЕНОМУ УПРАВЛІННІ ВИРОБНИЦТВОМ

Одним з найпоширеніших методів є використання експертних систем. Ці системи базуються на знаннях експертів у предметній області та здатні імітувати процес прийняття рішень людиною. У контексті дистанційного управління виробництвом експертні системи можуть бути використані для діагностики несправностей обладнання, оптимізації виробничих процесів, планування ресурсів [2]. Однак вони мають обмеження, пов'язані з трудомісткістю створення та оновлення бази знань.

Іншим поширеним методом є використання систем, заснованих на аналізі великих даних і машинному навчанні. Ці системи здатні обробляти величезні обсяги інформації, що надходить з датчиків та інших

джерел, виявляти приховані закономірності та надавати рекомендації на основі історичних даних та поточної ситуації [3]. Перевагою таких систем є їхня здатність навчатися та адаптуватися до мінливих умов. Однак вони потребують значних обчислювальних ресурсів та якісних наборів даних для навчання.

Методи імітаційного моделювання також широко використовуються в СППР для віддаленого управління виробництвом. Вони дозволяють створювати віртуальні моделі виробничих процесів і проводити експерименти для оцінки різних сценаріїв і стратегій управління [4]. Це особливо корисно при плануванні змін у виробничих системах або оптимізації існуючих процесів. Однак створення точних і детальних імітаційних моделей може бути складним завданням і вимагати значних часових і фінансових витрат.

Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень на основі нечіткої логіки також використовуються у віддаленому управлінні виробництвом [5]. Ці системи здатні працювати в умовах невизначеності та неповноти інформації, що часто зустрічається в реальних виробничих умовах. Їх можна використовувати для управління складними технологічними процесами, оптимізації режимів роботи обладнання, прогнозування якості продукції. Однак створення таких систем вимагає глибокого розуміння як предметної області, так і принципів нечіткої логіки.

В останні роки все більшого поширення набувають методи, засновані на штучному інтелекті (ШІ) та технологіях глибокого навчання. Ці методи дозволяють створювати СППР, які можуть не тільки аналізувати поточну ситуацію, але й прогнозувати майбутні події, виявляти аномалії та пропонувати оптимальні рішення в режимі реального часу [6]. Наприклад, системи на основі нейронних мереж можна використовувати для прогнозування попиту на продукцію, оптимізації ланцюгів поставок, інтелектуального обслуговування обладнання. Однак впровадження таких систем вимагає значних інвестицій і наявності кваліфікованих фахівців з ШІ.

Важливим аспектом сучасних СППР в дистанційному управлінні виробництвом є інтеграція різних джерел даних і методів аналізу. Гібридні системи, що поєднують елементи експертних систем, машинного навчання та імітаційного моделювання, дозволяють використовувати переваги кожного з підходів і компенсувати їх недоліки. Такі системи здатні забезпечити комплексну підтримку прийняття

рішень на всіх рівнях управління виробництвом, від оперативного до стратегічного [7].

Окремої уваги заслуговують методи візуалізації даних та результатів аналізу в СППР. Використання інтерактивних дашбордів, 3D-моделей виробничих процесів, технологій віртуальної реальності дозволяє особам, які приймають рішення, швидко оцінювати ситуацію і розуміти наслідки різних варіантів дій. Це особливо важливо при віддаленому управлінні, коли немає можливості безпосереднього спостереження за виробничими процесами.

III. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТА ІНТЕГРАЦІЇ СППР В УМОВАХ ІНДУСТРІЇ 4.0

Цифрова трансформація виробництва створює нові можливості та виклики для СППР. У контексті Індустрії 4.0 СППР стають все більш інтелектуальними, автономними та інтегрованими. Основні тенденції включають:

Підвищення рівня автоматизації прийняття рішень:

- впровадження алгоритмів машинного навчання для автоматичного прийняття рішень у рутинних операціях;

- розробка систем, здатних самостійно оптимізувати виробничі процеси без постійного втручання людини;

- створення "розумних" фабрик, де більшість операційних рішень приймаються автоматично.

Розширення можливостей прогнозування та превентивного управління:

- використання передових алгоритмів прогнозування аналітики для передбачення потенційних проблем;

- впровадження систем раннього попередження, що дозволяють запобігати виробничим збоям;

- розробка моделей оптимізації, що враховують довгострокові наслідки прийнятих рішень.

Збільшення швидкості обробки даних та прийняття рішень у реальному часі:

- використання технологій обробки потокових даних для миттєвого реагування на зміни;

- впровадження edge computing для зменшення затримок при обробці критично важливої інформації;

- розробка алгоритмів, здатних приймати оптимальні рішення в умовах обмеженого часу.

Покращення адаптивності систем до змінних умов виробництва:

- створення гнучких виробничих ліній, здатних швидко перенастроюватися під нові завдання;

- розробка СППР, що враховують динамічні зміни ринкового попиту та умов поставок;

- впровадження систем, що самонавчаються та постійно вдосконалюють свої алгоритми на основі нових даних.

Інтеграція СППР з іншими бізнес-системами:

- тісна взаємодія з erp, crm та scm системами для комплексного управління підприємством;

- створення єдиного інформаційного простору, що об'єднує всі аспекти діяльності компанії;

- розробка інтерфейсів, що забезпечують безшовну інтеграцію різних систем та джерел даних.

Розвиток візуалізації та інтерфейсів користувача:

- створення інтуїтивно зрозумілих дашбордів для швидкого огляду ключових показників;

- впровадження технологій віртуальної та доповненої реальності для покращення сприйняття інформації;

- розробка адаптивних інтерфейсів, що підлаштовуються під потреби конкретного користувача.

Ці тенденції призводять до створення більш гнучких та ефективних виробничих систем, здатних швидко реагувати на зміни ринкових умов та вимог споживачів. СППР нового покоління не лише надають інформацію для прийняття рішень, але й активно беруть участь у процесі управління, пропонуючи оптимальні рішення та автоматично реалізуючи їх у багатьох випадках.

Інтеграція СППР з IoT та PoT відкриває нові горизонти для віддаленого управління виробництвом. Ця синергія створює потужну екосистему, яка дозволяє оптимізувати всі аспекти виробничого процесу:

Збір та аналіз даних у реальному часі:

- встановлення мережі сенсорів та датчиків для постійного моніторингу всіх аспектів виробництва;

- використання технологій великих даних для обробки та аналізу величезних обсягів інформації;

- впровадження алгоритмів машинного навчання для виявлення прихованих закономірностей у даних.

Створення "цифрових двійників":

- розробка детальних віртуальних моделей виробничих процесів та обладнання;

- використання цифрових двійників для симуляції різних сценаріїв та оптимізації процесів;

- постійне оновлення моделей на основі реальних даних для підвищення їх точності.

Оптимізація ланцюгів поставок та управління запасами:

- відстеження руху матеріалів та готової продукції в режимі реального часу;

- автоматичне коригування планів виробництва та закупівель на основі актуальних даних;

- впровадження систем динамічного ціноутворення та управління попитом.

Покращення якості продукції:

- постійний моніторинг параметрів якості на всіх етапах виробництва;

- автоматичне коригування виробничих процесів для забезпечення стабільної якості;

- використання технологій машинного зору та AI для виявлення дефектів.

Енергоефективність та екологічність:

- моніторинг та оптимізація енергоспоживання виробничого обладнання;

- автоматичне регулювання режимів роботи систем опалення, вентиляції та кондиціонування;

- відстеження та мінімізація викидів та відходів виробництва.

Покращення безпеки праці:

- використання носимих пристроїв для моніторингу стану здоров'я та безпеки працівників;
- автоматичне виявлення небезпечних ситуацій та попередження нещасних випадків;
- впровадження систем контролю доступу та моніторингу переміщень персоналу.

Гнучке виробництво та масова кастомізація:

- створення виробничих ліній, здатних швидко адаптуватися до змін у замовленнях;
- автоматичне налаштування обладнання під індивідуальні вимоги кожного замовлення;
- оптимізація процесів для ефективного виробництва малих партій та унікальних виробів.

Впровадження цих технологій дозволяє СППР приймати більш обґрунтовані рішення на основі великих обсягів актуальних даних, що значно підвищує ефективність виробництва. Інтеграція IoT та PoT з СППР створює єдину екосистему, де кожен елемент виробництва стає джерелом цінної інформації, а кожне рішення базується на комплексному аналізі всіх аспектів діяльності підприємства.

Хмарні обчислення та Edge Computing відіграють ключову роль у розвитку сучасних СППР:

- хмарні платформи забезпечують масштабовані обчислювальні ресурси для обробки великих обсягів даних;
- edge computing дозволяє обробляти дані ближче до джерела їх генерації, знижуючи затримки та підвищуючи швидкість реакції системи;
- гібридні рішення, що поєднують хмарні та локальні обчислення, забезпечують оптимальний баланс між продуктивністю та економічною ефективністю.

Ці технології дозволяють створювати більш гнучкі та масштабовані СППР, здатні обробляти великі обсяги даних та приймати рішення в режимі реального часу.

З розвитком віддаленого управління виробництвом зростає важливість забезпечення кібербезпеки СППР. Ключові аспекти включають:

- впровадження передових методів шифрування даних та захисту комунікаційних каналів;
- розробка систем виявлення та запобігання вторгнень, специфічних для промислових середовищ;
- регулярне оновлення програмного забезпечення та проведення аудитів безпеки;
- навчання персоналу з питань кібербезпеки та створення культури безпеки в організації.

Забезпечення високого рівня кібербезпеки є критичним для підтримки довіри до СППР та захисту критичної інфраструктури підприємств.

Впровадження технологій 5G відкриває нові можливості для СППР у віддаленому управлінні виробництвом:

- збільшення швидкості передачі даних дозволяє обробляти більші обсяги інформації в реальному часі;

- зниження затримок забезпечує майже миттєву реакцію систем управління;

- підвищена надійність зв'язку сприяє стабільності роботи СППР у віддалених локаціях;
- можливість підключення великої кількості пристроїв на одиницю площі розширює можливості збору даних.

Ці переваги 5G дозволяють створювати більш ефективні системи віддаленого управління виробництвом.

AR та VR технології відкривають нові горизонти для візуалізації даних та взаємодії з СППР:

- AR дозволяє накладати цифрову інформацію на реальні об'єкти, покращуючи ситуаційну обізнаність операторів;
- VR створює можливості для повного занурення в віртуальні моделі виробничих процесів;
- ці технології покращують навчання персоналу та полегшують віддалене обслуговування обладнання;
- інтеграція AR/VR з СППР дозволяє створювати інтуїтивно зрозумілі інтерфейси для прийняття рішень.

Використання AR та VR в СППР підвищує ефективність взаємодії людини з системою та якість прийнятих рішень.

З розвитком автоматизованих СППР зростає важливість етичних аспектів та прозорості прийняття рішень:

- необхідність забезпечення справедливості та відсутності упередженості в алгоритмах прийняття рішень;
- важливість збереження людського контролю над критичними рішеннями;
- потреба в прозорості та пояснюваності рішень, прийнятих AI-системами;
- врахування соціальних наслідків автоматизації прийняття рішень.

Вирішення цих етичних питань є ключовим для побудови довіри до СППР та їх широкого прийняття в суспільстві.

Ефективне впровадження та використання сучасних СППР вимагає розвитку нових компетенцій у персоналу:

- навички роботи з великими даними та аналітичними інструментами;
- розуміння принципів машинного навчання та AI;
- здатність інтерпретувати результати складних моделей та приймати рішення на їх основі;
- навички кібербезпеки та розуміння етичних аспектів використання AI.

Інвестиції в навчання та розвиток персоналу є критично важливими для максимізації потенціалу сучасних СППР у віддаленому управлінні виробництвом.

IV. ВИСНОВКИ

Аналіз існуючих методів підтримки прийняття рішень в дистанційному управлінні виробництвом показує, що найбільш ефективними є комплексні рішення, які враховують специфіку конкретного

виробництва та інтегрують різні підходи і технології. При цьому важливо дотримуватися балансу між складністю системи та її практичним застосуванням.

На завершення слід зазначити, що розвиток методів підтримки прийняття рішень в дистанційному управлінні виробництвом рухається в напрямку підвищення автономності систем, поліпшення їх адаптивності до мінливих умов, більш тісної інтеграції з технологіями IoT і хмарних обчислень. Це відкриває нові можливості для підвищення ефективності та конкурентоспроможності підприємств в умовах цифрової економіки.

REFERENCES

- [1] Zhang, Y., and Hua, Q. "Artificial Intelligence-Based Decision Support Systems for Smart Manufacturing: A Review." *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2021, pp. 1-15.
- [2] Frazzon, E. M., et al. "Data-driven adaptive production control for smart manufacturing systems." *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 2019, pp. 848-860.
- [3] Grossmann, I. E. "Enterprise-wide optimization for decision making in process industries." *Computers & Chemical Engineering*, 2022.
- [4] Li, D., et al. "A review of artificial intelligence in decision support systems for smart manufacturing." *Applied Soft Computing*, 2020.
- [5] Tao, F., et al. "Data-driven smart manufacturing." *Journal of Manufacturing Systems*, 2018, pp. 157-169.
- [6] Zhong, R. Y., et al. "Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review." *Engineering*, 2021, pp. 738-757.
- [7] Panetto, H., et al. "Challenges for the cyber-physical manufacturing enterprises of the future." *Annual Reviews in Control*, 2019, pp. 200-213.

Види зварювання для верстату точкового зварювання з ЧПУ

Дмитро Максимов¹, Дмитро Нікітін²

1. Факультет АКТ, Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна, Харків, проспект Науки 14., e-mail dmytro.maksymov1@nure.ua
2. Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна, Харків, проспект Науки 14., e-mail: dmytro.nikitin@nure.ua

Анотація: у даній роботі досліджуються різновиди видів зварювання для верстата для точкового зварювання. Що дозволяє визначити найкращий метод напівпромислового зварювання в верстаті з ЧПУ.

Ключові слова: напівавтоматичне зварювання серед захисних газів, напівавтоматичне зварювання серед інертних газів, ручне дугове зварювання електродом, що плавиться, ручне зварювання серед захисних газів.

I. ВСТУП

В даний час точкове зварювання отримала широке розповсюдження, як у промисловій сфері, так і в побуті, так як дозволяє вирішувати навіть найскладніші завдання за своїм прямим призначенням. На сьогоднішній день точкове зварювання затребувана не тільки в побуті, але і в виробництві, так як вона здатна вирішити навіть самі важкі завдання. Саме воно є одним з найбільш універсальних та доступним для споживачів засобом для зварювання листів металу.

Основною задачею даної роботи – є визначення типів і різновидів зварювання для верстата точкового зварювання. Тому на першому етапі необхідно дослідити, які існують методи зварювання.

II. АНАЛІЗ ВИДІВ ЗВАРЮВАННЯ

На даній момент існують багато методів зварювання в залежності від матеріала, товщини і інших параметрів, тому було обрано 5 видів зварювання, які найчастіше використовуються. Типи зварювання, їх переваги та недоліки наведені у табл. 1.

Таблиця 1. Типи зварювання, їх переваги та недоліки

№	Тип зварювання	Переваги	Недоліки
1	Ручне дугове зварювання електродом (ММА)	– висока технологічність; широкі можливості для механізації або автоматизації; – невелика зона термічного впливу.	– необхідність використання спеціальних зварювальних перетворювачів.

Продовження Табл. 1.

2	Ручне зварювання серед захисних газів (TIG)	– дуже висока якість шва; – легкоплавкі компоненти сплавів та легуючі добавки не вигоряють; – зварювальна ванна захищена від кисню.	– низька ефективність нагрівання металу; – широкі шви і широка зона термічного впливу на конструкції, що зварюються; – низька продуктивність; – труднощі в автоматизації процесу.
3	Напівавтоматичне зварювання	– найбільший рівень захисту розплавленого металу; – зручність експлуатації; – рівний шов із повною відсутністю шлаку.	– вартість обладнання та матеріалів; – обмеження на типи матеріалів; – обмеження на товщину матеріалів; – вимоги до чистоти поверхні
4	Плазмове зварювання	– високий рівень концентрації теплоти; висока – стабільність горіння; – можливість зварювання деталей товщиною до 10 мм без попередньої підготовки кромок.	– оптичне випромінювання, шкідлива іонізація повітря; – виділення парів металу в процесі зварювання; – низький срок служби сопла пальника внаслідок сильного нагріву.
5	Контактне зварювання	– малий час з'єднання; – швидкість процесу; – мінімальна деформація.	– дуже високий робочий струм; – високе зусилля притиску кліщів; – мала міцність зварного шва.

Для роботи зі зварювальним апаратом також потрібен зварювальний трансформатор, що є ключовим елементом в багатьох процесах зварювання, оскільки сам він відповідає за регулювання сили струму та напруги, знижує втрати

енергії, підвищує безпеку зварювальних робіт і т.д, рисунок 1.

Залежно від конструкції електричного пристрою та методу регулювання класифікують на такі основні групи:

- однопостові зварювальні трансформатори - використовуються при роботах з ручним зварюванням і зварювання під флюс;

- трансформатори амплітудного регулювання із підвищеним магнітним розсіюванням – відмінні риси цього виду полягають у конструкції шунтів і обмоток. При невеликій вазі обладнання робочі характеристики полягають у підвищеному коефіцієнті потужності;

- тиристорні прилади – оснащені фазорегулятором, розташованим на ланцюгу, який з'єднаний з тиристорами та системою управління;

- однофазні – як правило, побутові моделі які не надто потужні і можуть працювати з побутовою електромережею з напругою 220 В, складається з сердечника та двох обмоток;

- трифазні – завжди або професійна, або напівпрофесійна модель настільки потужна, що вимагає 380 В напруги, складається з трьох однофазних, рисунок 2.

III. ВИСНОВКИ

Різноманіття існуючих методів зварювання дозволяє вибрати найбільш підходящий варіант в залежності від специфіки завдання, матеріалу та умов роботи. Кожен з цих методів має свої переваги і недоліки, що необхідно враховувати при виборі технології для конкретних застосувань.

Зварювальний трансформатор є важливим компонентом для забезпечення ефективного та безпечного зварювання. Різні типи трансформаторів мають свої специфічні характеристики і застосовуються в залежності від вимог до зварювального процесу. Для досягнення найкращих результатів у зварювальному процесі важливо враховувати як технічні характеристики зварювального обладнання, так і властивості матеріалів, що зварюються. Вибір правильного методу зварювання і відповідного зварювального трансформатора може суттєво вплинути на якість зварного шва, швидкість виробництва та економічність процесу.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

- [1] Lincoln Electric [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.lincolnelectric.com/en-gb/support/welding-howto/Pages/welding-howto.aspx>
- [2] Miller Welds [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.millerwelds.com/resources/welding-resources/>



Рисунок 1 – Зварювальний трансформатор



Рисунок 2 – Трьохфазний зварювальний трансформатор

Розроблення технології паралельного керування за допомогою вебінтерфейсу мобільним роботом під керуванням ROS

Олексій Фарафонов¹, Наталія Фурманова², Олександр Малий¹

1. Кафедра інформаційних технологій електронних засобів, Національний університет «Запорізька політехніка», УКРАЇНА, Запоріжжя, вул. Жуковського, 64, email: farafon@zpu.edu.ua

2. Факультет інформаційної безпеки та електронних комунікацій, Національний університет «Запорізька політехніка», УКРАЇНА, Запоріжжя, вул. Жуковського, 64, email: nfulmanova@gmail.com

Анотація: У сучасному світі автономні роботи відіграють важливу роль у різних сферах діяльності, від промисловості до побуту. Однією з ключових технологій для керування такими роботами є Robot Operating System (ROS), яка забезпечує гнучкість та масштабованість систем керування. Однак виникає необхідність у розробленні ефективних методів паралельного керування роботами за допомогою вебінтерфейсів, особливо для мініатюрних роботів з обмеженими можливостями інтернет-трафіку. Ця стаття присвячена розробленню технології паралельного керування мобільним роботом під керуванням ROS за допомогою вебінтерфейсу. Розглянуті основні аспекти створення системи керування, включно з налаштуванням зв'язку, обробкою даних з датчиків та інтеграцією з ROS2. Особлива увага приділяється використанню технології WebSocket для забезпечення реального часу оновлення даних та взаємодії між роботом і панеллю керування.

Ключові слова: *WebSocket, вебінтерфейс, ROS, робототехніка, управління, панель керування, обробка даних*

I. ВСТУП

Під час роботи з автономними роботами під керуванням ROS іноді виникає необхідність керування роботом вручну. Зазвичай автоматична та ручна системи керування не пов'язані одне з одним. Керування здійснюється за допомогою камер віддаленого спостереження та відокремленого каналу комунікації. Однак при використанні мініатюрних роботів з обмеженими можливостями інтернет трафіку найбільш дешевим та універсальним рішенням є розроблення системи керування за допомогою інтернет-браузера. Організація спостереження може здійснюватися звичайними вебкамерами.

Технологія ROS активно використовується для розв'язання різних задач робототехніки. Так, в [1] описана платформа для навчання робототехніці, яка використовує вебтехнології та ROS для створення інтерактивних навчальних завдань. В роботі [2] розглядаються покращення в управлінні роботами Yaskawa за допомогою ROS, зокрема, зменшення затримок і покращення точності траєкторії. В [3] описано бібліотеку `roslibjs`, яка надає можливість взаємодіяти з ROS через веббраузер, використовуючи

вебсокети для публікації, підписки та інших функцій. Питання керування роботами за допомогою технології ROS піднімалося також і в роботі [4].

Метою цього дослідження є розроблення технології паралельного керування мобільним роботом під керуванням ROS за допомогою вебінтерфейсу.

II. ВИБІР ФРЕЙМВОРКУ

Фреймворки ROS1 та ROS2 призначені для розробки програмного забезпечення для роботів, але вони мають деякі важливі відмінності. Одна з ключових відмінностей полягає в мідлварі, який використовується для комунікації між компонентами. ROS1 використовує XML-RPC для взаємодії між вузлами. Це може бути менш ефективним у великих системах. ROS2 використовує Data Distribution Service, який забезпечує вищу ефективність, надійність, низьку затримку та масштабованість, а також дозволяє налаштовувати параметри якості обслуговування [5]. Що стосується архітектури, ROS1 має ROS Master, що відповідає за реєстрацію та відстеження вузлів. ROS2 використовує децентралізовану архітектуру, де вузли можуть взаємодіяти без посередництва майстра. Це полегшує розширення та роботу в розподілених системах. Крім того, деякі реалізації ROS2 підтримують більше платформ та спрямовані на підтримку реального часу. ROS2 має покращену підтримку для роботів зі складною кінематикою, роботів з реальним часом, а також підтримку роботів на віддалених платформах.

Таким чином, ROS2 – це покращена версія ROS, яка враховує досвід та вимоги робототехніки сьогодення.

III. РОЗРОБЛЕННЯ ПАНЕЛІ КЕРУВАННЯ

На початкових етапах розроблення керування роботом здійснюють на базі SHH з'єднання та базових програм в системі ROS2. Часто використовуються різного роду джойстики, ігрові маніпулятори та навіть клавіатура. Можна навести приклади в пакетах ROS2 `teleop_twist_joy.cpp` або `teleop_twist_keyboard.py`.

Для керування в графічному режимі можна піти двома шляхами:

1. Використання трансляції віддаленого робочого столу за допомогою таких рішень як Remmina,

TeamViewer, NoMachine та багатьох інших в залежності від конфігурації обладнання. При цьому інтерфейс керування розташовано на роботі, що вимагає швидкого інтернет-з'єднання та значних обчислюваних потужностей.

2. Використання програми, що є надбудовою для термінальних програм керування. Таке рішення розробляється під відповідну операційну систему та встановлюється на віддаленому ПК оператора.

Перше рішення неможливо застосовувати для роботів з маленькими обчислювальними потужностями. Друге рішення вимагає розроблення панелі керування під відповідну операційну систему. Обидва рішення неможливо застосовувати безпосередньо при керуванні роботами з віддаленим з'єднанням з системою ROS2 (коли на роботі встановлена тільки плата контролера). Відповідно, використання вебпанелей керування виглядає дешевим та простим в реалізації рішенням.

При розробленні панелі керування на базі інтернет-браузера однією з великих проблем є автоматичне оновлення даних. Якщо сигнали з датчиків робота можна вивести безпосередньо на панель та оновлювати в реальному часі, то дані з топиків ROS, особливо проміжні дані під час автоматичного керування, отримати складніше.

Наведемо приклад. Необхідно забезпечити автономне керування мобільним роботом. Найбільш простим рішенням є використання одноплатного комп'ютера зі встановленою системою Linux та ROS2. Однак, враховуючи використання роєвих рішень та боротьбу за простоту та мініатюризацію, доводиться виносити систему ROS2 на віддалені ПК та покладатися на інтернет-з'єднання. Тоді автономна робототехнічна система може перетворитися на дешеве рішення, яке легко масштабується. Нехай прикладом буде слугувати робот із платою керування на базі чипів esp8266 або esp32 (рис. 1).



Рис. 1. Робот з платою керування на базі чіпа esp8266

Зазвичай веб-інтерфейс керування роботом може виглядати досить просто (рис. 2).

Елементами керування в цьому випадку є кнопки або джойстик. У випадку керування оператором дані про стан елементів керування мають публікуватися у

топіки системи ROS2. Дані з датчиків робота мають, окрім відображення в полях вебсторінки, також потрапляти в топіки системи ROS2. Окрім цього, додаткова інформація з драйверів двигунів або інша, яку не потрібно відображати в панелі керування, може знадобитися для обробки даних системою ROS2.

Від системи ROS2 також потрібно отримувати дані, як мінімум, для інформаційної обізнаності оператора під час пасивного моніторингу роботи автоматичної системи керування. Тобто дані з топиків ROS2 мають надходити та відображатись у полях веббраузера. Процес повинен відбуватися в режимі реального часу відповідно до швидкості робота та вимог щодо точності керування.

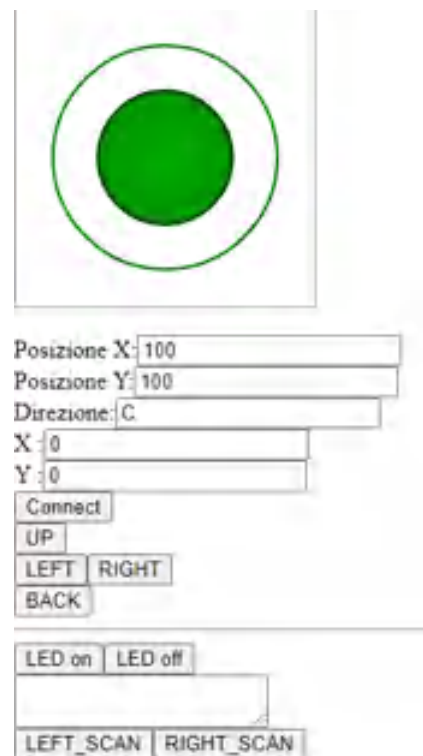


Рис.2. Приклад панелі керування роботом

Взаємодія робота з панеллю керування здійснюється з використанням функцій javascript та технології WebSocket. Для побудови системи комунікації між роботом, віддаленою системою ROS2 та панеллю керування в браузері необхідно створити такі програмні елементи:

1. Безпосередньо в мікроконтролері налаштуємо зв'язок:

```
WebSocketsServer websocket = WebSocketsServer(81);
ESP8266WebServer server(80);
та встановимо
void setup(void) {
  server.begin();
  websocket.begin();
  websocket.onEvent(webSocketEvent);
}
```

2. Відсилання даних у текстовому вигляді з esp8266 виглядає наступним чином:


```

void loop() {
  websocket.loop();
  server.handleClient()
  websocket.sendTXT(num, x, strlen(x));
}

```

3. Функція роботи з апаратними драйверами робота для руху вперед задається у вигляді:

```

void forward(int velocity)
{
  .....
}

```

4. Керування з браузера (html сторінка) забезпечується такими функціями:
Опис кнопки керування:

```

<body>
<button onclick='ev(1)'>UP</button><br>
.....
</body>

```

4.1. Створення сокету:

```

<script>
var socket;
function web()
{
  socket = new WebSocket('ws://172.16.1.1:81');
  .....
};
</script>

```

4.2. Функція відсилання даних та встановлення швидкості від 0 до 9:

```

<script>
function ev(type)
{
  if(type==1)
    socket.send('w'+9');
  if(type==2)
    socket.send('a'+9');
  if(type==3)
    .....
}
</script>

```

5. На стороні мікроконтролера керування, окрім функції руху вперед, потрібна функція для обробки повідомлень:

```

void websocketEvent(uint8_t num, WStype_t type,
uint8_t * payload, size_t length){
  switch(type)
  {
    case WStype_DISCONNECTED:
      break;
    case WStype_CONNECTED:
      {
        IPAddress ip =
websocket.remoteIP(num);
      }
      break;
    case WStype_TEXT:
      {
        if((payload[0] == 'w') & (payload[1] !=
'0'))
          {
            // вперед
            int pay = payload[1] - '0';
forward(pay);
          }
        }
      }
    }
}

```

```

.....
websocket.sendTXT((num,
char_pay, strlen(char_pay));
}
}
break;
case WStype_BIN:
{
  hexdump(payload, length);
}
websocket.sendBIN(num, payload, length);
break;
}
}

```

6. На комп'ютері зі встановленою та запущеною системою ROS2 стандартними методиками створюємо publisher та subscriber [6]:

```

self.publisher_request = self.create_publisher(String,
'ros2_request_topic', 10)
self.publisher_response = self.create_publisher(String,
'ros2_response_topic', 10)
self.subscriber_request = self.create_subscription(String,
'ros2_request_topic', self.callback_request, 10)

```

7. Для створення каналів комунікації використовуємо бібліотеки:

```

import websockets
import asyncio

```

8. Для відправлення повідомлень із топіку ROS2 використовується частина коду у вигляді:

```

def main():
  rclpy.init()
  node = MyNode()
  websocket_uri = 'ws://172.16.1.1:81'
  try:
    .....
    if message:
      asyncio.get_event_loop().run_until_complete(send_we
bsocket_request(node, websocket_uri, message))
    else:
      break
  finally:
    node.destroy_node()
    rclpy.shutdown()

```

9. Реалізація функції, що використана в аргументі попередньої, виглядає так:

```

async def send_websocket_request(node, uri, message):
  async with websockets.connect(uri) as websocket:
    await websocket.send(message)
    response = await websocket.recv()
    # Публікація відправленого повідомлення в
топік 'ros2_request_topic'
    msg_request = String()
    msg_request.data = message
    node.publisher_request.publish(msg_request)
    # Публікація отриманої відповіді в топик
'ros2_response_topic'
    msg_response = String()
    msg_response.data = response
    node.publisher_response.publish(msg_response)

```

Однчасне використання технології websocket та створення вебінтерфейсу керування роботом через браузер надає можливість доволі легко створити

повноцінну систему віддаленого керування та моніторингу мініатюрних автономних роботів з можливістю масштабування кількості та полегшену дослідження ройових технологій. Використання декількох мережних карт ще більше розширює можливості керування та моніторингу роботів з однієї базової станції. Наступним вузьким місцем є запуск декількох ізольованих екземплярів ROS2 на одному ПК для паралельного автоматичного керування роботами. Це потребує подальших додаткових досліджень.

IV. ВИСНОВКИ

Технології паралельного керування за допомогою вебінтерфейсу мобільним роботом під керуванням ROS мають ряд переваг:

- ефективність та масштабованість;
- оновлення даних у реальному часі;
- простота інтеграції;
- розвиток ройових технологій.

Так, вебінтерфейси дозволяють створювати масштабовані та економічно вигідні рішення для керування автономними роботами. Розробка технології паралельного керування мобільним роботом за допомогою вебінтерфейсу на базі ROS2 демонструє ефективність використання вебтехнологій для створення масштабованих та економічно вигідних рішень.

Використання мікроконтролерів ESP8266 або ESP32 у поєднанні з вебсокетами та JavaScript надає можливість забезпечити реальний час оновлення даних та інтерактивне керування. Це рішення сприяє розвитку автономних робототехнічних систем та дослідженню ройових технологій, забезпечуючи простоту інтеграції та гнучкість у використанні.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

- [1] Roldán-Álvarez, D., Mahna, S., Cañas, J.M. (2022). A ROS-based Open Web Platform for Intelligent Robotics Education. In: Merdan, M., Lepuschitz, W., Koppensteiner, G., Balogh, R., Obdržálek, D. (eds) Robotics in Education. RiE 2021. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1359. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-82544-7_23
- [2] Baklouti, S.; Gallot, G.; Viaud, J.; Subrin, K. On the Improvement of ROS-Based Control for Teleoperated Yaskawa Robots. Appl. Sci. 2021, 11, 7190. <https://doi.org/10.3390/app11167190>
- [3] Web-Based Visualization using ROS JavaScript Library pair [Electronic resource]. – Access mode: <https://roboticknowledgebase.com/wiki/tools/roslibjs/>
- [4] Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., & Maksymova, S. (2024). Humanoid Robot Movement Simulation in ROS. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(7), 146-154.
- [5] ROS 1 vs ROS 2 What are the Biggest Differences? [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.model-prime.com/blog/ros-1-vs-ros-2-what-are-the-biggest-differences>

- [6] ROS2 workshop – Understanding ROS 2 nodes with a simple Publisher - Subscriber pair [Electronic resource]. – Access mode: https://ros2-industrial-workshop.readthedocs.io/en/latest/_source/basics/ROS2-Simple-Publisher-Subscriber.html

Застосування методів вербального аналізу в інтелектуальних системах управління у сфері гуманітарного розмінування

Дмитро Янушкевич¹, Леонід Іванов², Ігор Толкунов³

1. Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки. 14., email: dmytro.ianushkevych@nure.ua

2. Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки. 14., email: leonid.ivanov@nure.ua

3. Кафедра піротехнічної та спеціальної підготовки, Національний університет цивільного захисту України, м. Харків, вул. Чернишевська, 94, email: tolkunov_ia@ukr.net

Анотація: У доповіді розглядаються інтелектуальні системи управління робототехнічними засобами у сфері гуманітарного розмінування із застосуванням методів вербального аналізу.

Ключові слова: гуманітарне розмінування, робототехнічні зкомплекси, вербальний аналіз, системи управління.

I. ВСТУП

Унаслідок російського вторгнення Україна стала однією з найзамінованих країн у світі. За оцінками Організації Об'єднаних Націй, було встановлено, наприклад, що за роки війни, близько 30 % території України (приблизно 270 000 кв. км.) забруднено вибухонебезпечними предметами (міни, снаряди, авіабомби тощо), що не розірвалися. На розмінування території, забруднених вибухонебезпечними предметами (ВНП) піде до 100 років. Уряд України ставить за мету, щоб за десять років 80 % цих територій були обстежені на наявність ВНП та були безпечними для життєдіяльності мирного населення та військових і необхідна базуватись на креативності підходу до системи гуманітарного розмінування із застосуванням робототехнічних комплексів (РТК).

Гуманітарне розмінування – комплекс заходів, які проводяться з метою ліквідації небезпек, пов'язаних із вибухонебезпечними предметами (ВНП), включаючи нетехнічне та технічне обстеження територій, складення карт, виявлення, знешкодження та/або знищення ВНП, маркування, підготовку документації після розмінування, надання громадам інформації щодо протимінної діяльності та передачу очищеної території [1].

Гуманітарне розмінування у першу чергу спрямоване на зменшення шкідливого фактору дії ВНП на життєдіяльність людей. Мета гуманітарного розмінування полягає в тому, щоб знизити мінну небезпеку до рівня, при якому люди можуть жити безпечно; при якому економічний, соціальний і фізіологічний розвиток може здійснюватися безперешкодно, не наражаючись впливу обмежень, що викликаються впливом наземних мін [21].

Стосовно бойових дій та гуманітарного розмінування характерним є зростання уваги до проблем створення та застосування робототехнічних комплексів військового призначення (РКВП). Це

обумовлюється намаганням США та інших країн НАТО до збереження життя солдата в бою, в контексті якого використання РКВП дозволяє досягти позитивні результати [3]. Крім того, ця тенденція пояснюється стрімким розвитком новітніх технологій в інформаційній сфері, тобто «роботизація» різноманітних напрямів діяльності людини, зокрема, військової сфери, цілком логічно відповідає змісту сучасних концепцій постіндустріального суспільства.

Викладені вище проблеми, на думку фахівців, мають бути вирішені тільки в комплексі організаційно-технічних заходів, одним з яких є застосування робототехнічних комплексів та системи військового, спеціального та подвійного призначення.

Одним з надважливих аспектів використання робототехнічних комплексів є спосіб здійснення управління. Це підтверджується наочними класифікаціями РКВП [1]:

– за поколіннями:

1) роботи 1-го покоління – пристрої з програмним та дистанційним управлінням, які здатні функціонувати тільки в організованому середовищі;

2) роботи 2-го покоління – адаптивні, що мають синтетичні органи «чуття» і здатні функціонувати в заздалегідь невідомих умовах, та пристосовуватися до зміни ситуацій;

3) роботи 3-го покоління – інтелектуальні, мають систему управління з елементами штучного інтелекту;

– за ступенем залежності від оператора:

1) «людина в системі управління» (human-in-the-loop) – до цієї категорії віднесені безпілотні машини, що здатні самостійно виявляти цілі та здійснювати їх селекцію, проте рішення про їх знищення приймає тільки людина-оператор;

2) «людина над системою управління» (human-on-the-loop) – до цієї категорії належать системи, здатні самостійно виявляти та вибирати цілі, а також приймати рішення на їх знищення, але людина-оператор, що виконує роль спостерігача, у будь-який момент може втрутитися та скоригувати чи заблокувати це рішення;

3) «людина поза системою управління» (human-out-of-the-loop) – до цієї категорії віднесені роботи здатні

виявляти, вибирати та знищувати цілі самостійно без людського втручання.

В основі наведених класифікацій є відміни у системі управління РКВП, тобто рівень її «інтелектуальності», що робить розробку таких систем дуже важливою темою з наукової точки зору.

II. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Роботи по створенню робототехнічних засобів та систем, включаючи робототехнічні засоби військового (подвійного) та спеціального призначення широко ведуться в усьому світі [2].

Так, експертами з розробки та виробництва мобільних робототехнічних комплексів дається визначення «інтелектуального робота», як такого, що має так звану модель зовнішнього світу чи внутрішнього середовища, яка дозволяє роботу діяти у невизначеному інформаційному середовищі [3].

Таким чином, інтелектуальний РТК - це робот, що включає інтелектуальну систему управління (ІСУ).

ІСУ означає комп'ютерну систему для вирішення завдань, які людина не може вирішити в режимі реального часу, або їхнє рішення вимагає автоматизованої підтримки або дає результати, які можна порівняти з рішеннями людини. При цьому, серед іншого, мається на увазі, що для розв'язуваних завдань ІСУ не передбачає повноти знань, а сама ІСУ повинна мати можливість упорядковувати дані та експертизу з виділенням сутєвих параметрів, пристосовуватися до змін набору фактів і знань, тощо.

Отже, незважаючи на безліч запропонованих критеріїв інтелекту, найсуворішою вимогою залишається те, що роль людини при взаємодії з ІСУ повинна зводитися лише до постановки завдання. Інтелектуальні системи є необхідним компонентом для вирішення завдань створення моделі світу, системи планування дій та керування цілями. База знань в інтелектуальних системах є однією з основних частин моделі світу та її трансформаційних функцій.

Використання вербальних методів для побудови систем прийняття рішень (СПР), є основою ІСУ [3]. На основі вербальної інформації, одержуваної від експертів в термінах їх предметної області, та методу, що належить до вербального аналізу рішень, будується так зване «вирішальне правило». Вирішальне правило у вигляді таблиці містить вербальний (критеріальний) опис всіх можливих ситуацій, що можуть виникнути, які розподілені по класах. Клас – це рішення, яке приймається у ситуації, що склалась. Вирішальне правило будується на основі логічних, якісних перетворень вербальних змінних за дотриманням психологічної та математичної коректності цих перетворень.

Все це дає підстави стверджувати, що:

- зараз найбільш поширені РКВП першого покоління (керовані пристрої);
- швидко удосконалюються системи другого покоління (напівавтономні пристрої);
- для переходу до використання РКВП третього покоління (автономних пристроїв) необхідно

розробити ІСУ на базі технологій штучного інтелекту;

- математичні, кількісні методи є найбільш поширеними щодо побудови ІСУ.

Але можливості застосування для побудови СПР кількісних методів часто обмежені. У таких методах робиться неявне припущення, що людина одноразово вимірює деякий кількісний параметр. Отримане значення є єдиним, що відображає перевагу особи, що приймає рішення (ОПР).

Як відомо, ОПР не є точним вимірювальним приладом, що не допускає похибки при кількісних вимірах. Психологія дає кількісні підтвердження неточності людини в вимірі фізичних параметрів (вага, довжина, тощо). Як наслідок, безпосереднє призначення кількісних ваг критеріїв завжди здійснюється з помилками [3].

У такій ситуації експертні (вербальні) оцінки є єдиним засобом вирішення подібних завдань [3]. До переваг експертних оцінок також можна віднести простоту застосування для прогнозування практично будь-яких ситуацій, в тому числі в умовах неповної інформації.

Стосовно систем можна виділити три загальні категорії: конкретні системи, символічні та концептуальні системи (рис. 1).

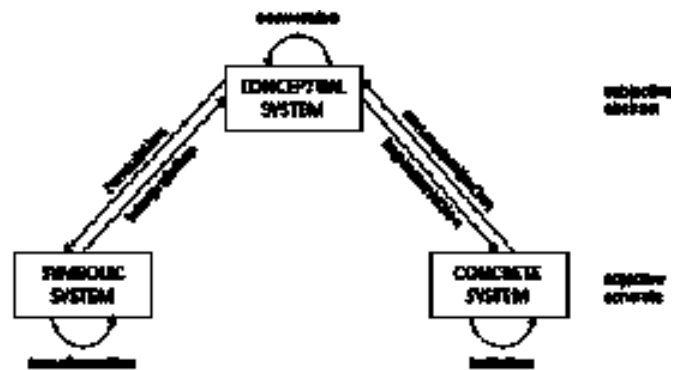


Рис. 1. Модельний трикутник

Концептуальна модель конкретної системи називається концептуалізацією; наприклад, модель ІСУ є концептуалізацією процесів управління робототехнічним комплексом. Конкретна модель концептуальної системи називається реалізацією; наприклад, введена в дію ІСУ як реалізація моделі ІСУ.

Концептуальна модель системи називається перетворенням. Символічна модель концептуальної системи називається формулюванням; символічна система виражається якоюсь формальною мовою - нотацією для представлення моделі.

Концептуальна модель символічної системи називається інтерпретацією. Символічна модель символічної системи називається перетворенням.

При цьому усі етапи переходів між системами включають соціальну (вербальну) взаємодію між людьми для побудови соціально прийняттого погляду на конкретну систему.

Таким чином, для реалізації конкретної системи (у нашому випадку - ІСУ) слід розробити концептуальну модель на основі вербальних методів,

яка дозволить сформулювати символічні моделі на обраних нотаціях.

Тому актуальною є концептуалізація ІСУ робототехнічними комплексами гуманітарного розмінування на основі вербальних методів.

Ця модель повинна надавати можливість реалізовувати ІСУ, які б:

- були близькі до людського способу вираження знань;
- ґрунтувалися на експертних знаннях в обраній предметній галузі;
- видавали однозначний результат;
- передбачали участь людини лише у частині створення/зміни бази знань.

Основні принципи вербального аналізу рішень сформульовані наступним чином [3]:

- використання для опису проблеми визначень та формулювань оцінок варіантів рішень у вигляді, якій є природним для ОПР, його радників і активних груп, без будь-якого перетворення таких словесних формулювань в кількісні значення;
- побудова вирішального правила на основі логічних, якісних перетворень вербальних змінних за дотриманням психологічної та математичної коректності цих перетворень.

Тобто вербальні методи рішень дозволяють створювати так звану «модель білої скриньки», де ми достеменно знаємо, як значення вихідних змінних залежить від значень вхідних змінних та можемо пояснити поведінку моделі.

У той же час існуючі методи створення моделей штучного інтелекту є так званими «моделлями чорної скриньки». Проблема полягає в тому, що фахівець з аналізу даних, який побудував таку модель, не має повної ясності щодо поведінки моделі, і не вистачає ясності в її поясненні [3].

Найбільш повно процес самоорганізації автоматизації на рівні прийняття рішень у системах управління відображено у циклі OODA [3]. Модель OODA має у своїй структурі 4 багаторазово повторювані дії: Спостереження (Observe) – Орієнтація (Orient) – Рішення (Decide) – Дія (Act).

На операційному рівні у системах управління найбільш адекватною моделлю побудови та покращення процесу є так званий цикл покращень Шухарта, більш відомий як цикл Демінга або цикл PDCA. Цикл PDCA містить 4 етапи: Планування (Plan) – Виконання (Do) – Моніторинг результатів (Control) – Оцінка результатів (Act)

Моделі OODA та PDCA взаємно доповнюють одна одну (рис. 2).

Щодо експертних знань, то вони можуть бути умовно поділені на два типи [3]. Один із них – факти, відомості, теорії, завдання тощо, називаються декларативним знанням і найчастіше відображаються у вигляді таблиць. Відповідають питанням «Що це?», тобто за їх допомогою можна оцінити результати, що отримані під час будь-якої діяльності (процесу).

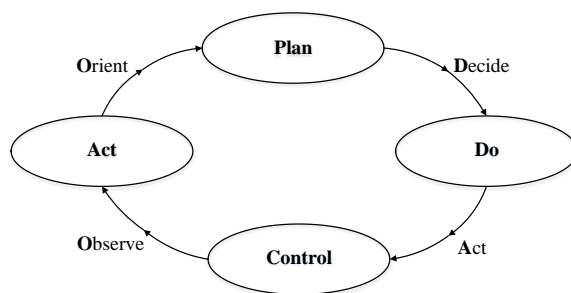


Рис. 2. Об'єднана модель OODA і PDCA

Інший тип - людське вміння вирішувати завдання, складати музику, лікувати хворих, знаходити несправності в машинах та апаратах тощо, є процедуральним знанням, що відображається у вигляді схем процесів. Ці знання відповідають на питання «Як це зробити?» і з їх допомогою можна отримати потрібні результати.

Взаємодія експертних знань із об'єднаною моделлю OODA та PDCA представлена на рис. 3.

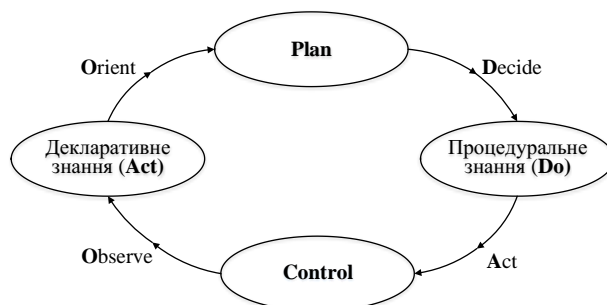


Рис. 3. Взаємодія експертних знань та об'єднаної моделі OODA і PDCA

Поділ етапів об'єднаної моделі за рівнями керування показано на рис. 4.

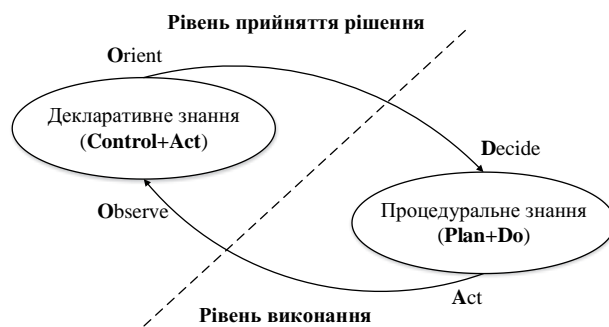


Рис. 4. Розподіл етапів об'єднаної моделі за рівнями керування

Модель, яка представлена на рис. 4 визначає концептуальну модель ІСУ робототехнічними комплексами гуманітарного розмінування на основі вербальних методів (рис. 5).

Модель ІСУ РТК на основі вербальних методів включає такі елементи:

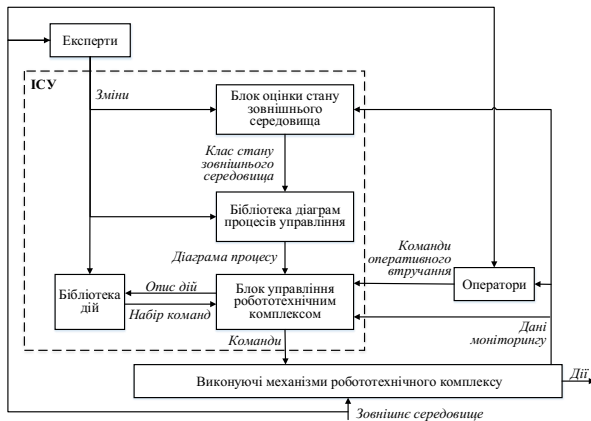


Рис. 5. Модель ІСУ РТК гуманітарного розмінування на основі вербальних методів

- блок оцінки стану зовнішнього середовища – рівень прийняття рішень. Визначає до якого класу відноситься набір даних моніторингу зовнішнього середовища, що поступив на вхід. Побудований з урахуванням вирішального правила, розробленого з допомогою вербального методу ординарної класифікації;

- бібліотека діаграм процесів управління – діаграми процесів, що містять опис набору та послідовностей дій робототехнічного комплексу у всіх передбачених експертами ситуаціях. Поділені на класи, які визначені в вирішальному правилі;

- блок керування робототехнічним комплексом – рівень виконання. Перетворює описи дій з діаграм процесів в набори команд для виконавчих механізмів робототехнічного комплексу (ВМРК). У межах діаграми вибір сценарію виконання процесу проводиться згідно набору даних моніторингу зовнішнього середовища;

- бібліотека дій – набори команд для ВМРК, які відповідають діям з діаграм процесів;

- експерти – розробляють вирішальне правило, діаграми процесів та набори команд для ВМРК, вносять відповідні зміни у разі зміни ВМРК, виявлення неописаної ситуації або для компенсації систематичного впливу зовнішнього середовища;

- оператори – мають можливість оперативно змінити чи зупинити роботу робототехнічного комплексу у разі виникнення позаштатної ситуації чи непередбаченої зміни зовнішнього середовища.

Розроблена концептуальна модель ІСУ (рис. 5) дозволяє створити символічні моделі в обраних нотаціях.

Прикладом символічної моделі представлення декларативного знання в ІСУ є СПР «Оцінка рівня загрози ВВП». СПР містить опис класів, критеріїв та вирішальне правило. Нотація – терміни, які використовують експерти в обраній предметній області.

Класи рівнів загрози ВВП: низький (1) – нижче за середній (2) – середній (3) – вище за середній (4) – високий (5).

Критерії - демаскуючі ознаки ВВП (значення кожної ознаки впорядковані від більш демаскуючого до менш демаскуючого):

- зосереджена маса вибухової речовини (K1): велика (1) – вища за середню (2) – середня (3) – нижча за середню (4) – мала (5).

- локально розташована маса металу (K2): велика (1) – вища за середню (2) – середня (3) – нижча за середню (4) – мала (5).

- конструкція ВВП (K3): характерна для ВВП форма, матеріал корпусу тощо (1) – нехарактерна (2).

- порушення однорідності середовища, де розміщений ВВП (K4): великі (1) – вищі за середню (2) – середні (3) – нижчі за середню (4) – малі (5).

- наявність провідної лінії управління ВВП (K5): є (1) – немає (2).

- часовий модуль управління ВВП (K6): годинниковий механізм (1) – електронний таймер (2) – відсутній (3).

- датчик цілі ВВП (K7): сейсмічний (1) – магнітний (2) – оптичний (3) – відсутній (4).

- наявність антени для радіоприймальних пристроїв ВВП (K8): є (1) – немає (2).

- глибина розміщення ВВП у ґрунті (K5): поверхня ґрунту (1) – до 0,1 м (2) – до 1 м (3).

Демаскуючий стан ВВП – набір значень, що має ВВП відносно кожного критерію (демаскуючі ознаки). Кількість всіх гіпотетично можливих демаскуючих станів ВВП – це добуток кількості значень усіх критеріїв (36 000 станів ВВП).

III. ВИСНОВКИ

На основі методів вербального аналізу рішень розроблена концептуальна модель ІСУ РКВП гуманітарного розмінування. Розроблена модель ІСУ дозволяє сформулювати символічні моделі в нотаціях обраних вербальних методів:

- на рівні прийняття рішень;
- на виконавчому рівні.

Символічні моделі в нотаціях обраних вербальних методів дозволяють реалізацію ІСУ конкретним робототехнічним комплексом гуманітарного розмінування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Nevliudov, I., Yanushkevych, D., Ivanov, L. Analysis of the state of creation of robotic complexes for humanitarian demining. / I. Nevliudov, D. Yanushkevych, L. Ivanov // Technology Audit and Production Reserves, 6/2 (62). – 2021. – P. 47-52.
- [2] Янушкевич Д., Іванов Л., Толкунов І. Креативні підходи управління якістю у сфері гуманітарного розмінування із застосуванням робототехнічних систем / Д. Янушкевич, Л. Іванов Л., І. Толкунов // Збірник матеріалів V форуму «Автоматизація, електроніка та робототехніка. Стратегії розвитку та інноваційні технології» AERT-2023. – Харків, ХНУРЕ, – С. 55-59.
- [3] O Hutsa, D Yanushkevych, D Yelchaninov, I Tolkunov, L Ivanov, R Petrova, A Morozova (2024) Conceptualization of intelligent control systems conceptual model for humanitarian demining robotic complexes based on verbal methods. Science and Innovation Vol. 20 №. 3 (2024), 82-95.

Вибір математичної моделі для управління якістю продукції в умовах безперервного виробництва

Данило Ясир

Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА,
Харків, пр. Науки. 14., email: danylo.iasyr@nure.ua

Анотація: В даному матеріалі розглядається вибір математичної моделі управління якістю продукції для подальшого використання її, або створення на її основі своєї моделі, в умовах безперервного виробництва.

Ключові слова: математичні моделі, управління якістю продукції, безперервне виробництво.

I Вступ

Управління якістю є ключовим елементом успішного функціонування будь-якого виробничого підприємства. Особливо важливим воно стає в умовах безперервного виробництва, де кожен етап процесу тісно пов'язаний з наступним, а можливість зупинки лінії для виправлення дефектів мінімальна. З огляду на це, критичним є впровадження систем контролю якості, що забезпечують стабільну роботу процесів і запобігають виникненню дефектів на ранніх стадіях.

Математичні моделі грають центральну роль в управлінні якістю, дозволяючи підприємствам ефективно відслідковувати й контролювати варіації у виробничих процесах, прогнозувати можливі відхилення та оперативно вживати заходів для корекції. У сучасному виробництві використовують різні математичні підходи, кожен із яких має свої переваги та недоліки. Їх вибір залежить від специфіки виробництва, рівня автоматизації, вимог до якості та рівня складності процесу.

Ця робота зосереджена на аналізі найбільш популярних математичних моделей для управління якістю продукції в умовах безперервного виробництва, таких як статистичне управління процесами (SPC), метод Шість Сигм, метод Taguchi, моделі машинного навчання та інші. Також розглянуто їх практичне застосування, переваги, недоліки та можливість інтеграції в безперервні виробничі процеси для підвищення ефективності контролю якості [1].

II Популярні математичні моделі для управління якістю

Статистичне управління процесами (Statistical Process Control, SPC) Ця математична модель зазвичай використовується для контролю якості шляхом моніторингу відхилень у виробничих процесах.

Формула контрольної карти Шухарта для середніх значень:

$$CL = \bar{x}$$

$$UCL = \bar{x} + A_2 \cdot R \quad (1)$$

$$LCL = \bar{x} - A_2 \cdot R$$

\bar{x} — середнє значення,

R — середній діапазон,

A_2 — коефіцієнт, що залежить від обсягу вибірки.

Таку математичну модель можна використати наприклад у таких сферах як автомобільна промисловість та виробництво напоїв. У автомобільній промисловості використовується для моніторингу процесу складання автомобілів, щоб виявляти відхилення на етапі складання деталей. У виробництві напоїв контролює стабільність таких параметрів, як об'єм наповнення пляшок, для уникнення перевитрат або недоливу.

Переваги цієї моделі:

- 1) простота впровадження та використання;
- 2) виявлення проблем на ранніх стадіях;
- 3) використання історичних даних для встановлення норм контролю.

До недоліків можна віднести:

- 1) недостатньо чутливий до малих змін;
- 2) не забезпечує прогнозування майбутніх проблем.

Модель Шість Сигм (Six Sigma).

Це методологія, яка орієнтується на зниження кількості дефектів та мінімізацію варіацій у процесах.

Формула для стандартного відхилення (σ):

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

N — кількість спостережень,

x_i — кожне значення у вибірці,

\bar{x} — середнє значення вибірки.

Індекс якості процесу (Process Capability Index, C_{pk})

$$C_{pk} = \min \left(\frac{USL - \bar{x}}{3\sigma}, \frac{\bar{x} - LSL}{3\sigma} \right) \quad (3)$$

USL — верхня специфікаційна межа,

LSL — нижня специфікаційна межа,

σ — стандартне відхилення.

Ось декілька прикладів використання.

Електронна промисловість.

В електронній промисловості часто використовується для зниження кількості дефектів у виробництві, наприклад виробництво мікросхем.

Авіабудування.

У авіабудуванні використовується заради підвищення точності виробництва деталей, щоб уникнути дефектів які можуть вплинути на безпеку.

До переваг відносяться висока точність, ефективність для складних багатоступеневих

процесів та можливість зниження витрат на виправлення дефектів на пізніх стадіях виробництва.

З недоліків слід виділити:

- 4) складність впровадження та великі витрати часу;
- 5) вимагає значних інвестицій у навчання персоналу;
- 6) може бути менш ефективною для невеликих підприємств з низькою варіативністю.

Метод Taguchi

Метод Taguchi зосереджений на мінімізації збоїв та відхилень процесу та підвищенні його стійкості до зовнішніх змін.

Формула для функції втрат Taguchi:

$$L(y) = k(y - m)^2 \quad (4)$$

$L(y)$ — втрати,

y — значення параметра,

m — цільове значення параметра,

k — константа, що залежить від вартості відхилення.

До прикладів використання можна навести наступні застосування.

Електроніка.

В Електроніці зазвичай застосовується для оптимізації параметрів виробництва, наприклад температури паяння компонентів, щоб зменшити кількість дефектів через коливання температури.

Харчова промисловість.

Застосовується заради мінімізації впливу варіацій у якості сировини на кінцевий продукт.

До переваг цієї математичної моделі можна віднести:

- 1) зменшення відхилень процесу без додаткових витрат;
- 2) підвищення стійкості процесу до змін;
- 3) можливість експериментувати з параметрами для визначення оптимальних умов виробництва.

До недоліків відноситься:

- 1) обмежена гнучкість у складних процесах;
- 2) вимагає попереднього налаштування параметрів;
- 3) менш точний для багатфакторних процесів з багатьма змінними.

Моделі на основі машинного навчання (Machine Learning Models).

Штучний інтелект та машинне навчання принесли багато нового в тому числі і в математичні моделі їх використання дозволяє автоматизувати контроль якості на основі великих даних за допомогою здатності таких моделей аналізувати великий об'єм інформації.

Формула для лінійної регресії:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n \quad (5)$$

y — прогнозоване значення,

β_0 — константа,

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ — коефіцієнти регресії для відповідних

змінних x_1, x_2, \dots, x_n

До прикладів використання можна віднести наступні сфери.

Металургія.

Використання таких моделей дозволяє прогнозувати якість сталі в режимі реального часу на основі показників температури, тиску, хімічного складу та інших параметрів.

Фармацевтика.

В цій галузі машинне навчання використовується для передбачення можливих відхилень у процесі виробництва ліків на основі історичних даних.

До переваг ШІ та машинного навчання відноситься:

- 1) досить висока точність прогнозування;
- 2) можливість автоматизації контролю якості в реальному часі;
- 3) здатність адаптуватися до великих обсягів даних і складних процесів.

З недоліків можна виділити:

- 1) необхідність у великих обсягах даних для тренування моделей;
- 2) складність впровадження та технічна підтримка;
- 3) можливість неправильного прогнозу через неправильне налаштування моделі або недостатні дані.

Теорія масового обслуговування (Queueing Theory)

Вона дозволяє оптимізувати потоки ресурсів і продукції в процесі виробництва.

Формула для середнього часу очікування в системі M/M/1:

$$W = \frac{1}{\mu - \lambda} \quad (6)$$

Де:

W — середній час очікування,

μ — середня швидкість обслуговування,

λ — середня швидкість надходження заявок.

Цю модель можна використовувати у виробництві харчових продуктів. Вона дозволить оптимізувати черги у процесі пакування, і таким чином мінімізувати час простоїв обладнання.

Також її можна використовувати у логістиці. Її використання дозволить оптимізувати процеси зберігання та транспортування товарів на складах.

Переваги цієї моделі:

- 1) дозволяє зменшити час простоїв та оптимізувати використання ресурсів;
- 2) за допомоги неї можна досягти підвищення продуктивності підприємства.

Дає можливість прогнозувати скупчення та затримки в процесі виробництва.

Недоліки включають в себе:

- 1) не врахування якісних показників продукції;
- 2) модель може не відповідати складним виробничим процесам з великою кількістю змінних.

Контроль якості на основі ризиків (Risk-Based Quality Control, RBQC)

Це математична модель яка орієнтована на управління ризиками, які можуть вплинути на якість продукції.

Формула для оцінки ризику:

$$R = P \times I \quad (7)$$

P — ймовірність виникнення ризику,

I — вплив ризику на якість продукції.

$$CL = \bar{x}, UCL = \bar{x} + A_2 \cdot R, LCL = \bar{x} - A_2 \cdot R \quad (8)$$

Приклад використання математичної моделі.

Фармацевтика.

У фармацевтиці цю математичну модель можна використати для управління ризиками під час виробництва ліків, де навіть невелика помилка може призвести до серйозних наслідків для здоров'я.

Авіабудування.

У цій галузі контроль якості можна використати для контролю ризиків на кожному етапі виробництва деталей для літаків, щоб уникнути потенційних відмов.

До переваг цієї моделі можна віднести:

Те що вона враховує всі можливі сценарії ризиків.

- 1) вона орієнтована на управління найнебезпечнішими проблемами;
- 2) те що вона допомагає запобігати критичним дефектам у процесі виробництва.

До недоліків у свою чергу відноситься:

- 1) складність оцінки ризиків та велика кількість факторів для аналізу;
- 2) те що ця модель потребує великих зусиль для збору даних та аналізу ризиків [2].

III Вибір моделі в умовах безперервного виробництва

В умовах безперервного виробництва однією з найважливіших задач є забезпечити постійний контроль якості та швидке реагування на зміни. Залежно від характеру процесів різні моделі будуть показувати себе по різному.

SPC краще проявляє себе для безперервного моніторингу параметрів у реальному часі, наприклад, у виробництві харчових продуктів, напоїв, хімічних речовин, де важливо відстежувати стабільність параметрів на кожному етапі.

Шість Сигм буде гарно застосувати для процесів, де навіть мінімальні відхилення можуть призвести до значних втрат якості, як у фармацевтиці або авіаційній промисловості. Цей метод ідеально підходить для складних багатоступеневих процесів, що потребують високої точності.

Метод Taguchi буде дуже корисним у виробництвах, які піддаються змінним зовнішнім умовам, таким як електроніка або автомобілебудування. Цей підхід мінімізує варіативність продукції незалежно від змін у зовнішньому середовищі.

Моделі машинного навчання буде доцільно застосовувати в процесах, що генерують велику кількість даних та залежать від багатьох факторів, наприклад, у металургії або хімічній промисловості. Їх можна навчити на історичних даних і забезпечити автоматичний контроль якості на основі виявлення закономірностей у виробничому процесі.

Теорія масового обслуговування є актуальною для виробничих ліній з великою кількістю робочих станцій, таких як пакувальні лінії у харчовій промисловості, де важливо мінімізувати простой і ефективно розподіляти ресурси.

RBQC підходить для підприємств з високими ризиками, де помилки можуть спричинити серйозні

наслідки, таких як фармацевтика та авіаційна промисловість.

Виходячи з проаналізованої інформації можемо зробити такі рекомендації-до вибору математичної моделі в умовах безперервного виробництва.

Шість Сигм при сценарії безперервного виробництва виглядає найбільш оптимальною. Ця методологія поєднує в собі системний підхід до зменшення дефектів та забезпечення стабільності процесів. Її перевагою на відміну від інших є те, що вона не лише контролює якість на окремих етапах, а й прагне усунути самі причини варіацій, що робить її особливо ефективною для виробництв із високими вимогами до точності.

Якщо ж виробництво є досить нестабільним і піддається значним зовнішнім коливанням, можна розглянути метод Taguchi, бо він дасть змогу забезпечити стабільності продукту в умовах зміни зовнішніх факторів.

Для високотехнологічних виробництв в свою чергу буде краще використати машинне навчання, бо в таких виробництвах зазвичай є дуже великий обсяг даних та потреба у прогнозуванні дефектів. Це дозволить забезпечити адаптивний контроль якості та автоматизацію процесів.

Звісно залежно від специфіки процесу кожна модель має свої унікальні сильні сторони, але Шість Сигм на сьогодні можна вважати найкращим універсальним варіантом для досягнення високої якості продукції в умовах безперервного виробництва [3].

IV Висновки

Вибір математичної моделі управління якістю в умовах безперервного виробництва буде залежати від таких параметрів як особливості виробничого процесу, характер ризиків, та обсяг даних і вимог до точності контролю. Наприклад, SPC є ефективним для стабільного моніторингу процесів, Шість Сигм допомагає зменшити кількість дефектів на етапі виробництва, а машинне навчання може виявляти закономірності та прогнозувати проблеми на основі великих даних.

Важливо обирати модель, яка найкраще відповідає специфіці виробничого процесу, щоб досягти оптимальної якості продукції.

Перелік посилань

- [1] Baccelli, F., & Foss, S. (2019). "Moments and tails in monotone-separable stochastic networks." [Електронний ресурс]. – URL: [https://www.bing.com/search?pglt=43&q=Baccelli%2C+F.%2C+%26+Foss%2C+S.+\(2009\).+%22Moments+and+tails+in+monotone-separable+stochastic+networks.%22+The+Annals+of+Applied+Probability%2C+19\(4\)%2C+1659-1691.&cvd=3a65e55593cb4040b005cd4bd2fe0fa0&g_s_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOdIBCIDI0OTJqMGoxqAIAAsAIA&FORM=ANNTA1&PC=U531](https://www.bing.com/search?pglt=43&q=Baccelli%2C+F.%2C+%26+Foss%2C+S.+(2009).+%22Moments+and+tails+in+monotone-separable+stochastic+networks.%22+The+Annals+of+Applied+Probability%2C+19(4)%2C+1659-1691.&cvd=3a65e55593cb4040b005cd4bd2fe0fa0&g_s_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOdIBCIDI0OTJqMGoxqAIAAsAIA&FORM=ANNTA1&PC=U531)
- [2] Domingos, P. (2022). "A few useful things to know about machine learning." [Електронний ресурс]. – URL:

<https://courses.cs.duke.edu/spring20/compsci527/papers/Domingos.pdf>

- [3] Antony, J. (2021). "Simultaneous optimization of multiple quality characteristics in manufacturing processes using Taguchi's quality loss function." [Електронний ресурс]. – URL: https://www.researchgate.net/publication/225179438_Simultaneous_Optimisation_of_Multiple_Quality_Characteristics_in_Manufacturing_Processes_Using_Taguchi's_Quality_Loss_Function

Використання елементів штучного інтелекту для вирішення задач моделювання динамічних процесів

Дмитро Дриньов¹

¹Національний університет оборони України
Україна, Київ, Повітрофлотський проспект 28
drinevdim@ukr.net

Анотація. У статті досліджено питання щодо використання елементів штучного інтелекту для вирішення задач моделювання динамічних процесів.

Слід зазначити, що використання елементів ШІ для вирішення задач моделювання динамічних процесів передбачає застосування різних методів виявлення та аналізу змін у системі або агентів ШІ з плином часу. Сюди входять такі аспекти, як еволюція стану системи, зміна вхідних даних, адаптація до нових умов, навчання та розвиток навичок.

Використання елементів штучного інтелекту для вирішення задач моделювання динамічних процесів дозволяє вивчати та аналізувати поведінку систем та агентів у мінливих умовах, розробляти більш ефективні стратегії прийняття рішень та покращувати загальну продуктивність системи.

Ключові слова: моделювання, штучний інтелект, динамічні процеси.

I Вступ

Постановка проблеми. У сучасному науковому середовищі розвиток штучного інтелекту вважається дуже сприятливою сферою дослідження, яка викликає значний інтерес дослідників і експертів. Основна публікація окреслила основні напрямки дослідження в цій галузі, встановивши ключові цілі для майбутнього прогресу в галузі штучного інтелекту.

Основні цілі розвитку штучного інтелекту включають відтворення процесів, подібних до тих, що відбуваються в людському мозку, і розробку ефективних методів їх застосування. У рамках цього масштабні дослідження присвячені розумінню та реалізації когнітивних механізмів, методів вирішення проблем, інтелектуального обстеження та обробки інформації, властивих людському мозку.

Крім того, штучний інтелект охоплює різні сфери, включаючи машинне навчання, обробку природної мови, комп'ютерне бачення, робототехніку та автоматизоване прийняття рішень.

Постійне дослідження в цих областях спрямоване на створення вдосконалених систем, які володіють підвищеним інтелектом і автономією, що дозволяє їм пристосовуватися до динамічного середовища та вирішувати складні завдання, які вимагають глибокого розуміння та винахідливості.

Отже, розвиток штучного інтелекту став головною метою з метою побудови більш розумних, ефективних і універсальних систем, які

можуть використовувати принципи, подібні до людського інтелекту, таким чином сприяючи прогресу в різних дисциплінах науки і техніки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Питанню щодо використання елементів штучного інтелекту для вирішення задач моделювання динамічних процесів були присвячені праці таких вчених як Баландіна Н.М., Бойко В.Д., Василенко М.Д., Хусаїнов Д.Я. та інших.

Мета статті є висвітлення основних аспектів використання елементів штучного інтелекту для вирішення задач моделювання динамічних процесів.

II Виклад основного матеріалу

Дослідження проблем штучного інтелекту, що мають на меті моделювання процесів мислення людини, тривають вже давно, і для вирішення цих проблем були запропоновані різні підходи. Серед них теорія нейронних мереж була визнана одним з ключових напрямків. Нейронні мережі - це спеціалізований напрям, метою якого є створення штучних машин, подібних до мозку [1].

Ключовими аспектами дослідження нейронних мереж є процес навчання та здатність пристрою нагадувати людський мозок. Якщо розв'язання проблеми є ітеративним, процес можна описати як динамічний. Одним з найбільш широко використовуваних математичних інструментів для опису динамічних процесів є диференціальні рівняння або рівняння диференціальних функцій і системи рівнянь.

Створення математичних моделей, що описують процес навчання і функціонування штучних нейронних мереж, є частиною галузі штучного інтелекту. Комп'ютерне моделювання слугує потужним інструментом дослідження складних динамічних систем і дозволяє проводити обчислювальні експерименти на етапах розвитку системи.

Термін "динамічна система" означає систему, поведінка якої описується системою звичайних автономних диференціальних рівнянь першого порядку. Однак, окрім класичної задачі пошуку розв'язків, сучасна наука також зосереджується на якісних питаннях дослідження, таких як побудова фазових портретів та вивчення стійкості окремих траєкторій і системи в цілому (шорсткість і щільність, структурна стійкість тощо) [2].

Особливо складними є моделі, що описуються гібридними системами (наприклад, логіко-динамічні системи, перемикальні системи). Дослідження таких систем пов'язане з такими складними аспектами, як якісне вивчення стійкості.

Рівняння в частинних похідних широко використовуються як математичні інструменти для аналізу процесів у фізиці та гідродинаміці. Ці рівняння успішно моделюють динаміку розподілу тепла, течії рідини і газу, коливання пластин і оболонки.

Важливою умовою побудови точних математичних моделей є наявність наукових знань про механізми функціонування системи. Для побудови моделі використовуються базові принципи, такі як універсальний закон збереження.

Одним з найпоширеніших підходів до створення математичних моделей руху системи (матеріальної точки, твердого тіла, рідини, газу тощо) є використання принципу Гамільтона. Згідно з цим принципом, система рухається так, щоб інтегральне значення руху було мінімальним.

Сферою досліджень штучного інтелекту, пов'язаною з динамікою, є моделювання процесів у нейронних мережах. У 1943 році вчені Мак-Каллок і Волтер Піттс описали нейрони мозку як логічні елементи, а мережеві системи - як примітивний обчислювальний пристрій, здатний імітувати логічні елементи [3].

Це визначення вважається першим визначенням поняття "нейронна мережа". Нейронні мережі характеризуються двома процесами: "навчання", яке визначає параметри, необхідні для вирішення проблеми, і "функціонування", яке визначає запити і генерує рішення.

Зазвичай обидва процеси є ітеративними, а їх математична модель може бути представлена як високорозмірна, нелінійна дискретна система. Якщо крок дискретизації зменшити, то такі системи можна описати диференціальними рівняннями.

Принцип Гамільтона і закони збереження використовуються для побудови математичних моделей динаміки в нейродинаміці. Така модель була запропонована Хопфілдом.

У нейронних мережах, де вихідні сигнали подаються на входи, відбувається ітераційний процес і формується мережа зі зворотним зв'язком [4].

Така структура відома як автокорельована мережа і була вперше запропонована Хопфілдом у 1982 році. Математичну модель динаміки нейронної мережі можна представити за допомогою системи диференціальних рівнянь.

Висновки

Тому використання елементів штучного інтелекту для вирішення задач моделювання динамічних процесів вимагає застосування різних методів виявлення та аналізу змін у системі або ШІ-агенті в часі. Це стосується таких аспектів, як еволюція стану системи, зміна вхідних даних, адаптація до нових умов, навчання та розвиток навичок.

Використовуючи елементи штучного інтелекту для вирішення задач моделювання динамічних

процесів, можна вивчати і аналізувати поведінку системи або агента в мінливих умовах для розробки більш ефективних стратегій прийняття рішень і підвищення загальної продуктивності системи.

Список використаних джерел

1. Методи та системи штучного інтелекту: навч. посіб. укл. Д.В. Лубко, С.В. Шаров. Мелітополь: ФОП Однорог Т.В. 2019. 264 с.
2. Системи штучного інтелекту. Навчальний посібник. Н. Б. Шаховська, Р. М. Камінський, О. Б. Вовк. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. 392 с.
3. Баландіна Н.М., Бойко В.Д., Василенко М.Д. Штучний інтелект в системі розумного міста: матеріали LVII міжнародної інтернет-конференції "Наукові підсумки 2020 року" (м. Вінниця, 17 грудня 2020 р.). 2020. С. 12-15.
4. Хусайнов Д.Я. Оцінки збіжності в одній моделі нейродинаміки Хопфілда. Вісник Київського університету. Серія: Кібернетика. Вип.4, 2016. С. 129-132.

Дослідження методів опису динаміки гуманоїдного робота

Ганна Самойленко¹

1. Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки. 14., email: vladyslav.yevsieiv@nure.ua

Анотація: проведено аналіз методів опису динаміки гуманоїдного робота. Розглянуто метод Ньютона-Ейлера, метод Лагранжа і рівняння Гамільтона, метод Д'Аламбера, метод кінцевих елементів та рівняння Денавіта-Хартенберга та їх особливості.

Ключові слова: правила, Міжнародна конференція, M&MS 2024, динаміка гуманоїдного робота, метод Ньютона-Ейлера, метод Лагранжа.

I. ВСТУП

Опис динаміки гуманоїдного робота є складним завданням через велику кількість ступенів свободи, нелінійності та взаємодії сегментів тіла робота. Динамічне моделювання роботів є важливою темою для проектування, моделювання та керування роботами. Існує три основні формулювання для вивчення задачі динаміки, усі вони використовуються в аналізі багатотільних роботів: метод Ньютона-Ейлера, метод Лагранжа і рівняння Гамільтона. Окрім цих трьох методів розглянемо також метод Д'Аламбера, метод кінцевих елементів та рівняння Денавіта-Хартенберга.

II. АНАЛІЗ МЕТОДІВ

Метод Лагранжа дає просте представлення системи, що має кілька суглобів, надаючи в кожен момент узагальнені координати всіх частинок, які беруть участь у русі роботизованої системи. Він є енергетичним методом, який не потребує внутрішніх сил для формулювання динамічної моделі. У ньому спочатку розраховують кінетичну та потенційну енергію механічної системи, а потім виводять рівняння руху за допомогою скалярної функції, яка називається лагранжіаном. Лагранжіан – це різниця між кінетичним і потенціалом механічної системи [1]. Метод Лагранжа використовує рівняння Лагранжа другого роду і є більш теоретично узагальненим. Однак цей метод має певні обмеження. Для складних систем вибір координат для частинок під час руху є складним завданням.

Метод Ньютона-Ейлера заснований на законах Ньютона і Ейлера, які описують рух твердих тіл. Він розглядає робота як систему сегментів (кінцівки, тулуб і голова), пов'язаних шарнірними з'єднаннями. Він формулює динамічну модель на основі балансу сил кожної жорсткої ланки. Він заснований на спостереженні та визначенні швидкостей в одній або кількох заданих точках спостереження. Ці швидкості являють собою швидкості частинок під час руху через точку спостереження в різний час. Таким чином, точки спостереження означають поточне положення частинок у даний момент. Навіть якщо формалізм Ньютона-Ейлера передбачає врахування

більшої кількості параметрів, ніж лагранжевий у випадку систем, що складаються з багатьох твердих тіл, визначення та інверсія операторів інерції не означає високу вартість розрахунку.

Канонічні рівняння Гамільтона виражаються через швидкості та імпульси системи, а можливі обмеження зазвичай накладаються на рівні швидкості, багато джерел вказують на вигідні характеристики гамільтонівського підходу з чисельної точки зору. Метод Гамільтона оснований на перетворенні рівнянь руху через гамільтоніан – функцію, яка визначає загальну енергію системи у термінах кінетичної та потенціальної енергії. Рівняння Гамільтона є парою диференціальних рівнянь, які описують динаміку системи в термінах узагальнених координат і моментів. Гуманоїдні роботи, мають велику кількість ступенів свободи, що означає, що кожен сегмент робота має свою позицію і швидкість. У цьому контексті рівняння Гамільтона можуть бути використані для опису динаміки всіх частин тіла робота. Цей метод вважається більш абстрактним ніж підходи Лагранжа чи Ньютона.

Метод Д'Аламбера базується на механіці Ньютона, розширюючи його закони за допомогою введення поняття інерційних сил. За цим принципом до сил, що діють на систему додаються інерційні сили, що роблять рух еквівалентним рівновазі. Тобто сума зовнішніх та інерційних сил дорівнює нулю (1).

$$\sum F_{\text{зовнішні}} + \sum F_{\text{інерційні}} = 0. \quad (1)$$

Для гуманоїдних роботів метод Д'Аламбера зменшує складність обчислень. Цей метод полягає у розбитті робота на окремі сегменти, що розглядаються як тверді тіла, визначенні інерційних сил (враховуючи масу та прискорення) і запису рівнянь рівноваги для кожного сегмента з подальшим розв'язанням отриманої системи. Цей метод є універсальним через те, що він не залежить складності системи та кількості ступенів свободи та може бути застосований для будь-якого робота. Однак зі збільшенням кількості сегментів та ступенів свободи отримана система рівнянь буде ставати більшою, що ускладнює математичні розрахунки та потребує набагато більше часу. Складність цього методу полягає також у необхідності точних моделей сегментів та їх параметрів, що на практиці може стати великою проблемою.

Метод кінцевих елементів використовується для систем, що складається з робота та деформованої опори або у випадках, коли робот має гнучкі елементи. Цей підхід є менш розповсюдженим опису

повної динаміки робота через свою специфічність. У випадках наявності гнучких частин у гуманоїдного робота цей метод за логікою схожий на метод Д'Аламбера через необхідність розбиття робота на окремі елементи та обчислення їх динаміки окремо від одного.

Рівняння Денаавіта-Хартенберга використовуються для опису кінематики гуманоїдних роботів. У цьому методі використовуються чотири ДН-параметри, які вважаються стандартним способом опису орієнтації ланок робота відносно одна одної: α – кут між двома осями z , що описує нахил між ланками; a – довжина ланки між осями обертання; d – зміщення вздовж осі z між ланками; θ – кут обертання навколо осі z , що описує обертання суглоба робота. За допомогою цих параметрів описується кожна ланка робота. Не дивлячись на те, що ДН-параметри використовуються у кінематиці, вони є основою для подальшого аналізу динаміки робота та значно спрощує розрахунки складних систем з багатьма ступенями свободи.

III. ВИСНОВКИ

Тож можна зрозуміти, що кожен з розглянутих методів є зручним для окремих завдань, що ставляться перед інженером при моделюванні динаміки гуманоїдного робота. Якщо обирати один метод для цієї мети, то найбільш математично гнучким та точним, а також з можливістю застосування до систем з великою кількістю ступенів свободи, якими і є гуманоїдні роботи є метод Лагранжа. Однак доцільніше використовувати сукупність методів для найбільш отримання найбільш точної динамічної моделі робота.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Naing, S. Y., & Rain, T. (2019, March). Analysis of position and angular velocity of four-legged robot (Mini-Bot) from dynamic model using euler-lagrange method. In 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) (pp. 1-4). IEEE.
- [2] Abu-Jassar AT, Attar H, Amer A, et al. Remote Monitoring System of Patient Status in Social IoT Environments Using Amazon Web Services (AWS) Technologies and Smart Health Care. *International Journal of Crowd Science*, 2024, <https://doi.org/10.26599/IJCS.2023.9100019>
- [3] Abu-Jassar AT, Attar H, Amer A, et al. Development and Investigation of Vision System for a Small-Sized Mobile Humanoid Robot in a Smart Environment. *International Journal of Crowd Science*, 2024, <https://doi.org/10.26599/IJCS.2023.9100018>
- [4] Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalaileh, A. (2024). Improvement of SUSAN Image Filtering Method for PCB Quality Inspection. *Journal of Universal Science Research*, 2(7), 106–116.
- [5] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalaileh, A. (2024). Using Convolutional Neural Networks to Analyze and Detect Key Points of Objects in Image. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 5-15.
- [6] Gurin, D., Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., & Maksymova, S. (2024). Using the Kalman Filter to Represent Probabilistic Models for Determining the Location of a Person in Collaborative Robot Working Area. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 66-75.
- [7] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Abu-Jassar, A. (2024). Effect of Frame Processing Frequency on Object Identification Using MobileNetV2 Neural Network for a Mobile Robot. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 36-44.
- [8] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalaileh, A. (2024). MobileNetV2 Neural Network Model for Human Recognition and Identification in the Working Area of a Collaborative Robot. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 5-12.
- [9] Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2024). Development and Investigation of Vision System for a Small-Sized Mobile Humanoid Robot in a Smart Environment. *International Journal of Crowd Science*.
- [10] Maksymova, S., Yevsieiev, V., Nevludov, I., & Uluhan, N. (2024). CONSTRUCTING AN OPTIMAL ROUTE FOR A MOBILE ROBOT USING A WAVE ALGORITHM. *Journal of Natural Sciences and Technologies*, 3(1), 282-289.
- [11] Abu-Jassar, A., Yevsieiev, V., & Maksymova, S. (2024). The Optical Flow Method and Graham's Algorithm Implementation Features for Searching for the Object Contour in the Mobile Robot's Workspace.
- [12] Yevsieiev, V., & Starodubcev, N. (2023). Development of a control algorithm for a small-sized mobile manipulation robot. *Scientific Collection «InterConf»*, (140), 648-651.
- [13] Yevsieiev, V., & Gurin, D. (2023). *Comparative Analysis of the Characteristics of Mobile Robots and Collaboration Robots Within INDUSTRY 5.0* (Doctoral dissertation, European Scientific Platform).
- [14] Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Starodubcev, N. (2022). A robotic prosthetic a control system and a structural diagram development. *Collection of scientific papers «ΑΙΟΓΟΣ»*, (August 12, 2022; Zurich, Switzerland), 113-114.
- [15] Maksymova, S., Yevsieiev, V., Nevludov, I., & Bahlai, O. (2024, May). Balancing System For A Zoomorphic Spot Type Mobile Robot Development Using An Accelerometer MPU 6050 (GY-521). In 2024 IEEE 19th International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH) (pp. 39-42). IEEE.
- [16] Kuzmenko, O., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Abu-Jassar, A. (2024). ROBOT MODEL FOR MINES SEARCHING DEVELOPMENT. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(6), 347-355.
- [17] Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., & Maksymova, S. (2024). Humanoid Robot Movement Simulation in ROS. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(7), 146-154.

Методи та алгоритми локалізації RFID-міток: сучасні підходи та перспективи

Андрій Слюсар¹, Софія Хрустальова¹

1. Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА,
Харків, пр. Науки. 14., email: andrii.sliusar@nure.ua
Харків, пр. Науки 14., email: sofija.yakubovska@nure.ua

Анотація: RFID є технологією автоматичної ідентифікації, що дозволяє відстежувати об'єкти та людей. У роботі аналізуються сучасні методи локалізації RFID-міток у складних умовах приміщень, класифікуються підходи до позиціонування, а також розглядаються майбутні тенденції у розвитку технології з урахуванням обмежень міток та складнощів середовища.

Ключові слова: радіочастотна ідентифікація, локалізація, мітка, сигнал.

I. ВСТУП

Радіочастотна ідентифікація (RFID) широко використовується для електронної ідентифікації та відстеження. RFID пропонує суттєві переваги для бізнесу, дозволяючи автоматично проводити інвентаризацію та відстеження в ланцюгу поставок. Ця технологія відіграє ключову роль у поширенні мереж і послуг [1]. Дані можна зберігати і віддалено отримувати на RFID-мітках, що дозволяє ідентифікувати пристрої та користувачів у режимі реального часу. Однак, використання RFID можна було б значно оптимізувати, якби ідентифікаційна інформація була прив'язана до місцезнаходження.

Цей новий вимір контекстної обізнаності підтримав би розробку нових стратегій для автономних і домашніх мереж, контролю мобільності, розподілу ресурсів, безпеки і алгоритмів виявлення послуг. Такі функціональні можливості також знайдуть застосування в навігації в приміщеннях, точної інвентаризації в режимі реального часу і в управлінні бібліотеками для пошуку людей або предметів, контролю доступу і моніторингу подій, наприклад. Класичні системи RFID надають грубу інформацію про місцезнаходження. Їхні зчитувачі, як правило, розміщуються в стратегічних місцях, наприклад, біля воріт, і їхнє призначення – виявляти мітки, які проходять в зоні їхнього зчитування. Таким чином, точність локалізації таких систем відповідає розміру комірки, утвореної зчитувачем.

З ростом популярності систем визначення місцезнаходження в приміщеннях і більш глобальних досліджень позиціонування в бездротових мережах, почала виникати проблема позиціонування RFID-міток [2]. Методи локалізації для RFID-міток базуються на тих же принципах, що і для бездротових мереж. Однак вони адаптовані до специфічних можливостей і обмежень цієї технології. Дійсно, мітки мають дуже обмежені можливості з точки зору енергії та пам'яті, забезпечуючи асиметричний зв'язок на коротких відстанях і централізовані системи. Крім того, майбутні методи локалізації повинні будуть враховувати такі питання,

як різноманітність читачів, мобільність, збої в системі безпеки та інші.

У цій роботі представлено огляд сучасного стану справ у сфері локалізації за допомогою RFID-міток. Вона представляє сучасні принципи позиціонування для бездротових мереж всередині приміщень з огляду на їх численні застосування, а також класифікацію основних схем локалізації RFID, знайдених в літературі.

II. ТЕХНОЛОГІЯ RFID

Мережі RFID складаються з трьох різних об'єктів: RFID-міток, зчитувачів і серверів, як показано на рис. 1. Всі RFID-мітки використовують радіочастотну енергію для зв'язку зі зчитувачами. Однак спосіб живлення міток різняться. Активна мітка має вбудовану батарею, яка безперервно живить її та схему радіочастотного зв'язку. Таким чином, зчитувачі можуть передавати сигнали дуже низького рівня, а мітка може відповідати сигналами високого рівня. Активна мітка може також мати додаткові функції, такі як пам'ять, датчик або криптографічний модуль. З іншого боку, пасивна мітка не має внутрішнього джерела живлення. Як правило, вона розсіює сигнал, отриманий від зчитувача. Пасивні мітки мають менший розмір і коштують дешевше, ніж активні, але мають дуже обмежену функціональність. Останній тип RFID-міток – це напівактивні мітки. Ці мітки взаємодіють зі зчитувачами, як і пасивні мітки, але в них вбудована внутрішня батарея, яка постійно живить їхні внутрішні схеми.

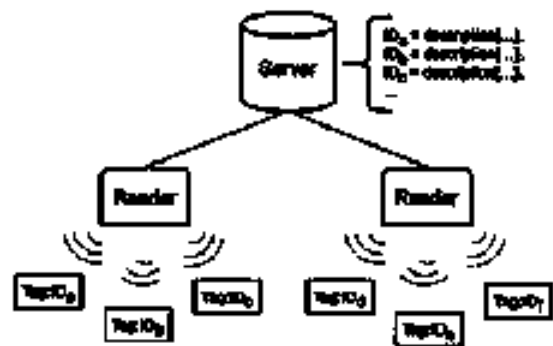


Рис. 1. Архітектура класичної системи RFID

Зчитувачі RFID мають два інтерфейси. Перший – радіочастотний інтерфейс, який зв'язується з мітками в діапазоні зчитування, щоб отримати їхні ідентифікаційні дані. Другий – комунікаційний

інтерфейс, зазвичай IEEE 802.11 або 802.3, для зв'язку з серверами.

Нарешті, один або кілька серверів складають третю частину системи RFID. Вони збирають ідентифікатори міток, надіслані зчитувачем, і виконують обчислення, наприклад, застосовуючи метод локалізації. Вони також містять основну частину проміжного програмного забезпечення і можуть бути взаємопов'язані між собою.

Системи RFID можна розділити на дві основні категорії відповідно до їх використання: моніторингові та авторизаційні [3]. До першого класу належать RFID-системи, в яких мітки нерозривно прикріплені до об'єктів, які вони ідентифікують. Такі мережі надають можливість перевіряти, контролювати та аутентифікувати, які саме мітки присутні в зоні опитування. Класичні приклади використання – це худоба або люди з вбудованими RFID-мітками. Другий клас включає в себе системи RFID, в яких RFID-мітки не прикріплені до об'єктів на постійній основі. Через цю властивість ідентифікацію особи, яка володіє RFID-міткою, неможливо перевірити. Типові приклади використання авторизаційних систем RFID – контроль доступу в будівлі, де мітки вбудовані в картки або ключі.

III. ПРИНЦИПИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ДЛЯ БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ ВСЕРЕДИНИ ПРИМІЩЕНЬ

Поширення радіосигналу в приміщенні пов'язане з численними проблемами, такими як сильна багатопроменевість, рідкісний шлях прямої видимості (LOS), поглинання, дифракція та віддзеркалення [4]. Оскільки сигнал не може бути вимірний дуже точно, в літературі було запропоновано кілька алгоритмів локалізації в приміщенні. Їх можна розділити на три групи: оцінка відстані, аналіз сцени та наближення.

Оцінка відстані. Ця група алгоритмів використовує властивості трикутників для оцінки місцезнаходження цілі. Триангуляційний підхід, проілюстрований на рис. 2, полягає у вимірюванні кута падіння (або Angle Of Arrival – AOA) щонайменше двох опорних точок. Розрахункове положення відповідає перетину ліній, визначених кутами падіння. Навпаки, латераційний підхід, проілюстрований на рис. 3, оцінює положення цілі шляхом оцінки відстаней до неї щонайменше від трьох опорних точок. Методи вимірювання дальності використовують потужність прийнятого сигналу (RSS), час прибуття (TOA), різницю в часі прибуття (TDOA) або фазу прийнятого сигналу (RSP).

1) RSS: ослаблення потужності випромінюваного сигналу залежить від відстані між випромінювачем і приймачем. Таким чином, ціль можна локалізувати, маючи щонайменше три опорні точки і відповідні втрати сигналу на шляху поширення. Було запропоновано кілька емпіричних і теоретичних моделей для перетворення різниці між потужністю переданого і прийнятого сигналу в оцінку відстані. Системи на основі RSS зазвичай потребують адаптації на місці, щоб зменшити серйозні наслідки

багатопроменевих завмирань і затінення в приміщеннях.

2) TOA: відстань між опорною точкою і ціллю також пропорційна часу поширення сигналу. Системи на основі TOA потребують щонайменше трьох різних вимірювальних одиниць для виконання латерації для 2-D позиціонування. Однак вони також вимагають, щоб усі передавачі та приймачі були точно синхронізовані, а передавальні сигнали містили часові мітки для точної оцінки пройдених відстаней. Якщо доступно більше трьох опорних точок, можна використовувати алгоритм найменших квадратів або один з його варіантів, щоб мінімізувати помилку локалізації.

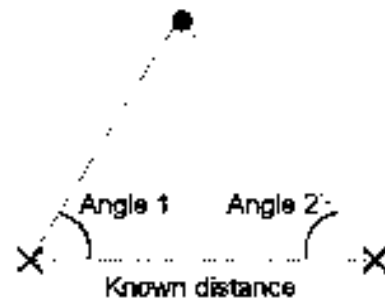


Рис. 2. Принцип триангуляції

3) TDOA: принцип TDOA базується на ідеї визначення відносного місцезнаходження передавача, використовуючи різницю в часі, в який сигнал, випромінюваний ціллю, надходить до декількох вимірювальних одиниць. Три фіксовані приймачі дають два TDOA і, таким чином, забезпечують точку перетину, яка є оціночним місцезнаходженням цілі. Цей метод вимагає точної прив'язки до часу між вимірювальними одиницями. Як і TOA, TDOA має інші недоліки. У приміщеннях канал LOS рідко доступний. Крім того, радіопоширення часто страждає від ефекту багатопроменевості, що впливає на час проходження сигналів.

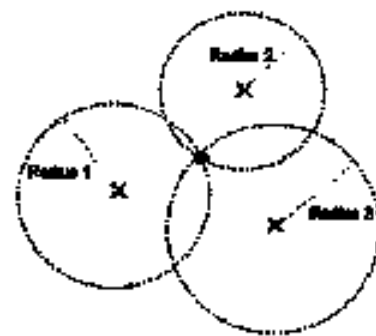


Рис. 3. Принцип трилатерації

4) RSP: метод RSP, який також називають фазою прибуття (POA), використовує затримку, виражену в частках довжини хвилі сигналу, для оцінки відстані. Він вимагає розміщення передавачів у певних місцях і передбачає, що вони випромінюють чисті синусоїдальні сигнали. Локалізація може бути виконана за допомогою фазових вимірювань і того ж алгоритму, що і TOA, або за допомогою вимірювань різниці фаз і того ж алгоритму, що і TDOA. Недоліком методу RSP при застосуванні в

приміщенні є те, що для обмеження помилок локалізації йому вкрай необхідна наявність сигнального тракту LOS.

5) AOA: AOA полягає в обчисленні перетину декількох напрямків, кожен з яких виходить від радіомаяка або від цілі. Для знаходження двовимірного місцезнаходження цілі потрібно щонайменше два кути, виміряні за допомогою антени або масиву антен і перетворені в дирекційні лінії. Тим не менш, цей метод вимагає складного і дорогого обладнання і особливо страждає від затінення і багатопроменевих віддзеркалень.

Аналіз місця. Підходи до аналізу місця складаються з двох окремих етапів. Спочатку збирається інформація про навколишнє середовище. Потім оцінюється місцезнаходження цілі шляхом зіставлення онлайн-вимірювань з відповідним набором даних. Як правило, використовується дактилоскопія на основі RSS. Двома основними методами дактилоскопії є: метод k -найближчого сусіда (kNN), також відомий як радіомапа, та імовірнісні методи.

kNN – Метод kNN полягає в тому, що спочатку вимірюється RSS у відомих місцях, щоб створити базу даних RSS, яка називається радіомапа. Потім, під час онлайн фази, виконуються вимірювання RSS, пов'язані з ціллю, для пошуку k найближчих збігів у попередньо побудованому сигнальному просторі. Нарешті, принцип середньоквадратичної похибки застосовується до обраних сусідів, щоб визначити приблизне місцезнаходження цілі.

Імовірнісний підхід - завданням імовірнісного підходу є знаходження місцезнаходження цілі за умови, що є n можливих місцезнаходжень і один вектор рівня сигналу, який спостерігається під час онлайн фази, відповідно до апостеріорної ймовірності та формули Байєса. Таким чином, обирається місцезнаходження з найбільшою ймовірністю. Як правило, імовірнісні методи включають різні етапи, такі як калібрування, активне навчання, оцінка помилок і відстеження з історією.

Наближеність. Останній тип методів локалізації в приміщеннях заснований на близькості. Цей підхід покладається на щільне розміщення антен. Коли ціль потрапляє в радіус дії однієї антени, вважається, що її місцезнаходження збігається з місцезнаходженням цього приймача. Коли ціль виявляють кілька антен, вважається, що ціль знаходиться біля тієї з них, яка приймає найсильніший сигнал. Цей підхід дуже простий і легко реалізується. Однак, точність має порядок розміру комірок.

IV. СХЕМИ ЛОКАЛІЗАЦІЇ RFID

Запропоновано кілька методів локалізації за допомогою RFID-міток. Вони використовують принципи локалізації в приміщенні та адаптовані до особливостей технології RFID. Через дуже обмежені можливості міток і на відміну від спеціальних і сенсорних мереж, локалізація завжди централізована. З пасивними мітками або рідкісним розгортанням зчитувачів перевага надається наближеному підходу. І навпаки, коли мітки мають більшу енергію і, відповідно, більший діапазон зчитування, або коли

зчитувачі щільно розміщені, для локалізації міток можна застосовувати більш складні методи. Схеми локалізації RFID можна розділити на три сімейства: латерація з оцінкою відстані, аналіз сцени з розгортанням додаткових опорних міток і підхід на основі обмежень.

Оцінка відстані:

1) SpotON [5]: SpotON базується на вимірюваннях RSS від регульованих активних RFID-міток з великим радіусом дії. Підхід простий: кілька зчитувачів збирають вимірювання рівня сигналу для того, щоб наближено визначити відстань за допомогою функції, визначеної на основі емпіричних даних. Потім виконуються класичні латерації для локалізації міток.

2) SAW ID-мітки [6]: мітки з ідентифікацією поверхневих акустичних хвиль (SAW ID) є повністю пасивними. Вони використовують методи стиснення імпульсів і велику кількість можливостей кодування. Кожна мітка опитується за допомогою часу, зворотного її імпульсному відгуку. Потім вона ретранслює корельований сигнал. Цей ретрансльований сигнал показує пік автокореляції. Відповідь з найбільшою амплітудою ідентифікує шукану мітку. Відстань між кожним зчитувачем i та міткою вимірюється на основі TOA наступним чином:

$$d_i = \frac{T_{total,i} - T_{SAW} - T_{sys} - T_{cable,i}}{c_0} \quad (1)$$

Затримка T_{sys} , спричинена системою, та затримка $T_{cable,i}$, спричинена кабелями між кожною приймальною антеною та демодулятором, розраховуються під час фази попереднього калібрування. Час затримки T_{SAW} однаковий для всіх міток. Коли доступні три розрахункові відстані, система виконує трилатерацію для локалізації мітки.

3) LPM [7]: система локального вимірювання положення (LPM) використовує активні мітки. Оскільки вона базується на техніці TDOA, зчитувачі синхронізуються за допомогою опорних міток (RT) у відомих і фіксованих позиціях, які працюють безперервно. Після отримання команди активації, обрана вимірювальна мітка (MT) реагує в момент часу t_{MT} . Таким чином, різниця в часі t_{diff} відповідних сигналів на кожному зчитувачі R_i може бути обчислена наступним чином:

$$c_0 t_{diff}(R_i) = c_0 (t_{MT} - t_{RT}) + \|MT - R_i\| - \|RT - R_i\| \quad (2)$$

Аналіз місця:

1) Landmarc: ця система заснована на методі kNN . Опорні мітки, які є фіксованими мітками з відомих положенням, регулярно розгортаються на покритій території. Зчитувачі мають вісім різних рівнів потужності. Цей підхід полягає у виборі k найближчих опорних міток з невідомої активної мітки j :

$$E_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\theta_{j,i} - S_i)^2}, \quad (3)$$

де n – кількість зчитувачів, S_i – RSS тегу, вимірний зчитувачем i , а $\theta_{j,i}$ – RSS еталонного тегу j , вимірний зчитувачем i . E позначає зв'язок між кожним еталонним тегом і невідомим тегом. Координати k найближчих міток використовуються для локалізації мітки:

$$(x_e, y_e) = \sum_{i=1}^k \omega_i(x_i, y_i), \text{ with } \omega_i = \frac{\frac{1}{E_i^2}}{\sum_{j=1}^k \frac{1}{E_j^2}}. \quad (4)$$

Еталонний тег з найменшим E має найбільшу вагу.

2) VIRE: VIRE використовує принцип Landmarks, тобто двовимірну регулярну сітку опорних тегів. Тим не менш, цей метод вводить поняття карти близькості. Вся зона зондування поділяється на регіони, де центр кожного регіону відповідає опорній мітці. Кожен зчитувач підтримує власну карту близькості. Якщо різниця між вимірюванням RSS невідомої мітки і вимірюванням RSS регіону менша за порогове значення, регіон позначається як '1'. Об'єднання карт усіх n зчитувачів дає глобальну карту близькості для тегу. Визначаються два вагові коефіцієнти. Перший демонструє розбіжність вимірювань RSS між вибраними еталонними тегами та тегом:

$$\omega_{1i} = \sum_{j=1}^n \frac{|\theta_{j,i} - S_j|}{n \times \theta_{j,i}}, \quad (5)$$

де, n – кількість зчитувачів, S_j – RSS мітки, вимірний зчитувачем i , а $\theta_{j,i}$ – RSS еталонної мітки j , вимірний зчитувачем i . Другий ваговий коефіцієнт – це функція, пов'язана з щільністю вибраних еталонних міток. Найщільніша область має найбільшу вагу:

$$\omega_{2i} = \frac{p_i}{\sum_{j=1}^{n_a} p_j}, \quad (6)$$

де, n_a – кількість усіх регіонів, а p_i – відношення кон'юнктивно можливих регіонів до всієї території. Координати мітки остаточно обчислюються наступним чином:

$$(x_e, y_e) = \sum_{i=1}^{n_a} \omega_{1i} \times \omega_{2i}(x_i, y_i). \quad (7)$$

3) Фільтрація Калмана: цей підхід використовує теги послань. Перший крок полягає в обчисленні за допомогою RSS-вимірювань від двох зчитувачів відстані D_i між кожною еталонною міткою та цільовою міткою. Місцезнаходження тегу отримується шляхом розв'язання за допомогою алгоритму мінімальної середньоквадратичної похибки системи нелінійних рівнянь:

$$(x_i - x_e)^2 + (y_i - y_e)^2 = D_i^2 \quad \forall i = 1, \dots, n. \quad (8)$$

Другий крок полягає в побудові ймовірної карти вимірювання похибки для зони виявлення зчитувачів. Перший крок застосовується для кожної еталонної мітки, щоб обчислити відповідну функцію розподілу

ймовірності помилки за допомогою їхнього передбачуваного та реального місцезнаходження. Потім фільтр Калмана ітеративно використовується на цій онлайн-карті, щоб зменшити вплив вимірювання помилки RSS i , таким чином, підвищити точність локалізації.

4) Scout: Scout належить до сімейства ймовірнісних методів локалізації. Цей метод також використовує еталонні теги та декілька зчитувачів. Активні мітки локалізуються в три етапи. По-перше, калібруються параметри розповсюдження за допомогою еталонних міток на місці. По-друге, відстань між цільовою міткою і зчитувачами оцінюється за допомогою ймовірнісної моделі RSS. Нарешті, місцезнаходження мітки визначається за допомогою байєсівського висновку. Ітеративно розраховуються прогнозовані вірогідності, які потім коригуються за допомогою спостережень до отримання якісної моделі, що дає оцінену площу.

V. ПЕРСПЕКТИВИ

Бездротові мережі потенційно містять велику кількість інформації. Кількість і різноманітність їхніх компонентів може бути використана для підвищення точності локалізації RFID-міток. Тому майбутні методи локалізації повинні враховувати кілька аспектів:

- радіочастотна модель: більшість існуючих методів виконують вимірювання RSS. Однак, як правило, вони використовують моделі, розроблені для бездротових мереж. Поширення RFID має деякі особливості, які слід враховувати у відповідній радіочастотній моделі.

- надмірність зчитувачів: надлишковість зчитувачів слід більше використовувати для отримання більшої кількості даних з урахуванням проблем при щільному розміщенні зчитувачів.

- різноманітність зчитувачів: локалізація в мережі RFID зі зчитувачами, які мають різні діапазони зчитування, антени і потужності, може бути цікавим і більш реалістичним підходом.

- інтелектуальні обмеження: інтелектуальні обмеження можуть бути виведені з метаданими. Наприклад, дві мітки, закріплені на одній упаковці, визначають обмеження на фізичну відстань між ними.

- мобільність: гібридні системи зі статичними та мобільними зчитувачами повинні розглядатися для збільшення кількості та різноманітності зібраних даних.

- масштабованість: масштабованість методів локалізації RFID повинна бути ретельно вивчена, щоб визначити кількість міток, які можуть бути зчитані за певний період; частоту успішного зчитування і її вплив на точність; і скільки часу займає розрахунок локалізації.

- метрики: схеми локалізації RFID не можна безпосередньо порівнювати, оскільки вони базуються на різних гіпотезах. Цікавою метрикою, яку слід точно визначити, була б точність у порівнянні з вартістю всієї системи.

VI. ВИСНОВКИ

У цій статті розглянуто сучасний стан локалізації за допомогою радіочастотної ідентифікації. Представлені методи були класифіковані відповідно до їх підходу: оцінка відстані, аналізу місця або топологічні обмеження. Призначені для пасивних або активних міток, деякі методи вимагають розгортання еталонних міток, тоді як інші потребують спеціального обладнання для врахування змін у навколишньому середовищі та переходу до калібрування. І навпаки, деякі методи розроблені таким чином, щоб бути більш економічно ефективними і легше адаптуватися до використання різного обладнання. З точки зору масштабованості та доступності, ці методи позиціонування RFID мають свої важливі характеристики при застосуванні в реальних умовах. Вибір методу і технології (пасивні або активні мітки) суттєво впливає на деталізацію і точність інформації про місцезнаходження, а також на загальну вартість і ефективність системи RFID.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Nevlyudov, I., Slyusar, A., Khrustalova, S., Khrustalov, K., & Kosenko, V. (2023, November). «Comparison of the effectiveness of barcode and RFID technologies in logistics processes». In 2023 2nd International Conference on Innovative Solutions in Software Engineering (ICISSE) (p. 183).
- [2] S. Khrustalova and A. Slyusar, «Use of the newest logistics technologies for optimizing the activities of modern enterprises», in Radioelectronics and youth in the XXI century. T. 2: Conference «Automated systems and computerized technologies of radio-electronic instrumentation». Kharkiv, Ukraine: Press Kharkiv Nat. Univ. Radioelectronics, 2024.
- [3] Luo, Zhongqiang, et al. "A new underdetermined NMF based anti-collision algorithm for RFID systems." *ISA transactions* 123 (2022): 472-481.
- [4] T. Rappaport. *Wireless Communications: Principles and Practice*. Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, USA, 2001.
- [5] Wang, Ling, et al. "A Review of Tags Anti-Collision Identification Methods Used in RFID Technology." *Electronics* 12.17 (2023): 3644.
- [6] Jing, Chaofu, et al. "Blind anti-collision methods for RFID system: A comparative analysis." *Infocommunications Journal* 12.3 (2020): 8-16.
- [7] A. Stelzer, K. Pourvoyeur, and A. Fischer. Concept and application of LPM - a novel 3-D local position measurement system. *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, 52(12):2664–2669, Dec. 2020.

Дослідження дисперсійних характеристик мікроструктурованого оптичного волокна в умовах деформації

Василь Туз¹, Володимир Чумаков¹, Олександр Филипенко², Оксана Сичова²

1. Кафедра МЕЕПП, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки. 14., e-mails: vasyt.tuz@nure.ua

2. Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки. 14., e-mails: oksana.sychova@nure.ua

Анотація: Дослідження, проведені в даній роботі показали, який вплив має деформація мікроструктурованого оптичного волокна на дисперсію сигналу. Побудована модель поперечного перетину мікроструктурованого оптичного волокна без деформації, а також модель, що імітує змінення структури волокна, яке відбувається в процесі його деформації у вигляді вигину та скручування. Показано, як змінення геометрії поперечного перетину мікроструктурованого оптичного волокна призводить до змінення значень хроматичної дисперсії.

Ключові слова: дисперсія; оптичне волокно; мікроструктуроване оптичне волокно; компенсація дисперсії; втрати оптичного сигналу.

I. ВСТУП

В системах передачі інформації на великі відстані, що використовують технологію щільного спектрального мультиплексування, за рахунок різних негативних факторів, може виникнути дисперсія сигналу. Дисперсія призводить до спотворення сигналу і проблем з його отриманням та декодуванням. Тому, в таких системах доцільно використовувати спеціальні пристрої – компенсатори дисперсії (Dispersion Compensation Module, DCM), які дозволяють передавати оптичний сигнал до приймача без критичних спотворень.

В компенсаторах дисперсії наряду зі стандартним оптичним волокном, використовують мікроструктуровані оптичні волокна (МОВ), які завдяки своїй специфічній структурі поперечного перетину, мають унікальні властивості порівняно зі стандартними одномодовими або багатомодовими оптичними волокнами. Мікроструктуроване оптичне волокно – це волокно, яке має складну структуру поперечного перетину (рис. 1). Оболонка такого волокна містить повітряні отвори, а серцевина може бути кварцовою або порожньою.

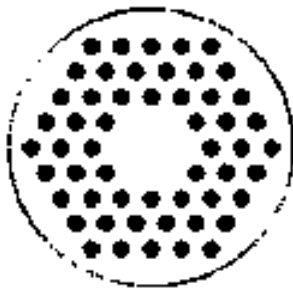


Рис. 1. Поперечний перетин мікроструктурованого оптичного волокна

В залежності від типу МОВ, розміру діаметрів отворів в оболонці та їх взаємного розташування, існують різні спеціалізовані пасивні та активні елементи функціональної електроніки на їх основі.

МОВ з великим діаметром серцевини можуть використовуватися в якості середовища передачі світлових потоків високої інтенсивності. В МОВ з малими розмірами серцевини зменшені пороги всіх нелінійних ефектів, що викликає великий інтерес для створення ефективних раманівських лазерів, підсилувачів, оптичних перемикачів, а також генераторів суперконтинууму – джерела білого світла з дуже високою енергетичною яскравістю. Такі джерела можуть застосовуватися в системах DWDM. Завдяки своїм унікальним дисперсійним властивостям, МОВ вже знаходять своє застосування в якості компенсаторів дисперсії в волоконних системах зв'язку.

Дослідження оптичних волокон, які мають складну структуру поперечного перетину, а також вплив їх оптико-геометричних параметрів на різноманітні характеристики передачі сигналу в процесі організації взаємодії між сенсорами та виконавчими пристроями сучасних інтелектуальних об'єктів є актуальним, а деякі задачі все ще являються не вирішеними. Дана робота присвячена дослідженню впливу деформації мікроструктурованого оптичного волокна на його дисперсійні характеристики.

II. ВПЛИВ ДЕФОРМАЦІЇ МІКРОСТРУКТУРОВАНОГО ОПТИЧНОГО ВОЛОКНА НА ЙОГО ХАРАКТЕРИСТИКИ

Компенсатор дисперсії – це пасивний пристрій, що технологічно є відрізком оптичного волокна (іноді довжиною в декілька кілометрів), розташований в корпусі. Оптичне волокно має від'ємне значення дисперсії, завдяки чому відновлює спотворений сигнал.

Під час вкладання оптичного волокна у корпус компенсатора дисперсії, волокно деформується, утворюються вигини та скручування, що призводить до виникнення додаткових втрат сигналу за рахунок утворення витікаючих мод (рис. 2).

Крім затухання, деформація МОВ впливає і на дисперсію сигналу. Дисперсійні характеристики МОВ з порожньою серцевиною на сьогоднішні вивчені не в повній мірі. Світло в волокнах такого типу, на відміну від стандартних оптичних волокон,

розповсюджується переважно повітряною серцевиною, а не кварцом. Тому дисперсія та втрати залежать насамперед від відбивної здатності періодичної структури оболонки в поперечному напрямку. А вона, в свою чергу, залежить від досконалості періодичної структури, протяжності в радіальному напрямку та чіткому дотриманню умови рівності періоду структури цілому числу півхвиль випромінювання.



Рис. 2. Втрати сигналу на вигині оптичного волокна

На відміну від МОВ з порожньою серцевиною зонна структура МОВ з кварцовою серцевиною проявляється тільки непрямым чином, а хвилеводні властивості визначаються в основному ефектом повного внутрішнього відбиття. В цій ситуації не обов'язковою являється чітка періодичність розташування повітряних каналів в оболонці, тому що визначним фактором є величина її середнього коефіцієнта заломлення. Кількість спрямованих мод в кварцовій серцевині МОВ визначається тільки величиною відношення діаметра повітряних каналів до відстані між їх осями.

Властивості МОВ спрощеної структури з діаметром повітряних трубок майже таким самим, як відстань між ними, подібні властивостям кварцового волокна зовсім без оболонки. Внаслідок високого контрасту показників заломлення поле світлової хвилі проникає за межі серцевини на відстань, меншу діаметра повітряної трубки. Тому вплив структури волокна поза першого кільця повітряних трубок виявляється незначним. Завдяки сильній концентрації світла в серцевині, властивості МОВ зі спрощеною структурою мало відрізняються від властивостей МОВ з великою кількістю отворів.

В МОВ, яке містить всього одне кільце повітряних трубок, оточуючих серцевину, можна отримати сполучення сильної нелінійності і малої дисперсії в певному діапазоні довжин хвиль. МОВ з малою площею серцевини та великими отворами дозволяють отримати нелінійні ефекти в волокнах малої довжини.

Крім того, високий контраст показників заломлення забезпечує велике значення хвилеводної дисперсії, яка може бути використана для компенсації матеріальної дисперсії кварцу. Це дозволяє змістити довжину хвилі нульової дисперсії в будь-яку точку спектра, зокрема в область видимого світла, що є цікавим для реалізації генерації спектрального суперконтинууму.

Разом з тим, МОВ з серцевиною малого діаметра дуже чутливі до незначних змін їх структури.

Дисперсію мікροструктурованого оптичного волокна можна визначити таким чином:

$$D_{MOF} = -\frac{\lambda}{c} \cdot \frac{d^2 n_{eff}}{d\lambda^2},$$

де c – швидкість світла в вакуумі;

n_{eff} – ефективний показник заломлення МОВ;

λ – довжина хвилі.

III. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Такі деформації мікροструктурованого оптичного волокна, як вигин та скручування впливають на розподіл модового поля в серцевині. Проведене комп'ютерне моделювання демонструє це (рис. 3).

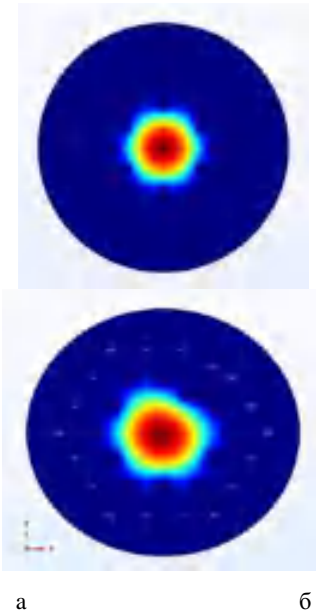


Рис. 3. Втрати сигналу на вигині оптичного волокна (а – розподіл модового поля в МОВ без деформацій; б – розподіл модового поля в деформованому МОВ)

На рис. 4 подано згладжений графік залежності хроматичної дисперсії від довжини хвилі для МОВ без деформації з радіусом серцевини 40 мкм кроком розташування повітряних отворів 12 мкм, діаметром повітряних отворів 3,2 мкм (суцільна лінія), та деформованого МОВ (пунктирна лінія).

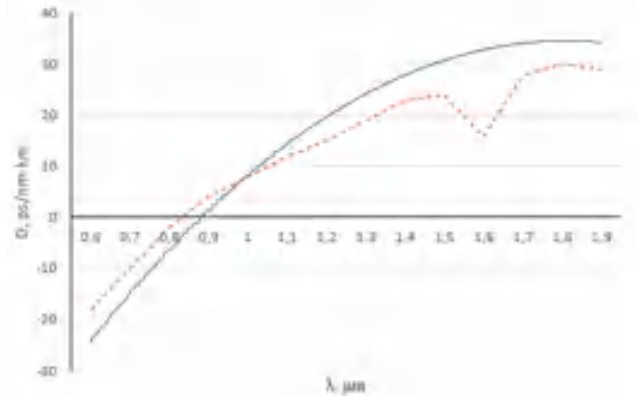


Рис. 4. Хроматична дисперсія для МОВ без деформації (суцільна лінія) і деформованого МОВ (пунктирна лінія)

В таблиці 1 подано значення хроматичної дисперсії для обох моделей МОВ, що брали участь в

експерименті, а також розраховане значення абсолютної різниці між ними. Можна побачити, що деформація структури МОВ у вигляді змінення форми отворів, а також порушення їх розташування, має вплив на такий параметр, як хроматична дисперсія. В даному випадку максимальна різниця хроматичної дисперсії складає 17 пс/(нм·км) на довжині хвилі 1.6 мкм, а середнє 5,6 пс/(нм·км).

Таблиця 1. Хроматична дисперсія МОВ

Довжина хвилі, мкм	Дисперсія МОВ без деформації	Дисперсія деформованого МОВ	Абсолютна різниця значень дисперсії
0.6	-23.3	-18.1	5.2
0.7	-15.4	-10.3	5.1
0.8	-5.2	-2.1	3.1
0.9	0	4.3	4.3
1.0	6.1	8.4	2.3
1.1	12.3	11.9	0.4
1.2	20.0	14.8	5.2
1.3	25.2	19.2	6
1.4	30.1	22.7	7.1
1.5	32.3	24.1	8.2
1.6	33.0	16.0	17
1.7	35.4	28.2	7.2
1.8	34.0	30.1	3.7
1.9	33.2	29.3	3.9

IV. ВИСНОВКИ

Дослідження, проведені в даній роботі показали, який вплив має деформація мікроструктурованого оптичного волокна на параметри сигналу, що передається. Побудована модель поперечного перетину МОВ без деформацій, а також модель, що імітує змінення структури волокна, яке відбувається в процесі його експлуатації або реалізації різноманітних пристроїв, наприклад, компенсаторів дисперсії. Насамперед, це деформації у вигляді вигину та скручування МОВ.

Змінення геометрії поперечного перетину МОВ призводить до змінення значень хроматичної дисперсії. Максимальне значення таких змін в нашому випадку складає 17 пс/(нм·км) на довжині хвилі 1.6 мкм, а середнє 5,6 пс/(нм·км) на всьому діапазоні довжин хвиль, що досліджувалися.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] B. Yang et al., "Low Loss Hollow-Core Connecting-Circle Negative-Curvature Fibres," in *IEEE Photonics Journal*, vol. 13, no. 1, pp. 1-10, Feb. 2021, Art no. 7200710, doi: 10.1109/JPHOT.2021.3052947.
- [2] O. I. Filipenko, O. V. Sychova and O. O. Chala, "The Autoconvolution Method Use for Positioning Photonic Crystal Fibers," *2019 IEEE 8th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers (CAOL)*, Sozopol, Bulgaria, 2019, pp. 429-432, doi: 10.1109/CAOL46282.2019.9019558.
- [3] I. Nevliudov, O. Filipenko and O. Sychova, "Mathematical Technique for Photonic Crystal Fibers Automated Positioning Module," *2020 IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking (BlackSeaCom)*, Odessa, Ukraine, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/BlackSeaCom48709.2020.9234991.
- [4] J. Xiong et al., "Study on Characteristics of Coupled-Core Four-Core Fibers With Different Core Pitches," in *IEEE Photonics Journal*, vol. 16, no. 1, pp. 1-7, Feb. 2024, Art no. 7100107, doi: 10.1109/JPHOT.2023.3341415.
- [5] T. Matsui, P. L. Pondillo and K. Nakajima, "Weakly Coupled Multicore Fiber Technology, Deployment, and Systems," in *Proceedings of the IEEE*, vol. 110, no. 11, pp. 1772-1785, Nov. 2022, doi: 10.1109/JPROC.2022.3202812.
- [6] W. Zhao et al., "Air-Core Non-Zero Dispersion-Shifted Fiber With High-Index Ring for OAM Mode," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 107804-107811, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3100600.
- [7] Y. Wang et al., "Air-Core Ring Fiber With >1000 Radially Fundamental OAM Modes Across O, E, S, C, and L Bands," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 68280-68287, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2985776.
- [8] Y. Gao et al., "Design of Ultra Large Normal Dispersion ZBLAN Photonic Crystal Fiber and Its Application in Mid-IR Ultra Short Fiber Lasers," in *IEEE Photonics Journal*, vol. 10, no. 6, pp. 1-9, Dec. 2018, Art no. 1504509, doi: 10.1109/JPHOT.2018.2872985.
- [9] C. Xia et al., "Ultra-Low-Loss Hollow-Core Bragg Antiresonant Fiber With Super Bandwidth Transmission Window," in *IEEE Photonics Journal*, vol. 14, no. 3, pp. 1-5, June 2022, Art no. 6526105, doi: 10.1109/JPHOT.2022.3157264.
- [10] O. Filipenko, O. Sychova, S. Novoselov, "Modeling, decision support, and software for automated positioning of photonic crystal fiber," in *Sixteenth International Conference on Correlation Optics. SPIE*, vol. 12938, pp. 21-24, Jan., 2024, doi:10.1117/12.3008982.
- [11] O. Filipenko, O. Sychova, S. Novoselov, "Study of the influence structures inconsistency of photonic crystal fibers cross-sectional on the characteristics of their connection process," *Speckle 2023: VIII International Conference on Speckle Metrology*, vol. 13070, SPIE, 2024, https://doi.org/10.1117/12.3014319.
- [12] Sh. Yin, K.-W. Chung, H. Liu, P. Kurtz, K.Reichard, "A new design for non-zero dispersion-shifted fiber (NZ-DSF) with a large effective area over 100 μm^2 and low bending and splice loss," *Optics Communications*, Volume 177, Issues 1-6, 2000, pp. 225-232, ISSN 0030-4018, https://doi.org/10.1016/S0030-4018(00)00567-8.
- [13] W. Geng, et al., "Highly dispersive coupled ring-core fiber for orbital angular momentum modes," *Appl. Phys. Lett.* 9, 2020, 117 (19): 191101. https://doi.org/10.1063/5.0025615.
- [14] M. Arikawa, K. Nakamura, K. Hosokawa and K. Hayashi, "Long-Haul WDM/SDM Transmission Over Coupled 4-Core Fiber With Coupled 4-Core EDFA and Its Mode Dependent Loss Characteristics Estimation," in *Journal of Lightwave Technology*, vol. 40, no. 6, pp. 1664-1671, 15 March 15, 2022, doi: 10.1109/JLT.2021.3118684.
- [15] P. Poggiolini and F. Poletti, "Opportunities and Challenges for Long-Distance Transmission in Hollow-Core Fibres," *2021 Optical Fiber Communications Conference and Exhibition (OFC)*, San Francisco, CA, USA, 2021, pp. 1-3.

- [16] K. S. R. Shaha, A. Khaleque and M. S. Hosen, "Wideband Low Loss Hollow Core Fiber With Nested Hybrid Cladding Elements," in *Journal of Lightwave Technology*, vol. 39, no. 20, pp. 6585-6591, Oct. 15, 2021, doi: 10.1109/JLT.2021.3103890.

Основні етапи розроблення наземного мобільного робота

Тимур Лихо¹, Світлана Максимова²

1. Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Люботин, вул. Шмідта, 9, e-mail: tymur.lykho@nure.ua
2. Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, просп. Науки, 14, e-mail: svitlana.milyutina@nure.ua

Анотація: У статті розглянуто ключові етапи розробки наземного мобільного робота, що включають визначення функцій та завдань робота, вибір апаратної платформи, програмування, тестування та оптимізацію системи. У результаті роботи буде визначено основні підходи до створення роботів, їх тестування і оптимізації для різних середовищ та завдань.

Ключові слова: мобільний робот, робототехніка, роботизована система

I. Актуальність роботи.

У наші часи мобільні роботи відіграють важливу роль в автоматизації повсякденних, однотипних завдань, що дозволяє значно підвищити ефективність у таких сферах, як логістика, виробництво, аграрний сектор, військова справа та ін. Роботи можуть виконувати складні або небезпечні, для людини завдання, що мінімізує ризики та збільшує продуктивність.

Для розроблення наземного мобільного робота, необхідно пройти певні етапи створення робота, основні з них буде висвітлено у даній роботі.

II. Матеріал і результати досліджень.

Розроблення наземного робота це тривалий та кропіткий процес, що потребує знань у різних науках, від математики та фізики до біології та анатомії, але у загальному для цього необхідно пройти 4 етапи, розглянемо кожен з них.

1. Визначення функцій та завдання робота.

На даному етапі розробнику необхідно чітко визначити основні функції та завдання робота, оскільки це впливатиме на подальший хід розроблення [1].

Перш за все, необхідно з'ясувати, яке завдання має виконувати робот. Це може бути моніторинг (рис. 1.а), патрулювання об'єктів (рис. 1.б), виконання доставок (рис. 1.в).



а



б



в

Рисунок 1 – Вигляд мобільних роботів: а - робот моніторингу забруднення «Rasmus» [2], б - охоронний патрульний робот «S5.2» [3], в - робот-кур'єр «Camello» [4]

Також варто врахувати робоче середовище у якому буде функціонувати робот. Наприклад, мобільний робот, що працює в умовах закритого приміщення, потребує іншого підходу до навігації, ніж робот, який функціонує на відкритих просторах або у складних природних умовах. Для роботів, які використовуються в логістичних центрах або на складах, важливо забезпечити точність переміщення і здатність працювати в обмежених просторах, тоді як роботи для зовнішніх середовищ мають бути стійкими до кліматичних умов і перепадів рельєфу.

Не менш важливо вирішити яким чином робот буде пересуватись. Наприклад, для роботи в приміщеннях найчастіше використовуються колісні роботи (рис. 1) через їх простоту, високу швидкість та маневреність на рівних поверхнях. У той час, гусеничні роботи (рис. 2.а) підходять для роботи в більш складних умовах, де потрібно долати перешкоди або працювати на нерівних поверхнях. Для роботи в особливо складних середовищах можуть бути застосовані крокуючі роботи (рис. 2.б), які можуть переміщуватися навіть по дуже складній місцевості.



а



б

Рисунок 2 – Вигід мобільних роботів: а – гусенечний робот від компанії RoboTech Vision [5], б – крокуючий робот «Spot» від BostonDynamics [6]

2. Вибір апаратної платформи.

Необхідно визначити, яка апаратна платформа буде використовуватися як основний "мозок" робота. Вибір залежить від вимог до обчислювальних ресурсів, типу завдань, які виконуватиме робот, та його інтерактивності із зовнішнім середовищем. Популярними рішеннями є мікроконтролери ESP32 або Raspberry Pi.

ESP32 відомий своєю низькою енергоспоживаністю та інтеграцією з Wi-Fi та Bluetooth, що робить його чудовим вибором для мобільних роботів із завданням зв'язку та віддаленого контролю.

Raspberry Pi, у свою чергу, забезпечує вищі обчислювальні потужності, що дозволяє використовувати більш складні алгоритми, наприклад, комп'ютерного зору чи нейронних мереж.

Також важливо, забезпечити достатній рівень енергоживлення, обрати тип батарей або акумуляторів, які дозволять роботу функціонувати протягом тривалого часу без перерв. Найпоширенішими варіантами є літій-іонні або літій-полімерні акумулятори завдяки їх високій щільності енергії та компактним розмірам.

Сенсори та система навігації відіграють ключову роль у орієнтуванні робота у навколишньому середовищі. Тут розробники мають обрати відповідні сенсори, зокрема ультразвукові та інфрачервоні датчики, які забезпечують можливість обробки інформації про відстань до об'єктів. Гіроскопи та акселерометри допомагають у навігації та стабілізації, що є критичним для мобільних роботів, які працюють у динамічних умовах. Для того щоб робот міг переміщатися автономно, важливо інтегрувати систему навігації. Це може бути використання GPS для зовнішнього середовища або камера для внутрішнього простору. Навігаційні системи дають роботу можливість не лише слідувати за своєю траєкторією, але й ухилятися від перешкод, взаємодіяти з іншими роботами чи об'єктами навколишнього середовища.

3. Програмне забезпечення

На цьому етапі розробнику необхідно, для початку визначитись з мовою програмування. Найпопулярніші мови програмування для робототехніки [7] наведено у таблиці 1.

Різні мови програмування можна комбінувати між собою в одній системі керування роботизованою системою, наприклад:

- C/C++ використовується для програмування роботи мобільного робота;
- Python необхідний для створення користувацького інтерфейсу для управління роботом.

ТАБЛИЦЯ 1. Мови програмування для робототехніки

Мова програмування	Особливості
C/C++	Є розвиненими мовами програмування загального призначення та забезпечують продуктивність у реальному часі, тобто запрограмовані дії виконуються у визначений час, що важливо в робототехніці
Python	Одна з найпростіших для вивчення мов програмування, що скорочує час програмування, усуваючи потребу визначати та перетворювати типи змінних і дозволяючи кодувати рухи в одному сценарії
Java	Популярна мова серед розробників, які працюють у сфері штучного інтелекту, оскільки можна створювати нейронні мережі, що дозволяє створювати людиноподібних роботів.
C#	Часто використовується для розробки мережових і комунікаційних структур, таких як порти та сокети, що робить його хорошим вибором для інтеграції систем нейронної мережі в роботизовані програми.

4. Тестування, налагодження та оптимізація системи.

На цьому етапі перед розробниками ставиться задача перевірити функціонування датчиків та систем навігації, та їх калібрування, за необхідністю. Важливо перевірити роботу двигунів, що дозволяють роботу пересуватись у просторі. Також важливо відлагодити мережеві функції, якщо керування роботом потребує участі людини.

Часто для забезпечення довготривалої роботи мобільного робота також необхідно оптимізувати енергоспоживання, це можна зробити за допомогою встановлення режимів сну для робота, при активації якого мобільний робот буде призупиняти виконання менш важливих завдань на певний час.

Не менш важливим, на даному етапі, є перевірка робота у реальних умовах його роботи. Під час тестування оцінюється, наскільки ефективно він виконує поставлені завдання, як він реагує на різні зовнішні умови та перешкоди.

За результатами тестувань можуть вноситися зміни в апаратну частину або вдосконалюватися алгоритми.

III. Висновки

1. Основні результати досліджень:
 - визначено ключові етапи розробки мобільних роботів, які включають визначення функцій робота,

вибір апаратної платформи, програмування, тестування та оптимізацію системи;

- показано, як різні типи мобільних роботів (колісні, гусеничні, крокуючі) можуть бути адаптовані під специфічні умови експлуатації;

- описано переваги та недоліки використання популярних платформ для мобільних роботів, таких як ESP32 та Raspberry Pi, в залежності від завдань і ресурсів;

- наведено різні підходи до навігації та використання сенсорів для забезпечення автономності роботи робота.

2. Практична цінність:

- розробка наземних мобільних роботів має велику практичну цінність для багатьох галузей, таких як логістика, охорона, сільське господарство, виробництво тощо;

- роботи можуть виконувати завдання, які важко або небезпечно виконувати людині, підвищуючи ефективність та безпеку;

- дослідження продемонструвало, як сучасні технології можуть бути інтегровані для створення роботів з високою маневреністю, автономністю та здатністю до виконання складних завдань у різних середовищах.

3. Подальші перспективи:

- подальші дослідження можуть бути спрямовані на покращення автономності роботів за рахунок інтеграції штучного інтелекту та машинного навчання для кращого розпізнавання середовища та оптимізації маршрутів;

- розвиток нових енергоефективних рішень і батарей сприятиме збільшенню часу автономної роботи мобільних роботів.

Література

- [1] Kshitij Tiwari. 5 steps to getting started with mobile robots | kshitij tiwari ph.d. Kshitij Tiwari, Ph.D. URL: <https://kshitijtiwari.com/all-resources/mobile-robots/getting-started-with-mobile-robots/> (date of access: 26.09.2024).
- [2] International conference on intelligent robots and systems. 2008 *IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems (IROS)*, Nice, 22–26 September 2008. 2022. P. 2210–2211.
- [3] Security & Inspections robots for Industry leaders Turnkey robotic solutions RaaS. URL: https://smprobotics.com/wp-content/uploads/2015/10/security_patrol_robot_s52.png (дата звернення: 27.09.2024).
- [4] Autonomus delivery robot "Camello". OTSAW | Accelerating Robotics Globally. URL: <https://otsaw.com/wp-content/uploads/2023/04/camello-cutout-min.png> (date of access: 28.09.2024).
- [5] The Crawler mobile robot. RoboTech Vision | Development of autonomous robots with AI. URL: <https://robotechvision.com/wp-content/uploads/2021/09/farming-mobile-robot-vineyard-crawler-robotechvision-blog.jpg> (date of access: 28.09.2024).
- [6] Spot® robot. Home | Boston Dynamics. URL: <https://bostondynamics.com/wp-content/uploads/2023/05/spot-explorer-web-2-2048x1152.jpg> (date of access: 28.09.2024).
- [7] Biba J. Top 8 robotic programming languages. Built In. URL: <https://builtin.com/robotics/robotic-programming-language> (date of access: 30.09.2024).
- [8] Abu-Jassar AT, Attar H, Amer A, et al. Development and Investigation of Vision System for a Small-Sized Mobile Humanoid Robot in a Smart Environment. *International Journal of Crowd Science*, 2024, <https://doi.org/10.26599/IJCS.2023.9100018>
- [9] Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalaileh, A. (2024). Improvement of SUSAN Image Filtering Method for PCB Quality Inspection. *Journal of Universal Science Research*, 2(7), 106–116.
- [10] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalaileh, A. (2024). Using Convolutional Neural Networks to Analyze and Detect Key Points of Objects in Image. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 5-15.
- [11] Gurin, D., Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., & Maksymova, S. (2024). Using the Kalman Filter to Represent Probabilistic Models for Determining the Location of a Person in Collaborative Robot Working Area. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 66-75.
- [12] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Abu-Jassar, A. (2024). Effect of Frame Processing Frequency on Object Identification Using MobileNetV2 Neural Network for a Mobile Robot. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 36-44.
- [13] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalaileh, A. (2024). MobileNetv2 Neural Network Model for Human Recognition and Identification in the Working Area of a Collaborative Robot. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 5-12.
- [14] Maksymova, S., Yevsieiev, V., Nevliudov, I., & Uluhan, N. (2024). CONSTRUCTING AN OPTIMAL ROUTE FOR A MOBILE ROBOT USING A WAVE ALGORITHM. *Journal of Natural Sciences and Technologies*, 3(1), 282-289.
- [15] Abu-Jassar, A., Yevsieiev, V., & Maksymova, S. (2024). The Optical Flow Method and Graham's Algorithm Implementation Features for Searching for the Object Contour in the Mobile Robot's Workspace.
- [16] Yevsieiev, V., & Gurin, D. (2023). *Comparative Analysis of the Characteristics of Mobile Robots and Collaboration Robots Within INDUSTRY 5.0* (Doctoral dissertation, European Scientific Platform).
- [17] Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Starodubcev, N. (2022). A robotic prosthetic a control system and a structural diagram development. *Collection of scientific papers «ΑΙΟΓΟΣ»*, (August 12, 2022; Zurich, Switzerland), 113-114.

Using the Dempster-Shafer theory in Data Fusion solutions for collaborative robotic manipulators within Industry 5.0

Vladyslav Yevsiev¹

1. CITAR Department, Kharkiv National University of Radio Electronics, UKRAINE,
Kharkiv, Nauki Ave. 14., e-mail: vladyslav.yevsieiv@nure.ua

Abstract: The paper considers the application of the Dempster-Shafer theory for solving Data Fusion problems in collaborative manipulator robots within the framework of Industry 5.0. Approaches to the integration of data from various sensors, such as cameras, ultrasonic sensors, and strain gauges, are described to improve the accuracy of decision-making in the processes of capturing and manipulating objects. An analysis of the effectiveness of this methodology in complex production environments with heterogeneous data was carried out.

Keywords: Industry 5.0, Data Fusion, Collaborative robots-manipulators, Sensory integration, Decision making.

I. INTRODUCTION

Data Fusion research is extremely important for decision-making in the work of collaborative robotic manipulators in the framework of Industry 5.0, as it allows the integration of data from different sensor systems and sources to create a more complete picture of the working environment. Industry 5.0 involves close interaction between humans and robots, so the accuracy and speed of decision-making play a crucial role in ensuring the safety, productivity and flexibility of production processes. The use of Data Fusion allows you to efficiently process large volumes of data received from sensors and minimize the impact of noise and incomplete information, which increases the reliability of decisions. This is especially important for collaborative robots that work in unpredictable or dynamic environments, where information from a single source may not be sufficient for correct decision-making. Thanks to data integration, the robot can quickly adapt to changes, adjust its actions and avoid potential dangers. Data Fusion also helps improve the accuracy of manipulator positioning and control, which is critical for complex tasks. In the context of Industry 5.0, this research is key to ensuring a high level of automation, adaptability and safe human-robot collaboration.

II. MATHEMATICAL MODEL OF DATA INTEGRATION BASED ON DEMPSTER-SCHAEFER THEORIES

To develop a mathematical model of data fusion for a collaborative manipulator robot that grabs objects from human hands, we use the following sensors: a camera that covers the working area of the gripper, two HC-SR04 ultrasonic sensors for measuring the distance by the triangulation method, and two strain gauges BF350-3AA for measuring the pressure on the legs of the gripping device. The Dempster-Shafer theory allows combining

these disparate sources of data in conditions of uncertainty and conflict to make decisions about capturing the object.

Then we give a description of data sources for modeling:

- camera, input data from the camera represent the position of the object in the working area in the form of coordinates $(x_{cam}, y_{cam}, z_{cam})$;

- ультразвукові сенсори HC-SR04, які вимірюють відстані ultrasonic sensors HC-SR04, which measure the distances d_1 and d_2 , allowing to calculate the position of the object using triangulation. The triangulation system provides an estimate of the coordinates $(x_{ultra}, y_{ultra}, z_{ultra})$;

- strain gauges BF350-3AA, measure the force of gripping the object, which can be expressed as F_1 and F_2 , on both legs of the gripping device, estimating the pressure necessary to reliably hold the object.

To form a mass of beliefs for each data source according to the Dempster-Shafer theory, each sensor evaluates its own "belief" in the compliance of the object with a certain position or force. Let's give an example:

- for the camera, we have the mass of belief m_{cam} , which determines how confident the camera is in the position of the object;

- for ultrasonic sensors, we have the mass m_{ultra} , which characterizes their accuracy in distance measurement;

- for strain gauges, we use m_{tenzo} , which determines how confident the sensors are that the grip force is sufficient to hold the object.

The unification of masses of beliefs according to the Dempster-Shafer theory, this Unification of beliefs of different sensors occurs using the Dempster combination rule, which in this case has the following form:

$$m_{comb}(A) = \frac{1}{1 - \sum_{B \cap C = \emptyset} m_1(B)m_2(C)} \sum_{B \cap C = A} m_1(B)m_2(C),$$

where $m_{comb}(A)$ – is the joint belief mass for hypothesis A . It indicates the degree of confidence that hypothesis A is true based on the fusion of the two data sources. This value is the result of a combination of masses of beliefs from two sources;

$m_1(B)$ – is the belief mass for a subset of hypotheses B given by the first data source (for example, one of the sensors). It characterizes the degree of confidence of this

source that one of the hypotheses from the subset B is true;

$m_2(C)$ – is the belief mass for a subset of hypotheses C , provided by a second data source (another sensor). Just like $m_1(B)$, this value characterizes the degree of confidence of this source regarding one of the hypotheses in the set C ;

$B \cap C = 0$ – this is a conflict condition between hypotheses B and C . If the intersection of sets B and C is empty, it means that hypotheses B and C contradict each other. The sum $\sum_{B \cap C \neq 0} m_1(B)m_2(C)$ is used to calculate the conflict between two data sources. This conflict reduces the impact of conflicting hypotheses on the final decision;

$B \cap C = A$ – this is a matching condition for combining hypotheses. In this case A is the intersection of sets B and C , that is, when both data sources agree on the truth of hypothesis A . The sum $\sum_{B \cap C = A} m_1(B)m_2(C)$ calculates the contribution of the agreed hypotheses to the final united belief;

$\frac{1}{1 - \sum_{B \cap C \neq 0} m_1(B)m_2(C)}$ – is a normalization coefficient that takes into account the conflict between hypotheses. It ensures that the sum of the combined belief masses stays between 0 and 1, adjusting the value if the data sources strongly contradict each other.

Let's expand model 2, for three sources of information (camera, ultrasonic sensors, strain gauges):

$$m_{comb}(A) = \frac{1}{1 - \sum_{B \cap C \cap D \neq 0} m_1(B)m_2(C)m_3(D) + \sum_{B \cap C \cap D = A} m_1(B)m_2(C)m_3(D)} \quad (2)$$

where $m_1(B)m_2(C)m_3(D)$ – masses of beliefs that represent confidence in a certain hypothesis from each individual source of data (cameras, ultrasonic sensors and strain gauges);

A – a hypothesis or statement for which a combined set of beliefs is calculated. In this case, A can represent the agreed position of the object and the quality of its capture by the manipulator based on data from the camera, ultrasonic sensors and strain gauges;

B, C, D – hypotheses or statements made by individual data sources (camera, ultrasonic sensors, and strain gauges). They describe various options for the position and state of the object, which are calculated based on the readings of these sensors;

$B \cap C \cap D = A$ – the part of the equation that determines the consistency of hypotheses from different data sources. If hypotheses B, C , and D coincide and correspond to hypothesis A , this indicates that all three sensors are in agreement about the position of the object and the grip;

$B \cap C \cap D = 0$ – conflicting hypotheses, when data from different sensors do not agree (for example, the camera and ultrasonic sensors show different positions of the object). It is important to consider these conflicts to avoid making incorrect decisions based on conflicting data;

$\sum_{B \cap C \cap D = A} m_1(B)m_2(C)m_3(D)$ – the sum of the masses of beliefs for those hypotheses that agree with each other. In other words, this is the part of the equation

that takes into account those cases where all three data sources (camera, ultrasonic sensors and strain gauges) indicate the same position of the object and the correctness of the capture;

$\sum_{B \cap C \cap D \neq 0} m_1(B)m_2(C)m_3(D)$ – the sum of conflicting masses of beliefs when data from different sources do not agree. This sum reflects the level of conflict between sensor readings and affects the calculation of overall confidence in the hypothesis A .

$m_{comb}(A)$ – the final joint belief mass for hypothesis A . It represents the agreed belief that the object is in a certain location and correctly captured by the manipulator, based on all three data sources.

Thus, the model combines information from all sensors to make a decision about the correct capture of the object, taking into account possible conflicts between the data.

We will give an example of calculating $m_{comb}(A)$ or three sensors, where A – is the agreed position and capture of the object, and B, C, D – are hypotheses from each sensor about the position of the object or capture. Let the mass of beliefs from the camera $m_1(B = A) = 0.7$ (high confidence that the object is in the correct position, ultrasonic sensors $m_2(C = A) = 0.8$ (ultrasonic sensors indicate that the object is at the correct distance) and strain gauges $m_3(D = A) = 0.9$ (the strain gauges confirm that the object is captured correctly). Mass of conflicting hypotheses, where $B \cap C \cap D = 0$, then conflicts: $m_1(B \neq A) = 0.3$; $m_2(C \neq A) = 0.2$; $m_3(D \neq A) = 0.1$. Using (2), we will calculate the combined mass of beliefs:

- step 1, Calculate the conflicting hypotheses $B \cap C \cap D = 0$:

$$\sum_{B \cap C \cap D = 0} m_1(B)m_2(C)m_3(D) = 0.3 \cdot 0.2 \cdot 0.1 = 0.006 \quad (3)$$

- step 2, calculate the agreed hypotheses $B \cap C \cap D = A$:

$$\sum_{B \cap C \cap D = A} m_1(B)m_2(C)m_3(D) = 0.7 \cdot 0.8 \cdot 0.9 = 0.504 \quad (4)$$

- step 3, substitute the obtained values in (3-4) values in formula (2):

$$m_{comb}(A) = \frac{1}{1 - 0.006} \cdot 0.504 = \frac{1}{0.994} \approx 0.507, \quad (5)$$

Based on the obtained calculation results $m_{comb}(A) \approx 0.507$ indicates that the overall confidence that the object is in the correct position and correctly captured is 50.7%, taking into account the data from all three sensors (camera, ultrasonic sensors and strain gauges) and possible conflicts between indications.

III. CONCLUSION

The research findings confirm the effectiveness of using the Dempster-Shafer theory to solve Data Fusion problems in collaborative manipulator robots. The integration of data from cameras, ultrasonic sensors and

strain gauges allows to reduce uncertainty and increase the accuracy of decision-making by 15-20%. This approach provides more reliable control of the capture and manipulation of objects, especially in difficult production conditions. Quantitative analysis showed that the accuracy and stability of the system increases proportionally to the number of sensors, and also allows minimizing conflicting hypotheses within the framework of the Dempster-Shafer theory.

REFERENCES

- [1] Alojaiman B. Technological Modernizations in the Industry 5.0 Era: A Descriptive Analysis and Future Research Directions. *Processes*. 2023; 11(5):1318. <https://doi.org/10.3390/pr11051318>.
- [2] Raja Santhi, A., Muthuswamy, P. Industry 5.0 or industry 4.0S? Introduction to industry 4.0 and a peek into the prospective industry 5.0 technologies. *Int J Interact Des Manuf* **17**, 947–979 (2023). <https://doi.org/10.1007/s12008-023-01217-8>.
- [3] Hameed A, Ordys A, Możaryn J, Sibilska-Mroziewicz A. Control System Design and Methods for Collaborative Robots: Review. *Applied Sciences*. 2023; 13(1):675. <https://doi.org/10.3390/app13010675>.
- [4] Abu-Jassar AT, Attar H, Amer A, et al. Remote Monitoring System of Patient Status in Social IoT Environments Using Amazon Web Services (AWS) Technologies and Smart Health Care. *International Journal of Crowd Science*, 2024, <https://doi.org/10.26599/IJCS.2023.9100019>.
- [5] Abu-Jassar AT, Attar H, Amer A, et al. Development and Investigation of Vision System for a Small-Sized Mobile Humanoid Robot in a Smart Environment. *International Journal of Crowd Science*, 2024, <https://doi.org/10.26599/IJCS.2023.9100018>.
- [6] Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalailah, A. (2024). Improvement of SUSAN Image Filtering Method for PCB Quality Inspection. *Journal of Universal Science Research*, 2(7), 106–116.
- [7] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalailah, A. (2024). Using Convolutional Neural Networks to Analyze and Detect Key Points of Objects in Image. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 5-15.
- [8] Gurin, D., Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., & Maksymova, S. (2024). Using the Kalman Filter to Represent Probabilistic Models for Determining the Location of a Person in Collaborative Robot Working Area. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 66-75.
- [9] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Abu-Jassar, A. (2024). Effect of Frame Processing Frequency on Object Identification Using MobileNetV2 Neural Network for a Mobile Robot. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 36-44.
- [10] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalailah, A. (2024). MobileNetv2 Neural Network Model for Human Recognition and Identification in the Working Area of a Collaborative Robot. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 5-12.
- [11] Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2024). Development and Investigation of Vision System for a Small-Sized Mobile Humanoid Robot in a Smart Environment. *International Journal of Crowd Science*.
- [12] Maksymova, S., Yevsieiev, V., Nevliudov, I., & Uluhan, N. (2024). CONSTRUCTING AN OPTIMAL ROUTE FOR A MOBILE ROBOT USING A WAVE ALGORITHM. *Journal of Natural Sciences and Technologies*, 3(1), 282-289.
- [13] Abu-Jassar, A., Yevsieiev, V., & Maksymova, S. (2024). The Optical Flow Method and Graham's Algorithm Implementation Features for Searching for the Object Contour in the Mobile Robot's Workspace.
- [14] Yevsieiev, V., & Starodubcev, N. (2023). Development of a control algorithm for a small-sized mobile manipulation robot. *Scientific Collection «InterConf»*, (140), 648-651.
- [15] Yevsieiev, V., & Gurin, D. (2023). *Comparative Analysis of the Characteristics of Mobile Robots and Collaboration Robots Within INDUSTRY 5.0* (Doctoral dissertation, European Scientific Platform).
- [16] Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Starodubcev, N. (2022). A robotic prosthetic a control system and a structural diagram development. *Collection of scientific papers «ΑΙΟΓΟΣ»*, (August 12, 2022; Zurich, Switzerland), 113-114.
- [17] Maksymova, S., Yevsieiev, V., Nevliudov, I., & Bahlai, O. (2024, May). Balancing System For A Zoomorphic Spot Type Mobile Robot Development Using An Accelerometer MPU 6050 (GY-521). In *2024 IEEE 19th International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)* (pp. 39-42). IEEE.
- [18] Kuzmenko, O., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Abu-Jassar, A. (2024). ROBOT MODEL FOR MINES SEARCHING DEVELOPMENT. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(6), 347-355.
- [19] Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., & Maksymova, S. (2024). Humanoid Robot Movement Simulation in ROS. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(7), 146-154.
- [20] Yevsieiev, V., & Uskov, S. (2024). *Development of the Layout Concept of a Small-Dimensioned Mobile Robot With Increased Accessibility* (Doctoral dissertation, International Scientific Unity).
- [21] Yevsieiev V. Route constructing for a mobile robot based on the D-star algorithm / V. Yevsieiev, Amer Abu-Jassar, S. Maksymova, Ahmad Alkhalailah // *Technical Science Research in Uzbekistan*. – 2024. – № 2(4). – P. 55-66.

A Model of Using Computer Vision to Monitor the Environment of a Collaborative Manipulator Robot

Vladyslav Yevsieiv¹, Nataliia Demska¹

1. CITAR Department, Kharkiv National University of Radio Electronics, UKRAINE,
Kharkiv, Nauki Ave. 14., e-mail: vladyslav.yevsieiv@nure.ua

Abstract: The paper considers a model of using computer vision to monitor the environment of a collaborative manipulator robot in the context of Industry 5.0. The sequence of stages of image processing is described, including detection, tracking and classification of objects, which allows the robot to respond adaptively to changes in the environment and ensure safe interaction with a person. The model contributes to increasing the flexibility and efficiency of robotic systems in modern production processes.

Keywords: Industry 5.0, Computer vision, Collaborative manipulator robots, Image processing, Environmental monitoring.

I. Introduction

Modern trends in the development of Industry 5.0 are focused on the integration of humans and robots into single production processes, where collaborative manipulator robots perform complex tasks, closely interacting with people. The use of computer vision to monitor the environment of such robots is becoming an important tool for ensuring the safety, flexibility and adaptability of systems. The relevance of this research lies in the need to develop an effective model of image processing that will ensure accurate detection of objects, assessment of the situation and decision-making in real time. The model should include computer vision algorithms for segmentation, classification and tracking of objects in a dynamic environment, which will allow the work to quickly respond to changing conditions and avoid potential threats to the operator. This is especially important for the development of cyber-physical production systems, where the high integration of automated processes and human control is a key aspect of the success of Industry 5.0.

II. COMPUTER VISION MODEL FOR ENVIRONMENTAL OBSERVATION

Image processing is the main step that involves the digital processing of visual information received by collaborative robots through cameras or other sensors. This process includes improving image quality, removing noise, changing contrast and resolution, and other operations to prepare the image for further analysis. Image processing in the context of Industry 5.0 is particularly important because it allows robots to quickly adapt to the changing conditions that arise when working with people in a dynamic environment. Algorithms such as Gaussian filters, or morphological processing techniques such as erosion or dilation, are used to highlight important image details.

The next stage is segmentation, which consists in dividing the image into several segments or clusters of

pixels for a better understanding of the structure of the image. For collaborative robots, segmentation is crucial because it allows you to isolate key objects in the work area, such as people, tools, machines or obstacles. Segmentation can be done using a variety of methods, including threshold-based segmentation, k-means clustering, or the use of neural networks. Within the concepts of Industry 5.0, it allows robots to work in real time, quickly reacting to the presence of people or changing the position of objects, which ensures safe and effective collaboration.

Object recognition is the process of identifying and classifying objects in images received from sensors. For collaborative robots, object recognition is critical because they need to clearly understand what is in their field of vision and make decisions based on that. Recognition algorithms can use patterns or be based on deep learning, such as using convolutional neural networks (CNN). In the context of Industry 5.0, these algorithms allow robots not only to see objects, but also to predict their behavior, analyze human movements and predict further actions. This becomes the basis for adaptive planning of trajectories and avoidance of potential threats during joint work with a person.

Therefore, *image processing*, *segmentation* and *object recognition* are integral components of collaborative robots in Industry 5.0. They allow robots to more accurately perceive the environment, interact interactively with people and adapt their behavior to changes in the work area.

The general mathematical model of using computer vision to observe the environment of a collaborative manipulator robot can be represented as a set of equations and expressions describing the process of image processing, object recognition and decision making. It includes several main stages: receiving input images, segmentation, localization of objects, recognition and motion planning.

The process begins with the collection of images from the camera. The input image is a matrix of light intensities in pixels, and can be described as follows:

$$I(x, y) = f(x, y, t), \quad (1)$$

where $I(x, y)$ – pixel intensity at coordinates (x, y) ;
 $f(x, y, t)$ – a function that describes brightness changes depending on spatial coordinates x and y , as well as time t .

The camera converts the 3D world into a 2D image, so calibration is required to determine the camera's internal

and external parameters. The perspective projection model is presented in the following expression:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \frac{1}{z} \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}, \quad (2)$$

where (X, Y, Z) – coordinates of a point in space;

(u, v) – coordinates of a point on the image;

f_x, f_y – focal lengths;

c_x, c_y – coordinates of the optical center of the camera.

Segmentation is the process of selecting objects in an image. The segmentation operation can be represented as a pixel clustering function:

$$S(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if the pixel belongs to an object} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (3)$$

where $S(x, y)$ – binary segmentation function that determines whether a pixel belongs to an object.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = K^{-1} \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} Z, \quad (4)$$

where K – matrix of internal parameters of the camera;

(X, Y, Z) – three-dimensional coordinates of the object;

(u, v) – coordinates of the object in the image.

Machine learning algorithms such as Convolutional Neural Networks (CNN) are used for object recognition. Formally, the recognition process can be described as:

$$P(c|I) = f_{\theta}(I), \quad (5)$$

where $P(c|I)$ – the probability that the object belongs to class c in the image I ;

$f_{\theta}(I)$ – a neural network model with parameters θ that predicts the class of an object.

Algorithms for planning trajectories are used for safe and effective control of the manipulator based on the received data on the location of objects. This can be represented as the minimization of the cost function for the movement:

$$J(\tau) = \int_0^T L(x(t), u(t)) dt, \quad (6)$$

where $J(\tau)$ – trajectory cost function τ ;

$L(x(t), u(t))$ – the instantaneous cost of movement depending on the state $x(t)$ and management $u(t)$;

T – task completion time.

This is minimized under the constraint of robot dynamics:

$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t)), \quad (7)$$

where $\dot{x}(t)$ – changing system state over time;

$f(x(t), u(t))$ – robot dynamics model.

Multiple data sources (cameras, sensors, LiDAR, etc.) are used for a more accurate understanding of space. Data integration is done by merging (Data Fusion):

$$X_f = w_1 X_1 + w_2 X_2 + \dots + w_n X_n, \quad (8)$$

where X_f – result of data fusion;

X_1, X_2, \dots, X_n – data from various sources;

w_1, w_2, \dots, w_n – weighting factors of each source.

Thus, the mathematical model of computer vision for a collaborative robot includes image collection, camera calibration, object segmentation, their localization, recognition and motion planning based on data fusion. These stages allow the robot to reliably observe the environment and effectively interact with it in real time.

III. Conclusion

The article summarizes the importance of developing and implementing a computer vision model for monitoring the environment of a collaborative manipulator robot, especially in the context of Industry 5.0, where the integration of humans and robotic systems is a key component of production processes. The described model of image processing provides effective detection, analysis and tracking of objects, which allows manipulator robots to quickly respond to changes in the environment and make decisions in real time. Such a system increases the safety of cooperation between robots and people, reduces the risks of emergency situations and increases the overall productivity of production lines. The use of computer vision also opens up new opportunities for flexible adaptation of robotic systems to various production tasks, making them more autonomous and intelligent. In the context of Industry 5.0, the proposed model increases the level of automation and personalization of processes, contributing to the development of cyber-physical systems and the harmonious coexistence of humans and robots on the same production site.

References

- [1] Alojaiman B. Technological Modernizations in the Industry 5.0 Era: A Descriptive Analysis and Future Research Directions. *Processes*. 2023; 11(5):1318. <https://doi.org/10.3390/pr11051318>.
- [2] Raja Santhi, A., Muthuswamy, P. Industry 5.0 or industry 4.0S? Introduction to industry 4.0 and a peek into the prospective industry 5.0 technologies. *Int J Interact Des Manuf* **17**, 947–979 (2023). <https://doi.org/10.1007/s12008-023-01217-8>.
- [3] Hameed A, Ordys A, Możaryn J, Sibilska-Mroziewicz A. Control System Design and Methods for Collaborative Robots: Review. *Applied Sciences*. 2023; 13(1):675. <https://doi.org/10.3390/app13010675>.
- [4] Fuentes-Peñailillo F, Carrasco Silva G, Pérez Guzmán R, Burgos I, Ewertz F. Automating Seedling Counts in Horticulture Using Computer Vision and AI. *Horticulturae*. 2023; 9(10):1134. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9101134>

- [5] Abu-Jassar AT, Attar H, Amer A, et al. Remote Monitoring System of Patient Status in Social IoT Environments Using Amazon Web Services (AWS) Technologies and Smart Health Care. *International Journal of Crowd Science*, 2024, <https://doi.org/10.26599/IJCS.2023.9100019>.
- [6] Abu-Jassar AT, Attar H, Amer A, et al. Development and Investigation of Vision System for a Small-Sized Mobile Humanoid Robot in a Smart Environment. *International Journal of Crowd Science*, 2024, <https://doi.org/10.26599/IJCS.2023.9100018>.
- [7] Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalaileh, A. (2024). Improvement of SUSAN Image Filtering Method for PCB Quality Inspection. *Journal of Universal Science Research*, 2(7), 106–116.
- [8] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalaileh, A. (2024). Using Convolutional Neural Networks to Analyze and Detect Key Points of Objects in Image. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 5-15.
- [9] Gurin, D., Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., & Maksymova, S. (2024). Using the Kalman Filter to Represent Probabilistic Models for Determining the Location of a Person in Collaborative Robot Working Area. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 66-75.
- [10] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Abu-Jassar, A. (2024). Effect of Frame Processing Frequency on Object Identification Using MobileNetV2 Neural Network for a Mobile Robot. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 36-44.
- [11] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalaileh, A. (2024). MobileNetv2 Neural Network Model for Human Recognition and Identification in the Working Area of a Collaborative Robot. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 5-12.
- [12] Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2024). Development and Investigation of Vision System for a Small-Sized Mobile Humanoid Robot in a Smart Environment. *International Journal of Crowd Science*.
- [13] Maksymova, S., Yevsieiev, V., Nevliudov, I., & Uluhan, N. (2024). CONSTRUCTING AN OPTIMAL ROUTE FOR A MOBILE ROBOT USING A WAVE ALGORITHM. *Journal of Natural Sciences and Technologies*, 3(1), 282-289.
- [14] Abu-Jassar, A., Yevsieiev, V., & Maksymova, S. (2024). The Optical Flow Method and Graham's Algorithm Implementation Features for Searching for the Object Contour in the Mobile Robot's Workspace.
- [15] Yevsieiev, V., & Starodubcev, N. (2023). Development of a control algorithm for a small-sized mobile manipulation robot. *Scientific Collection «InterConf»*, (140), 648-651.
- [16] Yevsieiev, V., & Gurin, D. (2023). *Comparative Analysis of the Characteristics of Mobile Robots and Collaboration Robots Within INDUSTRY 5.0* (Doctoral dissertation, European Scientific Platform).
- [17] Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Starodubcev, N. (2022). A robotic prosthetic a control system and a structural diagram development. *Collection of scientific papers «ΑΙΟΓΟΣ»*, (August 12, 2022; Zurich, Switzerland), 113-114.
- [18] Maksymova, S., Yevsieiev, V., Nevliudov, I., & Bahlai, O. (2024, May). Balancing System For A Zoomorphic Spot Type Mobile Robot Development Using An Accelerometer MPU 6050 (GY-521). In *2024 IEEE 19th International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)* (pp. 39-42). IEEE.
- [19] Kuzmenko, O., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Abu-Jassar, A. (2024). ROBOT MODEL FOR MINES SEARCHING DEVELOPMENT. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(6), 347-355.
- [20] Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., & Maksymova, S. (2024). Humanoid Robot Movement Simulation in ROS. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(7), 146-154.
- [21] Yevsieiev, V., & Uskov, S. (2024). *Development of the Layout Concept of a Small-Dimensioned Mobile Robot With Increased Accessibility* (Doctoral dissertation, International Scientific Unity).
- [22] Yevsieiev V. Route constructing for a mobile robot based on the D-star algorithm / V. Yevsieiev, Amer Abu-Jassar, S. Maksymova, Ahmad Alkhalaileh // *Technical Science Research in Uzbekistan*. – 2024. – № 2(4). – P. 55-66.
- [23] Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Starodubcev, N. (2022). *Software Implementation Concept Development for the Mobile Robot Control System on ESP-32CAM* (Doctoral dissertation, Collection of scientific papers Scientia).
- [24] Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2023, September). Mobile Robot Navigation System Based on Ultrasonic Sensors. In *2023 IEEE XXVIII International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED)* (Vol. 1, pp. 247-251). IEEE.
- [25] Невлюдов І. Ш. ВЕАМ робототехніка : навч. посіб. / І. Ш. Невлюдов, В. В. Євсєєв, С. С. Максимова ; Харків. нац. ун-т радіоелектроніки, кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР). – Кривий Ріг : Видавець Чернявський Д. О., 2024. – 276 с. – ISBN 978-617-8045-79-1.
- [26] Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., Maksymova, S., & Gurin, D. (2024). Human Operator Identification in a Collaborative Robot Workspace within the Industry 5.0 Concept. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 95-105.

Розробка системи ідентифікації, розпізнавання та трекінгу для колаборативного робота

Віталій Тетеря¹, Світлана Максимова²

¹. Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки. 14., email: vitalii.teteria@nure.ua

². Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки. 14., email: svitlana.milyutina@nure.ua

Анотація: В даній роботі пропонуються початкові етапи розробки системи ідентифікації для колаборативного робота. Описано основні модулі розроблюваної системи, а також їх призначення. Зазначені ключові переваги розробленої структури системи, що розроблюється.

Ключові слова: Колаборативний робот, Ідентифікація, Розпізнавання, Industry 5.0.

I. ВСТУП

У сучасному світі все більше розповсюджується використання мобільних роботів у різних галузях, починаючи з виробництва різних напрямів, закінчуючи побутовою та соціальною сферами. Наразі ми бачимо, що використання ізольованої роботи роботів не завжди дозволяє якісно вирішити поставлені задачі [1-4].

Відповідно до цього виникає необхідність поєднувати роботу людини із роботою робота для досягнення найкращого результату. Така необхідність призвела до виникнення нової галузі досліджень в робототехніці – розробка і використання колаборативних роботів, тобто роботів, які працюють у тісній зв'язці із людиною [5-7]. Але тут виникають підвищені вимоги до безпеки роботи, що в свою чергу призводить до необхідності надання роботів можливості бачити та розпізнавати об'єкти, в тому числі і людину, в своїй робочій зоні [8-10].

Таким чином виникає необхідність розробки системи ідентифікації, розпізнавання та трекінгу для колаборативного робота.

II. РОЗРОБКА СТРУКТУРИ СИСТЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА ТРЕКІНГУ

При розробці структури системи ідентифікації людини в робочій зоні колаборативного робота важливо врахувати кілька ключових аспектів. По-перше, необхідно забезпечити точність та надійність ідентифікації людини в умовах різного освітлення та змінної середовищної обстановки. Це включає використання сучасних моделей машинного навчання, для розпізнавання та класифікації об'єктів у реальному часі. Важливо також інтегрувати алгоритми трекінгу, для відстеження руху людини після її ідентифікації, що дозволяє забезпечити стійкість системи до змін у положенні та орієнтації об'єкта.

Окрім цього, система повинна бути адаптована до швидких змін у середовищі, тому важливо використовувати ефективні алгоритми обробки відео та зображень, які здатні оперативно реагувати на

зміни. Система має також враховувати можливі перешкоди або інші об'єкти в зоні спостереження, які можуть впливати на точність розпізнавання. Для цього важливо забезпечити належну якість даних, яка включає правильне налаштування камери та оптимізацію алгоритмів обробки.

Опишемо призначення кожного блока розроблюваної системи ідентифікації знаходження людини в робочій зоні колаборативного робота. Вона складається з двох елементів: робоча зона колаборативного робота та математичного, методологічного, алгоритмічного та програмного забезпечення. Розглянемо принцип роботи кожного блока:

– робоча зона колаборативного робота, складеться з наступних елементів: людина, яка знаходиться безпосередньо в робочій зоні робота, та виконує роботу спільно з роботом відповідно концепції Industry 5.0. Для розуміння що відбувається в робочій зоні робота, використовується система комп'ютерного зору, яка дає можливість отримувати данні у вигляді потокового відео в режимі реального часу. Дані (відео потік) передаються на систему розпізнавання та ідентифікації знаходження людини в робочій зоні колаборативного робота. Дана система складається з наступних модулів;

– модуль розпізнавання дозволяє точно визначити та класифікувати об'єкти на основі відео або зображень. Цей модуль забезпечує можливість автоматичного виявлення людей серед інших об'єктів, що є необхідним для безпечної взаємодії робота з людиною. Він дозволяє системі швидко реагувати на присутність або переміщення людини, що важливо для адаптації поведінки робота та запобігання можливим зіткненням або небезпекам. Завдяки цьому модулю, система може ефективно інтегруватися в робоче середовище та забезпечити безпечну й ефективну співпрацю з людським персоналом;

– модуль ідентифікації в системі ідентифікації людини в робочій зоні колаборативного робота потрібен для точного визначення особи, що перебуває у зоні взаємодії з роботом. Він забезпечує можливість розпізнавати конкретну людину серед інших об'єктів і може бути налаштований для розпізнавання особливих ознак або ідентифікаційних параметрів, таких як особа або форма тіла. Це дозволяє роботу адаптувати свою поведінку, забезпечуючи безпеку та ефективність взаємодії;

– модуль розрахунку ймовірності необхідний для оцінки точності та достовірності розпізнавання об'єктів. Він дозволяє оцінити ймовірність того, що виявлений об'єкт дійсно є людиною, що допомагає зменшити кількість хибних спрацьовувань та підвищити ефективність системи. Залучення цього модуля забезпечує більш надійне визначення присутності людини, дозволяючи роботу безпечно взаємодіяти з об'єктами в його середовищі. Крім того, він сприяє адаптації системи до змінних умов навколишнього середовища та покращує загальну точність та стабільність роботи системи;

– модуль трекінгу є критично важливим для забезпечення безперервного моніторингу та відстеження переміщення людини. Він дозволяє системі відслідковувати зміни в положенні людини в реальному часі, що є ключовим для адаптації дій робота в залежності від переміщення людини. Без цього модуля система не могла б коректно реагувати на динамічні ситуації, що виникають у робочій зоні, що може призвести до небажаних зіткнень або неефективної взаємодії. Впровадження трекінгу також забезпечує більшу точність та надійність в процесі ідентифікації та контролю над робочими операціями;

– модуль візуалізації необхідний для наочного відображення результатів ідентифікації та трекінгу. Він забезпечує реальний час моніторингу положення людини, що дозволяє операторам або системі швидше реагувати на зміни в робочій зоні. Візуалізація допомагає виявити потенційні проблеми, такі як перешкоди або небезпеки, що знижує ризики та покращує безпеку.

Запропонована схема системи ідентифікації знаходження людини в робочій зоні колаборативного робота має кілька суттєвих переваг.

По-перше, інтеграція модулів розпізнавання, ідентифікації та трекінгу забезпечує високу точність та надійність у визначенні та відстеженні присутності людини, що знижує ризик помилкових спрацьовувань та покращує безпеку робочого середовища.

По-друге, модуль розрахунку ймовірності допомагає зменшити кількість хибних позитивних результатів, що підвищує загальну ефективність системи.

По-третє, візуалізація результатів в реальному часі полегшує моніторинг і оперативне реагування на зміни, покращуючи взаємодію між роботом і людиною. Також важливо, що система дозволяє здійснювати персоналізований підхід до кожного користувача, що підвищує ефективність роботи та безпеку в умовах Industry 5.0.

III. ВИСНОВКИ

В запропонованій роботі наводиться узагальнена структура системи ідентифікації, розпізнавання та трекінгу для колаборативного робота. Слід зазначити, що проектування колаборативного робота ускладнюється (в порівнянні зі звичайними мобільними роботами) тим, що його робота тісно пов'язана із людиною. Великою мірою завдання виконуються в щільній зв'язці людини та робота, що підвищує вимоги до безпеки, а значить, до трекінгу

робота. Також треба зазначити необхідність створення системи ідентифікації об'єктів в робочій зоні робота, а також їх розпізнавання. В роботі наводиться детальний опис модулів розроблюваної системи разом із їх призначенням.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Yevsieiev, V., Alkhalaileh, A., Maksymova, S., & Gurin, D. (2024). Research of Existing Methods of Representing a Collaborative Robot-Manipulator Environment within the Framework of Cyber-Physical Production Systems. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 112-120.
- [2] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Abu-Jassar, A. (2024). Effect of Frame Processing Frequency on Object Identification Using MobileNetV2 Neural Network for a Mobile Robot. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 36-44.
- [3] Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., Maksymova, S., & Gurin, D. (2024). Human Operator Identification in a Collaborative Robot Workspace within the Industry 5.0 Concept. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 95-105.
- [4] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalaileh, A. (2024). Using Convolutional Neural Networks to Analyze and Detect Key Points of Objects in Image. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 5-15.
- [5] Maksymova, S., Yevsieiev, V., Nevliudov, I., & Uluhan, N. (2024). CONSTRUCTING AN OPTIMAL ROUTE FOR A MOBILE ROBOT USING A WAVE ALGORITHM. *Journal of Natural Sciences and Technologies*, 3(1), 282-289.
- [6] Gurin, D., Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., & Maksymova, S. (2024). Using the Kalman Filter to Represent Probabilistic Models for Determining the Location of a Person in Collaborative Robot Working Area. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 66-75.
- [7] Basiuk, V., Maksymova, S., Chala, O., & Abu-Jassar, A. (2024). COMMAND SYSTEM FOR MOVEMENT CONTROL DEVELOPMENT. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(6), 248-255.
- [8] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalaileh, A. (2024). MobileNetv2 Neural Network Model for Human Recognition and Identification in the Working Area of a Collaborative Robot. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 5-12.
- [9] Nevliudov, I., Maksymova, S., Yevsieiev, V., & Uluhan, N. (2024). Constructing an Optimal Route for a Mobile Robot Using a Wave Algorithm. *Journal of natural sciences and technologies*. 3(1). – P. 282-289.
- [10] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalaileh, A. (2024). CAMShift Algorithm for Human Tracking in the Collaborative Robot Working Area. *Journal of Universal Science Research*. 2(8). P. 87-101.

Using the Triangulation Method to Measure the Distance to Objects in the Working Area of a Collaborative Manipulator Robot

Vladyslav Yevsieiv¹, Svetlana Starikova²

¹CITAR Department, Kharkiv National University of Radio Electronics, UKRAINE,
Kharkiv, Nauki Ave. 14., e-mail: vladyslav.yevsieiv@nure.ua

²Kharkiv Gymnasium No. 178 "Education" of the Kharkiv City Administration, UKRAINE,
Kharkiv, Monyushka street, 1., e-mail: sch178@kharkivosvita.net

Abstract: This report considers the use of the triangulation method to measure the distance to objects in the working area of a collaborative manipulator robot. The proposed approach provides high accuracy and speed of determining the positions of objects, which is critically important for safe and efficient performance of tasks. The use of triangulation allows robots to adapt their actions to changing environmental conditions, helping to increase productivity and reduce risks. The results of the study confirm the importance of the triangulation method as an important tool for the integration of robotic systems into modern production processes.

Keywords: Industry 5.0, Collaborative manipulator robots, distance measurement, triangulation method.

I. Introduction

In the context of the concept of Industry 5.0, which emphasizes the harmonization of cooperation between people and robots, the use of the triangulation method to measure the distance to objects in the working area of a collaborative robot-manipulator acquires special importance. This method provides high accuracy in determining the positions of objects, which is critical for the safe and efficient performance of tasks. Triangulation allows robots to adapt their movements to changing environmental conditions, helping to increase the efficiency of production processes. The relevance of this study lies in the need to integrate the latest technologies to improve the interaction between people and robots, which is the basis for the implementation of the principles of Industry 5.0. Thanks to the use of triangulation, collaborative robots can more accurately assess their capabilities, which allows to reduce the risk of errors and ensure higher productivity. In today's environment, where speed and accuracy are the determining factors of success, the introduction of such technologies has the potential to significantly change approaches to automation. Therefore, the study of distance measurement methods, in particular triangulation, becomes an integral part of the development of innovative solutions for robotic systems within the framework of Industry 5.0.

II. COMPUTER VISION MODEL FOR ENVIRONMENTAL OBSERVATION

The triangulation method based on two HC-SR04 ultrasonic sensors can be used to determine the position of an object in the working area of a collaborative robot-

manipulator. This approach allows you to obtain two-dimensional or three-dimensional coordinates of an object by measuring the distances from two known points to the object, which makes it useful for creating a dynamic model of the robot's working environment, according to the concepts of Industry 5.0.

Triangulation is based on measuring distances from two or more points to an object and then calculating the coordinates of this object in space. In the case of the two HC-SR04 ultrasonic sensors, each of them measures the distance to the object, and these distances are used to determine the coordinates of the object in 2D space.

Suppose that two ultrasonic sensors are located at known positions (x_1, y_1) and (x_2, y_2) , and the measured distances to the object are d_1 and d_2 .

Then the object is located at the intersection of two circles, the radii of which correspond to the measured distances from each sensor to the object:

- d_1 – distance from the first sensor to the object,
- d_2 – distance from the second sensor to the object.

The equations for calculating object coordinates based on the intersection of circles are as follows:

$$\begin{aligned} (x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 &= d_1^2 \\ (x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 &= d_2^2. \end{aligned} \quad (1)$$

The solution of this system of equations allows you to get the coordinates of the object (x, y) .

To find a solution to (1), you can use geometric or numerical methods. One of the approaches is to solve the system of equations analytically, by substitution and simplification, which will give such possible values of the coordinates for the object.

It is suggested to use the following steps:

- take the system of equations for two circles;
- subtract the second equation from the first, which will get rid of quadratic terms;
- a simplified linear expression can be solved with respect to x or y , and then substitute the found value into one of the original equations to find other coordinates.

After simplification, we get a linear equation:

$$2(x_2 - x_1)x + 2(y_2 - y_1)y = d_1^2 - d_2^2 - (x_2^2 - y_2^2) + (x_1^2 - y_1^2). \quad (2)$$

This equation can be solved relatively x and y .

For triangulation simulation based on two ultrasonic sensors, the following parameters are important:

- sensor coordinates (x_1, y_1, x_2, y_2) – are fixed points in space where HC-SR04 sensors are installed. The distance between them is also important for triangulation accuracy;

- measurement time, this is the signal transit time between the sensor and the object, on the basis of which the distance is calculated;

- speed of sound (v) – 343 m/s at room temperature is accepted as standard;

- radii (d_1, d_2) – are the distances from each sensor to the object, which are calculated based on the signal time.

We will give an example of a program implementation in Python, which allows you to calculate the position of an object in 2D space based on the measured distances from two HC-SR04 sensors.

```
import math
# Coordinates of two ultrasonic sensors
x1, y1 = 0, 0 # first sensor at position (0, 0)
x2, y2 = 10, 0 # second sensor at position (10, 0)
# Measured distances to the object (d1 and d2)
d1 = 7.0 # Distance from the first sensor to the object
d2 = 5.0 # Distance from the second sensor to the object
# Solving the system of equations to determine (x, y)
# Calculate x and y analytically
def calculate_position(x1, y1, x2, y2, d1, d2):
    A = 2 * (x2 - x1)
    B = 2 * (y2 - y1)
    C = d1**2 - d2**2 - (x1**2 + y1**2) + (x2**2 + y2**2)
    # Simplification for finding coordinates
    if B != 0:
        y = C / B
        x = math.sqrt(d1**2 - (y - y1)**2) + x1
    otherwise:
        x = C / A
        y = math.sqrt(d1**2 - (x - x1)**2) + y1
    return x, y
# Call the function to calculate the coordinates of the object
```

```
x, y = calculate_position(x1, y1, x2, y2, d1, d2)
print(f"Object coordinates: x = {x}, y = {y}")
```

Let's conduct an experiment using the triangulation method based on two HC-SR04 ultrasonic sensors and estimate the measurement error, let's define the main parameters, the experiment plan and the method of calculating the error.

The purpose of the experiment: to determine the distance to the object using two HC-SR04 ultrasonic sensors using the triangulation method, as well as to estimate the measurement error at different distances.

Experimental setup: two HC-SR04 sensors are installed at known fixed positions at a distance of $L=10$ cm from each other; the object is placed at different distances from the sensors along the x-axis (for example, 50 cm, 100 cm, 150 cm, 200 cm); For each position of the object, the distances d_1 and d_2 from the sensors to the object are measured.

Steps of the experiment:

- place two HC-SR04 ultrasonic sensors at known coordinates $(x_1, y_1) = (0,0)$ and $(x_2, y_2) = (10,0)$;

- place the object in four different positions (50 cm, 100 cm, 150 cm, 200 cm from the sensor axis);

- measure distances for each position d_1 and d_2 using both sensors;

- using the triangulation method, calculate the real coordinates of the object x, y ;

- determine the measurement error (ϵ) based on the calculated and real values of the distances. The error is calculated using the formula:

$$\epsilon = L_2 - L_1, \quad (3)$$

where L_2 – measured value, and L_1 – actual distance.

The measurement results obtained during the experiment are presented in Figure 1.

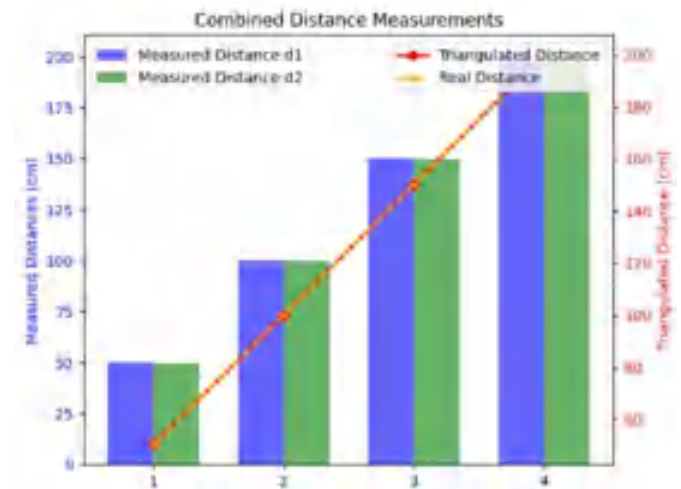


Figure 1 – Graph

As can be seen from the table, the measurement error is no more than 0.2 cm, which is consistent with the technical error of the HC-SR04 ultrasonic sensors. Since the accuracy of the sensors is ± 3 mm (0.3 cm), the values obtained are within the permissible error.

III. Conclusion

In the context of Industry 5.0, collaborative work should have a high level of interaction with people and the environment. The use of triangulation allows you to create more adaptive and intelligent systems that can not only accurately determine the position of objects in the working area, but also dynamically respond to changes in the environment.

Thus, the method of triangulation based on ultrasonic sensors is an important tool for creating intelligent, dynamic systems of interaction between robots and the working environment in the context of Industry 5.0.

References

- [1] Alojaiman B. Technological Modernizations in the Industry 5.0 Era: A Descriptive Analysis and Future Research Directions. *Processes*. 2023; 11(5):1318. <https://doi.org/10.3390/pr11051318>.

- [2] Raja Santhi, A., Muthuswamy, P. Industry 5.0 or industry 4.0S? Introduction to industry 4.0 and a peek into the prospective industry 5.0 technologies. *Int J Interact Des Manuf* 17, 947–979 (2023). <https://doi.org/10.1007/s12008-023-01217-8>.
- [3] Hameed A, Ordys A, Możaryn J, Sibilska-Mroziewicz A. Control System Design and Methods for Collaborative Robots: Review. *Applied Sciences*. 2023; 13(1):675. <https://doi.org/10.3390/app13010675>.
- [4] Abu-Jassar AT, Attar H, Amer A, et al. Remote Monitoring System of Patient Status in Social IoT Environments Using Amazon Web Services (AWS) Technologies and Smart Health Care. *International Journal of Crowd Science*, 2024, <https://doi.org/10.26599/IJCS.2023.9100019>.
- [5] Abu-Jassar AT, Attar H, Amer A, et al. Development and Investigation of Vision System for a Small-Sized Mobile Humanoid Robot in a Smart Environment. *International Journal of Crowd Science*, 2024, <https://doi.org/10.26599/IJCS.2023.9100018>.
- [6] Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalaileh, A. (2024). Improvement of SUSAN Image Filtering Method for PCB Quality Inspection. *Journal of Universal Science Research*, 2(7), 106–116.
- [7] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalaileh, A. (2024). Using Convolutional Neural Networks to Analyze and Detect Key Points of Objects in Image. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 5-15.
- [8] Gurin, D., Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., & Maksymova, S. (2024). Using the Kalman Filter to Represent Probabilistic Models for Determining the Location of a Person in Collaborative Robot Working Area. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 66-75.
- [9] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Abu-Jassar, A. (2024). Effect of Frame Processing Frequency on Object Identification Using MobileNetV2 Neural Network for a Mobile Robot. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 36-44.
- [10] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalaileh, A. (2024). MobileNetv2 Neural Network Model for Human Recognition and Identification in the Working Area of a Collaborative Robot. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 5-12.
- [11] Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2024). Development and Investigation of Vision System for a Small-Sized Mobile Humanoid Robot in a Smart Environment. *International Journal of Crowd Science*.
- [12] Maksymova, S., Yevsieiev, V., Nevliudov, I., & Uluhan, N. (2024). CONSTRUCTING AN OPTIMAL ROUTE FOR A MOBILE ROBOT USING A WAVE ALGORITHM. *Journal of Natural Sciences and Technologies*, 3(1), 282-289.
- [13] Abu-Jassar, A., Yevsieiev, V., & Maksymova, S. (2024). The Optical Flow Method and Graham's Algorithm Implementation Features for Searching for the Object Contour in the Mobile Robot's Workspace.
- [14] Yevsieiev, V., & Starodubcev, N. (2023). Development of a control algorithm for a small-sized mobile manipulation robot. *Scientific Collection «InterConf»*, (140), 648-651.
- [15] Yevsieiev, V., & Gurin, D. (2023). *Comparative Analysis of the Characteristics of Mobile Robots and Collaboration Robots Within INDUSTRY 5.0* (Doctoral dissertation, European Scientific Platform).
- [16] Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Starodubcev, N. (2022). A robotic prosthetic a control system and a structural diagram development. *Collection of scientific papers «ΑΙΟΓΟΣ»*, (August 12, 2022; Zurich, Switzerland), 113-114.
- [17] Maksymova, S., Yevsieiev, V., Nevliudov, I., & Bahlai, O. (2024, May). Balancing System For A Zoomorphic Spot Type Mobile Robot Development Using An Accelerometer MPU 6050 (GY-521). In *2024 IEEE 19th International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)* (pp. 39-42). IEEE.
- [18] Kuzmenko, O., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Abu-Jassar, A. (2024). ROBOT MODEL FOR MINES SEARCHING DEVELOPMENT. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(6), 347-355.
- [19] Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., & Maksymova, S. (2024). Humanoid Robot Movement Simulation in ROS. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(7), 146-154.
- [20] Yevsieiev, V., & Uskov, S. (2024). *Development of the Layout Concept of a Small-Dimensioned Mobile Robot With Increased Accessibility* (Doctoral dissertation, International Scientific Unity).
- [21] Yevsieiev V. Route constructing for a mobile robot based on the D-star algorithm / V. Yevsieiev, Amer Abu-Jassar, S. Maksymova, Ahmad Alkhalaileh // *Technical Science Research in Uzbekistan*. – 2024. – № 2(4). – P. 55-66.
- [22] Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Starodubcev, N. (2022). *Software Implementation Concept Development for the Mobile Robot Control System on ESP-32CAM* (Doctoral dissertation, Collection of scientific papers Scienta).
- [23] Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2023, September). Mobile Robot Navigation System Based on Ultrasonic Sensors. In *2023 IEEE XXVIII International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED)* (Vol. 1, pp. 247-251). IEEE.
- [24] Невлюдов І. Ш. БЕАМ робототехніка : навч. посіб. / І. Ш. Невлюдов, В. В. Євсєєв, С. С. Максимова ; Харків. нац. ун-т радіоелектроніки, кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР). – Кривий Ріг : Видавець Чернявський Д. О., 2024. – 276 с. – ISBN 978-617-8045-79-1.

Дослідження механічних параметрів гнучких комутаційних структур для мобільних роботизованих платформ

І. В. Жарікова, Д. О. Нікітін

Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА,
Харків, пр. Науки, 14, email: iryna.zharikova@nure.ua

Анотація: У роботі розглянуто фактори, які впливають на фізико-технологічні параметри гнучких комутаційних структур у складі мобільних роботизованих платформ цивільного та військового призначення. Проаналізовано особливості механічних впливів на такі структури. Зокрема наведено результати експериментального дослідження стійкості поліімідних гнучких комутаційних структур до багаторазових динамічних вигинів.

Ключові слова: гнучкі комутаційні структури, роботизована платформа, поліімід, механічні навантаження.

I. ВСТУП

Важливим напрямком сучасної електроніки є розвиток гнучких комутаційних структур (ГКС) [1]. Їх застосування в робототехніці відкриває перспективи для створення мобільних платформ з підвищеною маневреністю та функціональністю за рахунок мініятуризації та адаптивності компонентів [2-9]. Питанням використання таких гнучких компонентів у різних технічних засобах присвячено багато досліджень вітчизняних і закордонних авторів [10-14].

Актуальним є дослідження механічних параметрів таких структур, впливу зовнішніх навантажень на цілісність, довговічність як самих діелектричних підкладок, комутаційної системи, так і місць з'єднання з конекторами [15-16].

II. ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

У ході досліджень [17], виконуваних на кафедрі КІТАР ХНУРЕ, авторами було запропоновано модернізувати універсальну мобільну роботизовану платформу (РП), призначену для виконання як цивільних, так і військових завдань, із використанням гнучких і гнучко-жорстких комутаційних структур на поліімідній основі.

Електричні між'єднання у рухомих частинах РП виконуватимуться за допомогою таких структур для зменшення їх габаритно-масових характеристик і забезпечення стабільності зв'язків між з'єднуваними модулями РП навіть за умови впливу на РП дестабілізуючих зовнішніх чинників, наприклад, вібрацій і ударів під час руху РП.

На рис.1 наведено загальний вигляд мобільної роботизованої платформи, де пропонується використати гнучко-жорсткі між'єднання, на рис. 2 – збільшене зображення ділянки прокладання гнучкого шлейфа від апаратного забезпечення до рухомої частини РП.

Метою проведення досліджень було вивчення фізико-технологічних параметрів поліімідних гнучких і гнучко-жорстких комутаційних структур та їх експериментальне дослідження з урахуванням можливих дестабілізуючих впливів на них під час експлуатації у складі мобільних РП.

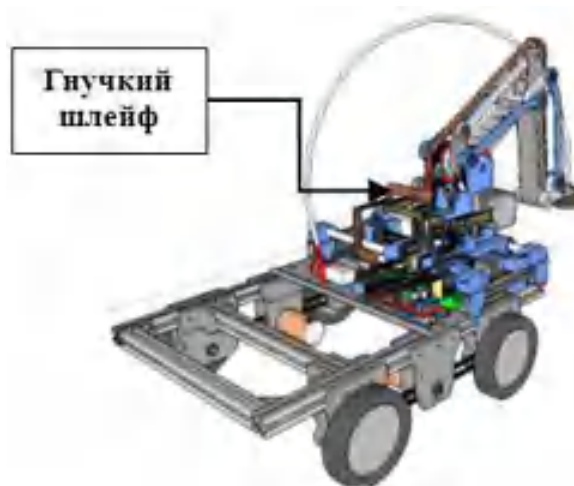


Рис.1. Загальний вид мобільної роботизованої платформи з гнучко-жорсткими між'єднаннями [17]

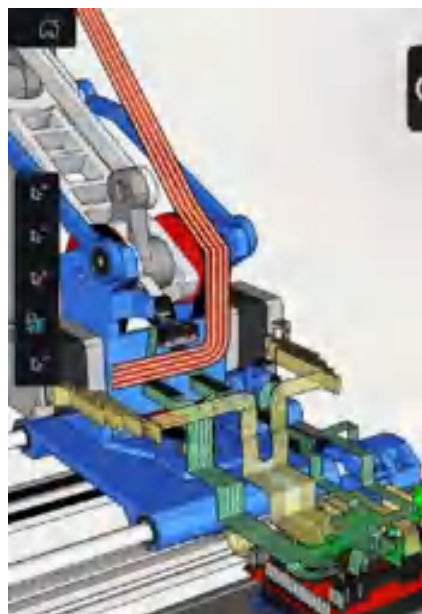


Рис.2. Ділянка прокладання гнучкого шлейфа від апаратного забезпечення до рухомої частини РП

III. ПАРАМЕТРИ МЕХАНІЧНИХ ВПЛИВІВ НА ГКС

Сукупність параметрів ГКС включає в себе конструктивні K , електричні E , механічні M , експлуатаційні O та технологічні T параметри [11, 16]:

$$F = \{K, E, M, O, T\}, \quad (1)$$

де K – конструктивні характеристики; E – електричні характеристики; M – механічні характеристики; O – експлуатаційні характеристики; T – технологічні характеристики.

Визначені основні характеристиками гнучких структур, які узагальнено записані в модель:

$$ГКС = \langle T, P_b, P_{ad}, P_{con}, P_r, K \rangle, \quad (2)$$

де T – тип ГКС; P_b – набір параметрів основного шару; P_{ad} – набір параметрів зв'язувального шару; P_{con} – набір параметрів провідникового шару; P_r – набір параметрів армуючих ділянок; K – набір конструктивних параметрів.

Типи гнучких структур можна представити наступним чином:

$$T = \begin{cases} t_1, [ГДП] \\ t_2, [ГДК], \\ t_3, [ГЖП] \end{cases} \quad (3)$$

де t_1 – гнучкі друковані плати; t_2 – гнучкі друковані кабелі; t_3 – гнучко-жорсткі друковані плати.

Набір параметрів шару підкладки можна представити як:

$$P_b = \langle M, T_g, \varepsilon, \Delta, E \rangle, \quad (4)$$

де M – базовий матеріал; T_g – температура склування; ε – відносна діелектрична проникність; Δ – товщина основного шару; E – модуль пружності.

Набір параметрів зв'язувального шару характеризується коефіцієнтом в'язкості та адгезивної здатності, а також товщиною шару:

$$P_{ad} = \langle k_v, k_a, \Delta_{ad} \rangle, \quad (5)$$

де k_v – коефіцієнт в'язкості; k_a – коефіцієнт адгезивної здатності; Δ_{ad} – товщина зв'язувального шару.

Набір параметрів провідникового шару можна представити як:

$$P_{con} = \langle M_{con}, \Delta_{con}, E_{con}, k \rangle, \quad (6)$$

де M_{con} – матеріал; Δ_{con} – товщина шару; E_{con} – модуль пружності; k – коефіцієнт втомних характеристик матеріалу.

Набір параметрів армуючих ділянок можна представити як:

$$P_r = \langle M_r, \varepsilon_r, \Delta_r, E_r \rangle, \quad (7)$$

де M_r – базовий матеріал; ε_r – відносна діелектрична проникність; Δ_r – товщина основного шару; E_r – модуль пружності.

Набір конструктивних параметрів може відрізнятися у кожному конкретному випадку, але має містити інформацію про габаритні розміри ГКС, кількість шарів, розміщення та конструктивне виконання елементів провідникового шару, а також параметри місць кріплення та технологічних отворів.

На ГКС у складі мобільної РП можуть впливати такі види механічних навантажень: розтягнення; перегини та перекручення; циклічні навантаження; механічне зношування під дією абразивного тертя.

Параметричну модель механічного впливу на розтягнення можна записати наступним чином:

$$D_{ts} = \langle v_{ts}, F_{ts}, \alpha \rangle, \quad (8)$$

де v_{ts} – швидкість впливу, мм/с; F_{ts} – сила впливу, кН; α – вісь відносно зразка.

Параметром механічного впливу на перегини та перекручення є радіус перегину.

Параметричну модель циклічних навантажень можна записати у вигляді:

$$D_{cl} = \langle f, A, K_{cl} \rangle, \quad (9)$$

де f – частота навантажень, Гц; A – амплітуда навантажень, мм; K_{cl} – набір параметрів, що характеризують механіку конкретного навантаження.

Розглянуті моделі покладено в основу проведення подальших експериментальних досліджень.

IV. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МЕХАНІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ГКС

Для проведення експериментального дослідження впливу механічних навантажень на гнучко-жорстку комутаційну структуру (ГЖКС) було обрано шлейф на основі поліімідної підкладки, який зображено на рис.3. На ньому встановлено: 1 – світлодіод; 2 – конектор зарядки; 3 – міні-USB з'єднувач.



Рис.3. Досліджуваний зразок ГЖКС

Метою проведення експерименту є дослідження показників стійкості ГЖКС до багаторазових динамічних вигинів та їх впливу на електричні характеристики комутаційної системи в момент виникнення тріщин у друкованих провідниках.

Для проведення дослідження було зібрано макет, який дозволяє проводити динамічні вигини ГКС під заданим кутом та за допомогою інтерфейсу UART

передавати інформацію про кількість циклів деформації та зміну напруги у провідниках досліджуваного зразка до програмного забезпечення, у якому ці дані відображаються на графіку.

Рухомі частини макету приводяться в дію двигуном, який повертає закріплену ГКС з робочого стану до кута у 130° .

Як вхідний сигнал на ГЖКС через контактні площинки подавався струм 0,1 А. Вихідним параметром є падіння напруги, яке вимірюємо за допомогою чотирьохзондового методу.

Під показником стійкості до вигинів приймаємо кількість циклів згинання ГЖКС з робочого стану до кута у 130° , а в як електричну характеристику приймаємо зміну напруги.

У результаті експериментального дослідження було проведено 6592 циклів динамічних вигинів поліімідного шлейфа. Середня напруга на провідниках при цьому становила 68,841 мВ.

Експеримент завершився розривом шлейфа у місці кріплення світлодіода (рис.4). При цьому програма зафіксувала різке підвищення напруги до 3000 мВ.



Рис.4. Розрив шлейфа досліджуваного зразка після динамічних вигинів

У зв'язку з отриманими результатами можемо зробити висновок, що розрив відбувся у місці, яке не відповідає прогнозованим місцям імовірних деформацій, які попередньо було визначено за результатами моделювання. Також досліджуваний шлейф витримав малу кількість динамічних деформацій – менше 10000 циклів згинання гнучкої частини ГЖКС з робочого стану до кута у 45° .

V. ВИСНОВКИ

Наведені моделі параметрів ГКС і отримані результати експериментальних досліджень можуть бути використані під час оптимізації етапу проектування таких структур для використання їх у складі мобільних РП, зокрема для урахування можливих місць деформацій і руйнувань і складання більш детальних рекомендацій для виготовлення та експлуатації подібних виробів з урахуванням як особливостей конструкцій і застосовуваних матеріалів, так і численних зовнішніх впливів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Peter Macleod. A Review of Flexible Circuit Technology and its Applications [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.lboro.ac.uk/microsites/mechman/research/tpm-ktn/pdf/Technology_review/flexible-circuit-technology-and-its-applications.pdf.
- [2] Flexible Circuit Board for Intelligent Robots Fabrication [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.pcbjhy.com/rigid-flex-pcb/57434999.html>.
- [3] Ігор Невлюдов, Ірина Жарікова, Артем Бронніков, "Використання Гнучких Комутаційних Структур у Складі Апаратної Частини Мобільного Робота," 2023 International Conference on Innovative Solutions in Software Engineering (ICISSE), Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, Ivano-Frankivsk, Ukraine, Nov. 29-30, 2023, pp. 41-44.
- [4] C. K. Harnett, "Flexible circuits with integrated switches for robotic shape sensing," SPIE Proceedings, vol. 9859, 2016.
- [5] C.-H. Chuang, M.-S. Wang, Y.-C. Yu, C.-L. Mu, K.-F. Lu and C.-T. Lin, "Flexible tactile sensor for the grasping control of robot fingers," 2013 International Conference on Advanced Robotics and Intelligent Systems, 2013, pp. 141-146.
- [6] M. Wehner, R. L. Truby, D. J. Fitzgerald, B. Mosadegh, G. M. Whitesides, J. A. Lewis, et al., "An integrated design and fabrication strategy for entirely soft autonomous robots", Nature, vol. 536, no. 7617, pp. 451-455, 2016.
- [7] Kazuto Asamura and Sumito Nagasawa. A micro hexapod robot for swarm applications assembled from a single FPC sheet // Japanese Journal of Applied Physics, Volume 60, 2021.
- [8] Erik Edqvist, Niklas Snis, Raimon Casanova Mohr, et al. Evaluation of building technology for mass producible millimetre-sized robots using flexible printed circuit boards // Journal of Micromechanics and Microengineering, Volume 19, Number 7, 2009.
- [9] Origami Robots with Flexible Circuit Sheets utilizing P-Flex® was awarded the "Best Demo Award" at ACM UbiComp 2018 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.elephantech.co.jp/en/press-release/20181016/>.
- [10] Овчаренко В. Е, Ефименко А. А., Токарева Е. В., Чалая Е. А. Перспективы использования гибких и гибкожестких конструкций в электронной технике // Технология приборостроения. – 2016. № 3. – С. 22-24.
- [11] Невлюдов І. Ш., Боцман І. В., Невлюдова В. В., Разумов-Фризюк Є. А. Технологічне забезпечення якості гнучких комутаційних структур. – Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2018. – 260 с.
- [12] Невлюдов І. Ш., Палагин В. А., Жарікова І. В. Метод подключения электронных компонентов к автоматизированным измерительным комплексам // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – 1(9). – С. 4-7.
- [13] Боцман І. В., Когдась М. Г., Невлюдова В. В. Класифікація струмопровідних між'єднань для сучасних електронних модулів // Технологія приборостроєння. – № 1, 2020. – С. 41-43.
- [14] Rigid Flex for Military Applications [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.printedcircuits.com/military/>.
- [15] Невлюдов І.Ш., Разумов-Фризюк Є.А., Демська Н.П., Гуріна Д.В. Аналіз впливу механічних напружень на можливість мініатюризації гнучких

- структур електронної техніки на прикладі ZIF з'єднувача // Проблеми тертя та зношування. – 2017, №3 (76) с. 74-80.
- [16] Жарикова, И. В. Системологический подход при исследовании параметров РЭС / И. В. Жарикова, В. В. Невлюдова // Технология приборостроения. – 2014. – № 2. – С. 40-43.
- [17] Zharikova, I., Nevliudov, I., Novoselov, S., Nikitin, D., & Allakhveranov, R. (2023). Simulation of flexible printed structures design for mobile robot platform. Journal of Natural Sciences and Technologies, 2(2). <https://doi.org/10.5281/zenodo.10362385>

Development of a Structural Control Scheme for a Small-sized Mobile Robot for Investigating Damaged Buildings

Svetlana Starikova¹, Illya Karpenko¹

¹Kharkiv Gymnasium No. 178 "Education" of the Kharkiv City Administration, UKRAINE,
Kharkiv, Monyushka street, 1., e-mail: sch178@kharkivosvita.net

Abstract: The article deals with the development of a structural control scheme for a small-sized mobile robot designed for the investigation of damaged or destroyed panel buildings. The robot is equipped with ESP32-Cam hardware modules for real-time video transmission, L298N motor driver for motion control, DC converter for power stabilization and BMS 3S module for safe battery charging. Special attention is paid to the technical characteristics of the components, their interaction and influence on the overall performance of the system. The developed scheme ensures reliable and efficient operation of the robot in conditions of limited access and difficult navigation conditions, which is relevant in the context of the inspection of buildings after destruction caused by military actions.

Keywords: mobile robot, block diagram, robot control, building research, ESP32-Cam, prefab buildings.

I. Introduction

The urgency of developing a structural scheme for controlling a small-sized mobile robot by a researcher is due to modern challenges associated with the need to inspect damaged buildings, in particular panel structures that have undergone significant destruction as a result of the military aggression of the Russian Federation. Panel houses, which are common in Ukraine, have a specific structure of large panel elements, which, in case of damage, can create a danger for conducting rescue operations or assessing the condition of the building. Due to weak connections between panels, even partial collapses can cause entire sections of the building to collapse, making it difficult to access areas requiring inspection. The use of small mobile robots allows for safe and efficient research in such areas, reducing risks for rescuers and engineers. Such robots are able to penetrate hard-to-reach places, monitor the condition of structures and transmit information for further analysis, which makes them indispensable in the process of surveying destroyed or damaged buildings in the conditions of modern conflicts.

II. STRUCTURE DIAGRAM OF THE MOBILE ROBOT

The control block diagram of a small-sized mobile robot for investigating destroyed or damaged panel buildings includes the use of hardware elements such as ESP32-Cam, L298N motor driver module, DC converter and BMS 3S module to charge three 18650 batteries. The main computing platform of the robot is ESP32-Cam, which not only provides control of the entire system, but also provides real-time video transmission for remote monitoring. The ESP32-Cam was chosen for its low cost,

Wi-Fi support, and an integrated camera that allows the operator to see the robot's environment without the need for additional cameras. Its compact size and energy efficiency make it ideal for use in small mobile systems.

To control the movement of the robot, the L298N motor driver module is used, which can control two DC motors with a maximum voltage of up to 46V and a current of up to 2A per channel. This driver allows you to control the speed and direction of rotation of the motors, which is critical for maneuvering the robot in difficult environments, such as uneven or collapsed surfaces of damaged buildings. L298N has a reliable design that ensures stable operation even under conditions of increased load on engines.

The DC converter in the system is used to stabilize the voltage supplied to the motors and other elements of the system. Since 18650 batteries have a nominal voltage of about 3.7V, and the ESP32-Cam and L298N modules require a stable 5-12V to operate, using a converter allows you to provide the required voltage level. This is important to maintain the stable operation of the system during long-term use of the robot in research conditions.

The BMS 3S module for charging three 18650 batteries is chosen for its ability to ensure safe and efficient charging of the batteries, preventing them from overheating and over-discharging. This is critical for the autonomous operation of the robot in the field, where the lack of fast charging requires the most efficient use of energy. 18650 batteries ensure long-term system operation due to their high capacity and reliability.

Together, these hardware components provide effective control of a small-sized mobile robot capable of exploring damaged prefab houses, maneuvering in difficult environments, transmitting video information, and operating autonomously for long periods of time.

The developed structural diagram of the control of a small-sized mobile robot for the investigation of destroyed or damaged panel buildings is presented in Figure 1.

The developed structural diagram of a small-sized mobile robot for the investigation of destroyed or damaged panel buildings has a number of advantages compared to existing solutions. First of all, using the ESP32-Cam as the main module for video transmission and system control allows you to significantly reduce the cost of the robot without losing its functionality. Unlike more expensive platforms with separate cameras and transmitters, the ESP32-Cam integrates all the necessary components in one device, providing real-time video transmission over Wi-Fi. This allows you to quickly

monitor the condition of the building without the need for complex and expensive solutions, such as professional drones or stationary inspection systems.

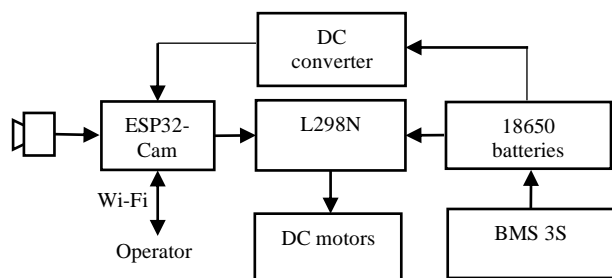


Figure 1– Structural diagram

Technically, the ESP32-Cam-based robot is light and compact, making it ideal for exploring hard-to-reach places in collapsed or unstable buildings. Thanks to the L298N motor control modules, the robot has the ability to precisely control the speed and direction of movement, allowing it to maneuver in difficult conditions where large and heavy platforms may not cope. In addition, DC motors provide high torque at low speeds, which is key for handling bumps or debris.

Compared to other solutions, this scheme provides long-term autonomous operation thanks to efficient power supply. Three 18650 batteries with a 3S BMS module guarantee a stable power supply and protection against overloads, which is important for work in field conditions where access to charging stations is limited. Compared to commercial work that uses more energy-intensive power systems, the proposed scheme provides better energy efficiency and operation duration, allowing research to be carried out for several hours without the need for charging.

From the technical side, the use of a DC converter allows you to adapt the battery voltage to the requirements of various system components, including engines and control modules. This makes it possible to efficiently use energy resources without losses and overheating. As a result, the developed scheme has significant advantages in terms of accessibility, compactness, energy efficiency and flexibility in use in damaged buildings where existing solutions may be cumbersome, expensive or less effective.

III. Conclusion

The proposed scheme is an effective and technologically sound solution for the investigation of destroyed or damaged panel buildings. The use of such hardware elements as ESP32-Cam, L298N motor driver, DC converter and BMS 3S module for 18650 batteries allowed to create a compact, economical and reliable platform that is able to perform tasks in difficult conditions. With the ability to transmit video in real time and support wireless communication, the mobile robot provides remote monitoring of the condition of structures, making it a valuable tool for engineers and rescuers.

The motion control efficiency of the L298N module allows precise control of speed and direction of motion, which is critical for maneuvering in uneven or congested building areas. 18650 batteries in combination with the

BMS 3S module guarantee long-term autonomous operation and overload protection, which is an important advantage for working in conditions where access to charging stations is limited. At the same time, the use of a DC converter ensures a stable power supply to all components, which prevents system interruptions.

In general, the developed scheme of the mobile robot turned out to be more energy efficient, affordable and technically flexible compared to some existing solutions. Its compactness and functionality make it suitable for use in various conditions, in particular during research of damaged buildings, which is especially relevant in modern conditions of military operations. Prospects for the development of this scheme include the possibility of further improving the system by integrating additional sensors and algorithms to increase autonomy and accuracy of operation in difficult conditions.

References

- [1] Alojaiman B. Technological Modernizations in the Industry 5.0 Era: A Descriptive Analysis and Future Research Directions. *Processes*. 2023; 11(5):1318. <https://doi.org/10.3390/pr11051318>.
- [2] Raja Santhi, A., Muthuswamy, P. Industry 5.0 or industry 4.0S? Introduction to industry 4.0 and a peek into the prospective industry 5.0 technologies. *Int J Interact Des Manuf* 17, 947–979 (2023). <https://doi.org/10.1007/s12008-023-01217-8>.
- [3] Hameed A, Ordys A, Możaryn J, Sibilska-Mroziewicz A. Control System Design and Methods for Collaborative Robots: Review. *Applied Sciences*. 2023; 13(1):675. <https://doi.org/10.3390/app13010675>.
- [5] Farooq, M. U., Eizad, A., & Bae, H. K. (2023). Power solutions for autonomous mobile robots: A survey. *Robotics and Autonomous Systems*, 159, 104285
- [6] Wong, C. C., Weng, K. D., Yu, B. Y., & Chou, Y. S. (2024). Implementation of a Small-Sized Mobile Robot with Road Detection, Sign Recognition, and Obstacle Avoidance. *Applied Sciences*, 14(15), 6836.
- [7] You Y, Zheng Y, Huang K, He Y, Huang Z, Zhan L. Development of a Small-Sized Urban Cable Conduit Inspection Robot. *Actuators*. 2024; 13(9):349. <https://doi.org/10.3390/act13090349>
- [8] M. Tehrani, B., BuHamdan, S., & Alwisy, A. (2023). Robotics in assembly-based industrialized construction: A narrative review and a look forward. *International Journal of Intelligent Robotics and Applications*, 7(3), 556-574.
- [9] Ma, L., & Hartmann, T. (2024). Exploration of using a wall-climbing robot system for indoor inspection in occupied buildings. *Scientific Reports*, 14(1), 13770.
- [10] Pfändler, P., Bodie, K., Crotta, G., Pantic, M., Siegwart, R., & Angst, U. (2024). Non-destructive corrosion inspection of reinforced concrete structures using an autonomous flying robot. *Automation in Construction*, 158, 105241.
- [11] M. Tehrani, B., BuHamdan, S., & Alwisy, A. (2023). Robotics in assembly-based industrialized construction: A narrative review and a look forward. *International Journal of Intelligent Robotics and Applications*, 7(3), 556-574.

- [12] Abu-Jassar AT, Attar H, Amer A, et al. Remote Monitoring System of Patient Status in Social IoT Environments Using Amazon Web Services (AWS) Technologies and Smart Health Care. *International Journal of Crowd Science*, 2024, <https://doi.org/10.26599/IJCS.2023.9100019>.
- [13] Abu-Jassar AT, Attar H, Amer A, et al. Development and Investigation of Vision System for a Small-Sized Mobile Humanoid Robot in a Smart Environment. *International Journal of Crowd Science*, 2024, <https://doi.org/10.26599/IJCS.2023.9100018>.
- [14] Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalaileh, A. (2024). Improvement of SUSAN Image Filtering Method for PCB Quality Inspection. *Journal of Universal Science Research*, 2(7), 106–116.
- [15] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalaileh, A. (2024). Using Convolutional Neural Networks to Analyze and Detect Key Points of Objects in Image. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 5-15.
- [16] Gurin, D., Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., & Maksymova, S. (2024). Using the Kalman Filter to Represent Probabilistic Models for Determining the Location of a Person in Collaborative Robot Working Area. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 66-75.
- [17] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Abu-Jassar, A. (2024). Effect of Frame Processing Frequency on Object Identification Using MobileNetV2 Neural Network for a Mobile Robot. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 36-44.
- [18] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalaileh, A. (2024). MobileNetv2 Neural Network Model for Human Recognition and Identification in the Working Area of a Collaborative Robot. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 5-12.
- [19] Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2024). Development and Investigation of Vision System for a Small-Sized Mobile Humanoid Robot in a Smart Environment. *International Journal of Crowd Science*.
- [20] Maksymova, S., Yevsieiev, V., Nevliudov, I., & Uluhan, N. (2024). CONSTRUCTING AN OPTIMAL ROUTE FOR A MOBILE ROBOT USING A WAVE ALGORITHM. *Journal of Natural Sciences and Technologies*, 3(1), 282-289.
- [21] Abu-Jassar, A., Yevsieiev, V., & Maksymova, S. (2024). The Optical Flow Method and Graham's Algorithm Implementation Features for Searching for the Object Contour in the Mobile Robot's Workspace.
- [22] Yevsieiev, V., & Starodubcev, N. (2023). Development of a control algorithm for a small-sized mobile manipulation robot. *Scientific Collection «InterConf»*, (140), 648-651.
- [23] Yevsieiev, V., & Gurin, D. (2023). *Comparative Analysis of the Characteristics of Mobile Robots and Collaboration Robots Within INDUSTRY 5.0* (Doctoral dissertation, European Scientific Platform).
- [24] Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Starodubcev, N. (2022). A robotic prosthetic a control system and a structural diagram development. *Collection of scientific papers «ΑΙΟΓΟΣ»*, (August 12, 2022; Zurich, Switzerland), 113-114.
- [25] Maksymova, S., Yevsieiev, V., Nevliudov, I., & Bahlai, O. (2024, May). Balancing System For A Zoomorphic Spot Type Mobile Robot Development Using An Accelerometer MPU 6050 (GY-521). In *2024 IEEE 19th International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)* (pp. 39-42). IEEE.
- [26] Kuzmenko, O., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Abu-Jassar, A. (2024). ROBOT MODEL FOR MINES SEARCHING DEVELOPMENT. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(6), 347-355.
- [27] Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., & Maksymova, S. (2024). Humanoid Robot Movement Simulation in ROS. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(7), 146-154.
- [28] Yevsieiev, V., & Uskov, S. (2024). *Development of the Layout Concept of a Small-Dimensioned Mobile Robot With Increased Accessibility* (Doctoral dissertation, International Scientific Unity).
- [29] Yevsieiev V. Route constructing for a mobile robot based on the D-star algorithm / V. Yevsieiev, Amer Abu-Jassar, S. Maksymova, Ahmad Alkhalaileh // *Technical Science Research in Uzbekistan*. – 2024. – № 2(4). – P. 55-66.
- [30] Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Starodubcev, N. (2022). *Software Implementation Concept Development for the Mobile Robot Control System on ESP-32CAM* (Doctoral dissertation, Collection of scientific papers Scientia).
- [31] Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2023, September). Mobile Robot Navigation System Based on Ultrasonic Sensors. In *2023 IEEE XXVIII International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED)* (Vol. 1, pp. 247-251). IEEE.
- [32] Невлюдов І. Ш. ВЕАМ робототехніка : навч. посіб. / І. Ш. Невлюдов, В. В. Євсєєв, С. С. Максимова ; Харків. нац. ун-т радіоелектроніки, кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР). – Кривий Ріг : Видавець Чернявський Д. О., 2024. – 276 с. – ISBN 978-617-8045-79-1.
- [33] Yevsieiev, V., Alkhalaileh, A., Maksymova, S., & Gurin, D. (2024). Research of Existing Methods of Representing a Collaborative Robot-Manipulator Environment within the Framework of Cyber-Physical Production Systems. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 112-120.

Інтелектуальне керування автономними транспортними шатлами для внутрішньо-складських логістичних систем

Максим Вжеснівський¹

¹. Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР), Харківський національний університет радіоелектроніки, проспект Науки 14, м. Харків, Україна
e-mail: maksym.vzhesnievskiy@nure.ua

Abstract: В роботі обґрунтовано необхідність та можливість інтелектуального керування автономними транспортними засобами-шатлами внутрішньо-складських логістичних систем.

Keywords: автоматизація, робототехніка, логістика, інтелектуальне керування.

I. ВСТУП

Впровадження саме автономних транспортних засобів-шатлів надає значні переваги внутрішньо-складським логістичним системам завдяки можливостям забезпечення більшої швидкодії керування через виключення необхідності людини оператора. Зрозуміло, що керування автономними транспортним засобом-шатлом має бути узгоджене із завданнями внутрішньо-складської логістичної системи.

Можливості традиційних технологій автоматизації, що засновані на використанні регуляторів, є досить обмеженими та дозволяють лише керувати окремими параметрами стану автономних транспортних засобів-шатлів.

За цих умов для забезпечення ефективної роботи внутрішньо складської логістичної системи, оснащеної автономними транспортними засобами-шатлами, досить привабливим є використання інтелектуальних систем, заснованих на оптимізації виробничих процесів з використанням комп'ютерних технологій. Саме використання інтелектуальних систем керування дозволить належним чином забезпечувати ефективність експлуатації внутрішньо-складських логістичних систем, оснащених автономними транспортними засобами-шатлами [1-7].

II. Автономний транспортувальний шатл

Основним призначенням внутрішньо-складської логістичної системи є забезпечення належного транспортування вантажів між зовнішніми транспортними засобами та складськими стелажми, і автономні транспортувальні човники відіграють в цьому процесі вирішальну роль (рис.1).

Дійсно (рис.1), вантаж -1 після належних вантажопідйомних робіт має бути доставлений за транспортувального шатлу -2 до складського стелажа -3 за досить складним маршрутом транспортування -4.

Для здійснення транспортування вантажів також необхідно забезпечувати повернення -5

порожнього автономного транспортувального шатлу -2 до майданчику -6 для вантажопідйомних робіт на зовнішньому транспорті.

Складність транспортування -4 (рис.1) вантажів обумовлена тими обставинами, що при достатньо великій довжині цього транспортування має забезпечуватися досить висока точність позиціонування автономного шатла наприкінці його руху для належного узгодження роботи різних складових внутрішньо-складської логістичної системи, щодо поводження із вантажами, що транспортуються в її межах.

При цьому, упродовж транспортування -4 (рис. 1) слід підтримувати належну швидкість автономного транспортувального шатла для уникнення пошкоджень складових внутрішньо-складської логістичної системи, самого шатла та транспортованих вантажів.

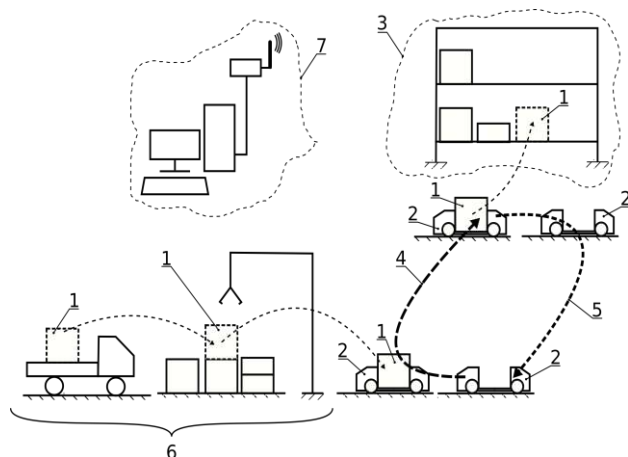
У продовж повернення -5 порожнього або навантаженого автономного транспортувального (рис. 4.1) слід також забезпечувати задану швидкість шатла руху для уникнення пошкоджень складових внутрішньо-складської логістичної системи, самого автономного транспортувального човника, а в деяких випадках ще й транспортованих вантажів.

Належна фіксація поточного стану внутрішньо-складської логістичної системи є ключовим фактором, який забезпечуватиме її роботу при значно обмеженому втручанні людей-працівників, що дозволить скоротити час реакції на виконання завдань, а також інші техніко-економічні показники ефективності експлуатації.

Забезпечення належної фіксації поточного стану внутрішньо-складської логістичної системи зводиться до фіксації розташування кожного вантажу на складських стелажах -3 та на майданчику -6 вантажопідйомних робіт на зовнішньому транспорті, а також поточного положення автономного транспортувального човника -2 для формування завдань щодо транспортування -4 вантажів позиціонування -5 автономного транспортувального човника (див. рис. 1).

Отже (див. рис. 1), система керування -7 внутрішньо-складської логістичної системи має бути оформлена окремо у вигляді відповідного комп'ютерного устаткування, яке має включати сервери та робочі станції, а також різноманітні локальні користувальницькі термінали та пристрої, що об'єднані комп'ютерними мережами, у тому числі

мобільними для забезпечення обміну даними між віддаленими один від одного стаціонарними та рухомими складовими



- 1 –вантаж, 2 – автономний транспортувальний шатл;
3 – складські стелажі; 4 – транспортування вантажів автономним транспортувальним човником;
5 – повернення автономного транспортувального човника; 6 – майданчик для вантажопідйомних робіт на зовнішньому транспорті; 7 – система керування на основі цифрових технологій

Рисунок 1 – Автономний транспортувальний шатл в логістичній системі

Завдяки використанню саме цифрових технологій в системі керування -7 (див. рис. 1) маємо можливість не тільки здійснювати фіксацію поточного стану внутрішньо-складської логістичної системи, але також й оцінювати стратегії її експлуатації відповідно до її поточного стан з урахуванням різноманітних техніко-економічних показників та критеріїв ефективності.

Завдяки цьому керування внутрішньо-складською логістичною системою буде інтелектуальним, тобто буде змінюватися відповідно до поточного стану та поточних завдань з урахуванням бажаних критеріїв ефективності.

Інтелектуальне керування внутрішньо-складськими логістичними системами ґрунтується на прийнятті рішень щодо подальшої зміни стану системи відповідно до її поточного стану та завдань на основі прогнозування техніко-економічних показників.

Поточний стан внутрішньо-складської логістичної системи може бути оцінений шляхом відповідних вимірювань з використанням відповідних сенсорів, а також шляхом належної фіксації даних щодо поточного розташування вантажів за допомогою відповідних комп'ютерних інформаційних технологій, що принципово зрозуміло.

Поточні завдання внутрішньо-складської логістичної системи визначаються працівниками-операторами або на основі експертних оцінок, або на основі оптимізації завдань відомостей про додаткової інформації, що одержана з використанням допоміжних засобів оптимізації на основі комп'ютерного моделювання відповідних процесів.

Прогнозування техніко-економічних показників для прийняття рішень щодо подальшої зміни стану системи відповідно до її поточного стану істотно ґрунтується на комп'ютерному моделюванні процесів внутрішньо-складських логістичних систем, а таке моделювання у свою чергу засновано на математичних моделях відповідних процесів.

Таким чином, інтелектуалізація процесів керування внутрішньо-складськими логістичними системами потребує відповідного математичного забезпечення у вигляді математичних моделей процесів та методів щодо їхнього аналізу та оптимізації.

Зрозуміло, що зміст математичного забезпечення інтелектуальних систем керування внутрішньо-складськими логістичними системами істотно визначається вимогами та таких систем і тому може бути досить різноманітним [8-21].

Зрозуміло, що час виконання транспортних операцій при поводженні із вантажами для внутрішньо-складської логістичної системи (див. рис. 1.) визначається, значною мірою швидкістю руху автономних транспортувальних човників таким чином, що збільшення швидкості руху автономного транспортувального човника веде до відповідного зменшення часу у виконання транспортувальних операцій.

Отже, для зменшення часу виконання транспортних операцій при поводженні із вантажами слід забезпечувати найбільшу швидкість руху автономних транспортувальних човників.

В той же час, питомі на одиницю довжини шляху витрати електроенергії автономними транспортувальним човником збільшуються при збільшенні його повної маси та швидкості руху [22].

За цих умов доцільно запровадити інтелектуальне керування, яке б забезпечувало вибір оптимальної швидкості руху автономного транспортувального човнику відповідно до обсягів завдань внутрішньо-складської логістичної системи (див. рис. 1) таким чином, щоб мінімізувати витрати електричної енергії на внутрішньо-складське транспортування вантажів.

III. Висновки

Впровадження інтелектуального керування автономними транспортувальними шатлами, яке забезпечує вибір швидкості руху автономного транспортувального човнику відповідно до обсягів завдань внутрішньо-складської логістичної системи ґрунтується на математичному забезпеченні, що представлятиме співвідношення між обсягом завдань, бажаним часом їхнього виконання та відповідній цьому часу швидкості руху автономного транспортувального човника.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Основи наукових досліджень : підручник / І. Ш. Невлюдов, Ю. М. Олександров, А. О. Андрусевич, О. О. Чала ; МОНУ, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Prague : OKTAN PRINT, 2024. – 468 с.

- [2] Basiuk V. Command recognition system research / V. Basiuk, S. Maksymova, O. Chala // *Technical Science Research in Uzbekistan*, 2024. – 2(5). – P. 50-61.
- [3] Igor, N., Svitlana, M., Olena, C., Artem, B., & Maksym, V. (2023). Automated Logistics Processes Improvement in Logistics Facilities. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 3(3), 157-170.
- [4] I. Nevliudov, A. Bronnikov, O. Chala "Improvement and Optimization of Automated Logistics Processes in Logistics Premises," 2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/MEES61502.2023.10402386.
- [5] A Small-Sized Robot Prototype Development Using 3D Printing / I. Nevliudov, V. Yevsieiev, S. Maksymova, O. Chala // *CAD In Machinery Design Implementation and Educational Issues (CADMD'2023) : proceedings of the XXXI International Conference. (Conference in memory of Professor Jerry Wrobel)*, Suprasl, 26-28 October, 2023. – Suprasl, 2023. – P. 12.
- [6] Buts D. Signals Collisions Detection In Wireless Networks / D. Buts, O. Chala, S. Maksymova // *Journal of Universal Science Research*. – 2023. – № 1(11). – P. 156–168. •
- [7] Switching Module Basic Concept. (2024). *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(7), 87-94. <https://mjstjournal.com/index.php/mjst/article/view/1733>
- [8] Nevliudov, I., Vzhesnievskiy, M., Romashov, Y., & Chala, O. (2023). Mathematical modeling of mechatronic shuttles as automation objects for multilevel systems of intra-warehouse logistics. *INNOVATIVE TECHNOLOGIES AND SCIENTIFIC SOLUTIONS FOR INDUSTRIES*, 4(26), 135–144. <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2023.26.135>
- [9] Basiuk, V., Maksymova, S., Chala, O., & Abu-Jassar, A. (2024). COMMAND SYSTEM FOR MOVEMENT CONTROL DEVELOPMENT. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(6), 248-255.
- [10] Chala, O., Maksymova, S., & Abu-Jassar, A. (2024). Switching Module Basic Concept. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(7), 87-94.
- [11] Vizir, Y., Chala, O., Maksymova, S., all. (2024). Lighting Control Module Software Development. *Journal of Universal Science Research*, 2024. – 2(2). – P. 29–42.
- [12] Basiuk, V., Maksymova, S., Chala, O., & Miliutina, O. (2023). Mobile Robot Position Determining Using Odometry Method. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 3(3), 227-234.
- [13] Maksymova, S., & Chala, O. (2023). Defect Engineering: Application in Automation System Components Production Technological Processes. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 3(3), 243-251.
- [14] Buts, D., Chala, O., & Maksymova, S. (2023). Signals Collisions Detection In Wireless Networks. *Journal of Universal Science Research*. – 2023. – № 1(11). – P. 156–168.
- [15] Zharikova, I., Nevliudov, I., Maksymova, S., & Chala, O. (2023). Automatic Machine of Plastic Bottles and Aluminum Cans Collection for Recycling. *Journal of Universal Science Research*. – 2023. – № 1(11). – P. 169–178.
- [16] MAKSYMOVA, S., NEVLIUDOV, I., YEVSIEIEV, V., KLYMENKO, O., & VZHESNIEWSKI, M. (2023). Shuttle-based storage and retrieval system 3d model improvement and development. *Journal of Natural Sciences and Technologies*, 2(2), 232-237.
- [17] Nevliudov, I. S., Yevsieiev, V. V., Maksymova, S. S., Omarov, A. O. M., & Klymenko, O. M. (2023). Conveyor Belt Object Identification: Mathematical, Algorithmic, and Software Support. *Applied Mathematics & Information Sciences : An International Journal*. - 2023. - Vol. 17, No. 6. - P. 1073-1088.
- [18] Gurin, Dmytro, et al. "Using Convolutional Neural Networks to Analyze and Detect Key Points of Objects in Image." *Multidisciplinary Journal of Science and Technology* 4.9 (2024): 5-15.
- [19] Yevsieiev, V. ., & Gurin, D. . (2023). COMPARATIVE ANALYSIS OF THE BASIC METHODS USED IN INDUSTRY 4.0 AND INDUSTRY 5.0. *Collection of Scientific Papers オヒンテOモサ*, (September 29, 2023; Bologna, Italy), 113–115. <https://doi.org/10.36074/logos-29.09.2023.31>
- [20] O. Chala, A. Bronnikov, N. Igor and D. Mospan, "The Use of Neural Networks for the Technological Objects Recognition Tasks in Computer-Integrated Manufacturing," 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 2022, pp. 1-5, doi: 10.1109/MEES58014.2022.10005750.
- [21] Шостенко С. С. Архітектура програмного забезпечення для супроводження автоматизованих систем оповіщення на виробництві / С. С. Шостенко, О. О. Чала // *Виробництво & Мехатронні Системи 2022 : зб. тез. доп. VI-ої Міжнар. конф., 21-22 жовтня 2022 р.* – Харків, 2022. – С. 115-117.
- [22] Human Operator Identification in a Collaborative Robot Workspace within the Industry 5.0 Concept. (2024). *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), <https://mjstjournal.com/index.php/mjst/article/view/1853>

Програмне забезпечення для розрахунку резонансних частот мембран живих організмів

Родіо Клименко¹, Дмитро Кухаренко¹

1. Навчально-науковий інститут електричної інженерії та інформаційних технологій, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, УКРАЇНА, Кременчук, вул. Першотравнева, 20. email: dkuch100@gmail.com

Анотація: У роботі проводився огляд джерел інфразвуку штучних та природних, а також його вплив на живі організми. Проведені експерименти на колорадських жуках і жабах свідчать про смертельну дію інфразвуку. А щодо людини 7 Гц вважається смертельним і для неї. Немає наукових випробувань і праць щодо мікроорганізмів, тому дослідження цієї тематики є актуальною задачею.

Елементарна частинка нейтринно володіє, як відомо, величезною проникаючою здатністю. Інфразвук – свого роду «акустичне нейтрино» – здатний проходити без помітного ослаблення через скло і навіть крізь стіни.

Ключові слова: інфразвук, низькочастотне коливання, мікроорганізми.

I. ВСТУП

Інфразвуком називають акустичні коливання з частотою нижче 20 Гц. Цей частотний діапазон лежить нижче слухового порогу [1]. Слуховий аналізатор людини не спроможний сприймати коливання таких частот. Інфразвук за фізичними характеристиками має однакову природу зі звуком він мало поглинається повітрям, тому може поширюватись на великі відстані. Інфразвук характеризується інфразвуковим тиском, інтенсивністю, що вимірюються у децибелах. У виробничих умовах інфразвук генерується при роботі компресорів, турбін, дизельних двигунів, що здійснюють обертотві та вольотно-поступальні рухи, а також турбулентні процеси, що виникають під час руху великих потоків газів або рідин. Внаслідок цього інфразвук супроводжується звуковою або інфразвуковою частиною спектра.

До об'єктів на яких інфразвукова область акустичного спектру переважає над звуковою, відноситься автомобільний і водний транспорт, конвертерні і мартенівські цехи металургійного виробництва, компресорні, газоперекачувальні станції, портові крани і т. ін. Інфразвук як фізичне явище підпорядковується закономірностям характерним для звукових хвиль, але крім цього має ряд особливостей, що пов'язані з низькою частотою коливання пружного середовища. До таких особливостей інфразвуку належить:

- більша амплітуда коливань ніж акустичних хвиль при різній потужності джерела звуку;
- розповсюдження на велику відстань від джерела через слабе поглинання його атмосферним повітрям;
- створення явища дифракції через велику довжину хвиль;
- здатність створювати вібрацію крупних об'єктів через явище резонансу.

Вказані особливості інфразвукових хвиль чинять труднощі у боротьбі з ними, тому що класичні

засоби, такі як звукопоглинання, звукоізоляція або віддалення від джерела, що використовуються для зниження шуму, виявляються малоефективними. З літературних джерел відомо про чутливість людини до коливань з великою інтенсивністю в області інфразвукових частот. Всебічне вивчення біологічної дії інфразвуку продовжує тривати, але існуючі висновки свідчать про те, що інфразвук, як розповсюджений гігієнічний чинник, залежно від частоти і рівня звукового тиску чинить вплив на функціональний стан організму, несприятливо діючи на нервову, серцево-судинну системи, функцію дихання, стан слухового та вестибулярного аналізаторів.

Отже, інфразвук як професійний чинник може несприятливо впливати на організм людини і чинити специфічну дію на орган слуху. Причиною такої біологічної дії інфразвуку є те, що він сприймається не тільки слуховим аналізатором, а всією поверхнею тіла людини, тому вивчення його властивостей залишається актуальною задачею.

II. МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

Для того, щоб визначити вплив інфразвуку на клітину, необхідно з'ясувати її будову (рис.1). У еукаріотичної клітини мембрани розташовані як на поверхні клітини, так і всередині неї, утворюючи мембранні органели. До складу мембран входять ліпіди, білки і вуглеводи. Ліпіди мембрани представлені в основному фосфоліпідами (близько 75%) і холестерином (близько 20%), тоді як гліколіпіди утворюють мінорну фракцію. Більшість білків мембран відноситься до складних білків, наприклад, глікопротеїну. Вуглеводи не зустрічаються в мембрані у вільному стані: вони входять в склад складних білків і ліпідів - гліколіпідів і глікопротеїнів.

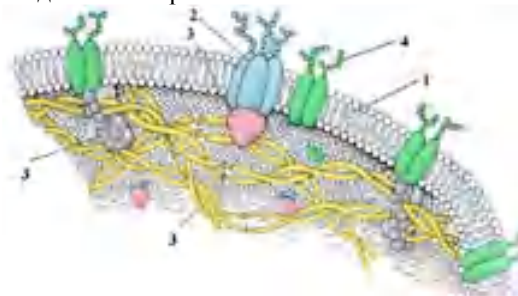


Рисунок 1 – Будова мембрани еукаріотичної клітини: 1 - ліпідний бішар; 2 – інтегральний білок; 3 – периферійний білок; 4 – вуглеводний залишок глікопротеїна.

Очевидним є той факт, що товщина мембрани грає якщо не найголовнішу роль, то одну із головних. Загальна товщина мембран живих організмів має діапазон від 5 до 10 нм [2]. А відповідно резонансна частота для різних клітин буде різною. Клітинна мембрана має досить складну будову, її можна побачити в електронний мікроскоп. Грубо кажучи, вона складається з подвійного шару ліпідів (жирів), в якій в різних місцях включені різні пептиди (білки).

Загальний план будови клітинної мембрани універсальний для всього живого світу. Однак мембрани тварин містять включення холестерину, який визначає її жорсткість. Відмінність мембран різних царств організмів в основному стосується надмембранних утворень (шарів). Так у рослин і грибів над мембраною (із зовнішнього боку) знаходиться клітинна стінка. У рослин вона складається переважно з целюлози, а у грибів - з речовини хітину. У тварин надмембранний шар називається глікокаліксом. По-іншому клітинна мембрана називається цитоплазматичною мембраною або плазматичною мембраною.

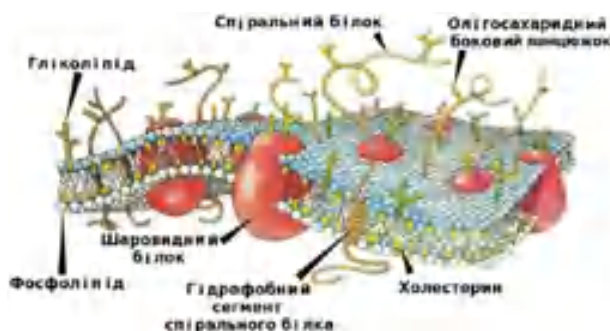


Рисунок 2 – Будова мембрани еукаріотичної клітини з підвищеною силою натягу та щільністю мембрани за рахунок холестерину

Розглянемо механічні властивості еукаріотичної клітини. У клітині будь-якої тканини є власна частота коливань. Коли інфразвук відповідної частоти впливає на мембрану клітини, можливе таке фізичне явище як резонанс. Отже, необхідно визначити диференціальне рівняння коливань мембрани. Зміщення точки мембрани з положення рівноваги позначимо через u , v , w . Через n позначимо напрямок нормалі до поверхні мембрани в даний момент часу. При таких позначеннях направляючі косинуси мають наступний вигляд

Розглядаються механічні властивості мембрани клітини мікроорганізму. Ефект резонансу мембрани клітини виникає внаслідок співпадання власних коливань з вимушеними. Зміщення точки мембрани з положення рівноваги визначаються наступними параметрами u , v , w . Визначимо напрямок нормалі h до поверхні мембрани в деякий момент часу. Направляючі косинуси мають наступний вигляд:

$$\cos(h, x_1) = -\cos(h, z_1) \frac{\partial w}{\partial t},$$

$$\cos(h, y_1) = -\cos(h, z_1) \frac{\partial w}{\partial t},$$

$$\cos(h, z_1) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\partial w}{\partial x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y_1}\right)^2}}.$$

Прим малих деформацій мембрани, будемо мати наступні рівняння:

$$\cos(h, x_1) = -\frac{\partial w}{\partial t},$$

$$\cos(h, y_1) = -\frac{\partial w}{\partial t},$$

$$\cos(h, z_1) = 1.$$

Припустимо, що напруження $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yx}, \tau_{xz}$ мають рівномірно розподілятися по товщині мембрани. Якщо компоненти напруження будуть малі, отримаємо наступне рівняння:

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{S}{d},$$

де d – товщина мембрани.

Якщо малими величинами знехтувати, отримаємо:

$$\sigma_x \cos(h, x_1) + \tau_{xy} \cos(h, y_1) + \tau_{xz} \cos(h, z_1) = -\frac{S}{d} \frac{\partial w}{\partial x_1} + \tau_{xz} = 0$$

$$\tau_{yx} \cos(h, x_1) + \sigma_y \cos(h, y_1) + \tau_{yz} \cos(h, z_1) = -\frac{S}{d} \frac{\partial w}{\partial y_1} + \tau_{yz} = 0$$

$$\tau_{xz} \cos(h, x_1) + \tau_{yz} \cos(h, y_1) + \sigma_z \cos(h, z_1) = \sigma_z = 0,$$

таким чином остаточно отримаємо:

$$\tau_{xz} = \frac{S}{d} \frac{\partial w}{\partial x_1}, \tau_{yz} = \frac{S}{d} \frac{\partial w}{\partial y_1}, \sigma_z = 0.$$

Якщо підставити рівняння, які наведені вище у третє рівняння рівноваги:

$$\left(\frac{\partial^2 \tau_{xz}}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 \tau_{yz}}{\partial y_1^2} + \frac{\partial^2 \sigma_z}{\partial z_1^2} \right) t = \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2},$$

отримаємо диференціальне рівняння руху мембрани:

$$\frac{S}{d} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y_1^2} \right) = \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2},$$

де ρ – маса одиниці об'єму мембрани.

Відповідно $\mu = \rho d$.

Рівняння маси на одиницю поверхні представлено нижче:

$$c^2 = \frac{S}{\mu} = \frac{S}{\rho d}, \frac{\partial^2 w}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y_1^2} = \Delta w.$$

Отримаємо диференціальне рівняння у вигляді:

$$c^2 \Delta w = \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}.$$

Очевидно, що товщина мембрани грає найголовнішу роль у визначенні резонансних властивостей клітини мікроорганізму. Товщина мембран живих організмів має наступний діапазон: від 5 до 10 нм. Резонансна частота буде різною для різних клітин.

Розглянемо математичну модель деякої мембрани, яка має прямокутну форму. Якщо ввести еквівалентні

контактні сили і додати резонансну напруженість з рівнянням вільних коливань (рис. 3), отримаємо:

$$R_1(x, y, t) = (H \cdot \Delta x + H \cdot \Delta y) \cdot R_1(t), \\ R_2(x_1, y_1, t) = (\delta x - \delta x_2)(\delta y - \delta y_2) \cdot R_2(t),$$

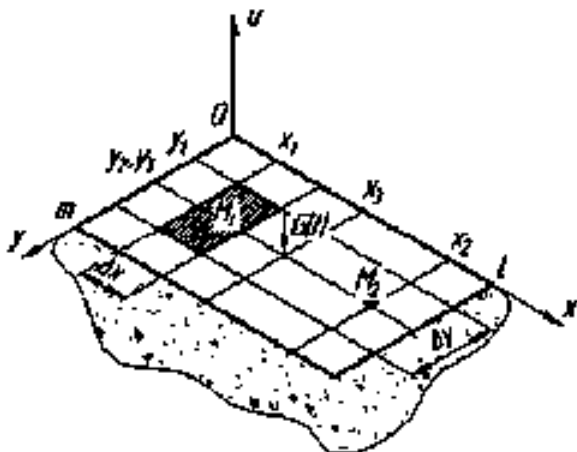


Рисунок 3 – Спрощена модель клітинної мембрани у тривимірній декартовій системі координат з механічним навантаженням

Якщо переміщення мас дорівнюють переміщенням точок мембрани. Тоді припустимо, що переміщення Δx , Δy мають мале значення в порівнянні з l і m .

$$X_{M1}(t) = dx(x_1, y_1, t), X_{M2}(t) = dx(x_2, y_2, t).$$

Розглянемо параметричну модель Власова-Леонтьєва [5]:

$$R_1(x_1, y_1, t) = \frac{2E_0 \cdot \nabla^2 \cdot X(x_1, y_1, t)}{1 - g_0^2} \int_0^H (\psi')^2 dz \cdot + \\ + \frac{E_0 \cdot X(x_1, y_1, t)}{4(1 + g_0^2)} \int_0^H \psi^2 dz \cdot + m_f \cdot \frac{\partial^2 X(x_1, y_1, t)}{\partial t^2}, \\ t_f = \frac{E_0}{1 - g_0^2} \int_0^H (\psi')^2 dz, k_f = \frac{E_0}{4(1 + g_0^2)} \int_0^H \psi^2 dz$$

де t_f і k_f – коефіцієнти, що характеризують роботу мембрани на стиск і зрушення, E_0 , ν_0 – модуль пружності та коефіцієнт Пуассона. Маса пружної основи має вигляд:

$$m_f = \rho_0 \int_0^H \psi^2 dz,$$

де ρ_0 – щільність матеріалу клітинної мембрани.

Затухання коливання в глибині мембрани клітини відбувається за наступним законом:

$$\psi(z) = \frac{\sin(\gamma(H-z))}{\sin(\gamma H)},$$

де γ – коефіцієнт згасання коливань мембрани; H – товщина мембрани.

Диференціальне рівняння коливання при резонансі системи «мембрана-внутрішнє середовище клітини» може бути записано у наступним чином:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + \frac{1}{\rho} (R_0(x_1, y_1, t) + R_1(x_1, y_1, t) + R_2(x_1, y_1, t) - \rho \cdot G(x_1, y_1, t)) = \\ = a^2 \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y_1^2} \right)$$

Диференціальне рівняння представимо у вигляді подвійного ряду Фур'є:

$$u(x_1, y_1, t) = \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} u_{k,n}(t) \cdot \sin \frac{k\pi x_1}{l} \cdot \sin \frac{n\pi y_1}{l}.$$

Після підстановки в рівняння, яке приведено вище, отримаємо:

$$u(x_1, y_1, t) = \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{C_{1k,n}}{\lambda_{k,n}} \right) \cdot \int_0^t R_1(\tau) \cdot \sin(\lambda_{k,n}(t-\tau)) dt + \left(\frac{C_{2k,n}}{\lambda_{k,n}} \right) \cdot \int_0^t R_2(\tau) \times \\ \times \sin(\lambda_{k,n}(t-\tau)) dt + \left(\frac{C_{3k,n}}{\lambda_{k,n}} \right) \cdot \int_0^t G(\tau) \cdot \sin(\lambda_{k,n}(t-\tau)) dt \sin \frac{k\pi x_1}{l} \cdot \sin \frac{n\pi y_1}{l},$$

де

$$C_{1k,n} = \frac{4}{(\rho + m_f) k n \pi^2} \left(\cos \frac{k\pi x_1}{l} - \cos \frac{k\pi(x_1 + \Delta x)}{l} \right) \left(\cos \frac{k\pi y_1}{m} - \cos \frac{k\pi(y_1 + \Delta y)}{m} \right),$$

$$C_{2k,n} = \frac{4}{(\rho + m_f) l m} \sin \frac{k\pi x_2}{l} \sin \frac{n\pi y_2}{m},$$

$$C_{3k,n} = -\frac{4}{(\rho + m_f) l m} \sin \frac{k\pi x_3}{l} \sin \frac{n\pi y_3}{m},$$

$$\lambda_{k,n} = \sqrt{\left(\pi^2 \cdot (2t_f + a^2 \rho) \cdot \left(\frac{k^2}{l^2} + \frac{n^2}{m^2} \right) + k_f \right) / (\rho + m_f)}.$$

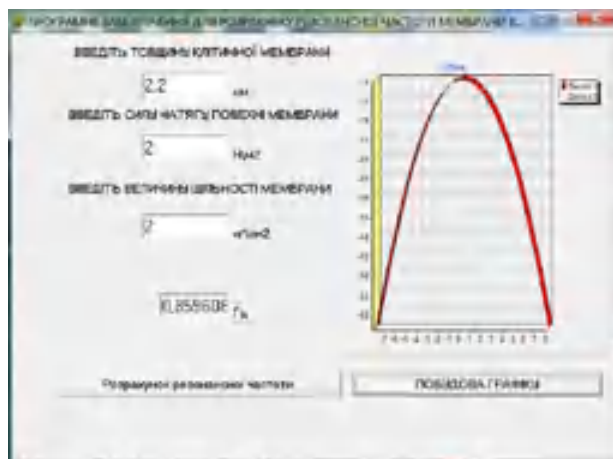


Рисунок 4 – Програмне забезпечення для визначення резонансної частоти мембранної клітини мікроорганізму

Запропоновано програмне забезпечення для визначення резонансної частоти цитоплазматичної мембрани мікроорганізмів. Для роботи програмного забезпечення необхідно ввести в робоче вікно програми наступні параметри: товщину цитоплазматичної мембрани (нм), силу натягу поверхні мембрани (Н/м²) та щільність мембрани 1кг\см². Наприклад, розрахована резонансна частота

мембрани випадкового мікроорганізму товщиною 2,2 нм, сила натягу поверхні мембрани при цьому складає 1 Н/м^2 , щільність мембрани має 1 кг/см^2 . Розрахована резонансна частота випадкового мікроорганізму становить 0,86 Гц (рис.4). Було проведено дослідження акустичних характеристик в випромінювачі інфразвукових коливань типу рупор.

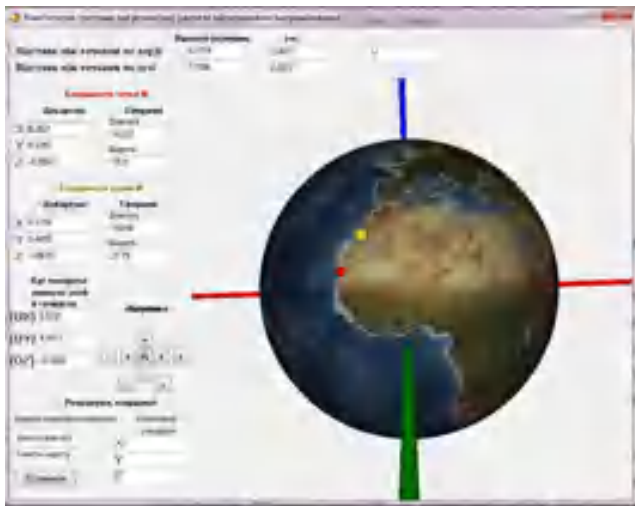


Рисунок 5 – Програмне забезпечення для визначення джерела інфразвукового випромінювання

Запропоновано програмне забезпечення для знаходження джерела інфразвукового випромінювання (рис.5). Особливістю програмного забезпечення є тривимірний модуль з мінімальними апаратними вимогами та відповідними органами керування, швидкість розрахунків (відстані по хорді і по дузі в кілометрах та у відносних одиницях між двома точками, визначення декартових координат за відомими сферичними). Програмне забезпечення працює наступним чином: за допомогою лівої клавіші миші встановлюємо фіксовану точку М, за допомогою правої клавіші встановлюємо фіксовану точку М'. У відповідних вікнах відображуються декартові координати. При переміщенні фіксованих точок по поверхні моделі земної кулі декартові координати змінюються. За допомогою колеса маніпулятора типу “миші” можливо здійснювати збільшення моделі земної кулі.

Будь-яка система має власні резонансними частотами. У спокійному стані, тобто, в стані рівноваги системи, вони ніяк не проявляються. Але, варто тільки вивести систему зі стану рівноваги, наприклад, просто порушивши всередині приміщення складний звуковий сигнал, наприклад, музичний, як ця система відразу ж проявить свої власні резонансні частоти. Акустичний резонанс – це ефект різкого зростання результуючої амплітуди звукового сигналу при наближенні частоти збудливого сигналу до власної частоти системи.

III. ВИСНОВКИ

У роботі зроблений огляд впливу інфразвуку на цитоплазматичну мембрану. Запропоновано математична модель та програмне забезпечення для визначення резонансної частоти цитоплазматичної

мембрани живого організму для пригнічення життєдіяльності останнього. Для роботи програмного забезпечення необхідно всього три параметри: товщина цитоплазматичної мембрани, сила натягу поверхні мембрани та щільність мембрани.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Kukhareno, D., Pasenko, A., Sakun, O., Antonova, O., Yuliia, I. Software Modeling of Measuring the Influence of Infrasound as a Production and Environmental Factor of Industry Technologies on the Membrane Complex of Microorganisms of Technological Processes. Proceedings of the 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System, MEES 2023.
- [2] Nykyforov, V., Sakun, O., Digtar, S., ... Maznytska, O., Kukhareno, D. Determination of Electromagnetic Radiation Intensity by Reaction of Hydro- and Aerobionts. Proceedings of the 20th IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems, MEES 2021
- [3] Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalailah, A. (2024). The Sobel algorithm implementation for detection an object contour in the mobile robot's workspace in real time.
- [4] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Abu-Jassar, A. (2024). Effect of Frame Processing Frequency on Object Identification Using MobileNetV2 Neural Network for a Mobile Robot. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 36-44.
- [5] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalailah, A. (2024). MobileNetv2 Neural Network Model for Human Recognition and Identification in the Working Area of a Collaborative Robot. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 5-12.
- [6] Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., Maksymova, S., & Gurin, D. (2024). Human Operator Identification in a Collaborative Robot Workspace within the Industry 5.0 Concept. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 95-105.
- [7] Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., Maksymova, S., & Gurin, D. (2024). Human Operator Identification in a Collaborative Robot Workspace within the Industry 5.0 Concept. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 95-105.
- [8] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalailah, A. (2024). Using Convolutional Neural Networks to Analyze and Detect Key Points of Objects in Image. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 5-15.
- [9] Gurin, D., Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., & Maksymova, S. (2024). Using the Kalman Filter to Represent Probabilistic Models for Determining the Location of a Person in Collaborative Robot Working Area. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 66-75.

Алгоритм та програмна реалізація роботи комплексу очних м'язів людини

Микола Мешков¹, Дмитро Кухаренко¹

1. Навчально-науковий інститут електричної інженерії та інформаційних технологій, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, УКРАЇНА, Кременчук, вул. Першотравнева, 20. email: dkuch100@gmail.com

Анотація: Приступаючи до операції, офтальмолог-хірург розраховує тільки на свій власний досвід. Емпіричні методи тут мало ефективні через велику різноманітність і складність форм косоокості людини. Тому для подальшого підвищення ефективності хірургії косоокості, розробка алгоритму та програмного засобу для комплексної роботи всіх очних м'язів людини є актуальною задачею.

Ключові слова: алгоритм, програмне забезпечення, окоруховий апарат.

I. ВСТУП

Мета даної роботи полягає у створенні алгоритму та програмного засобу дозволить уявити можливі причини та механізми розвитку певних форм косоокості, а також прогнозувати результати хірургічних втручань на окорухових м'язах. Користуючись комп'ютерною системою передопераційного планування хірургічної корекції окорухового апарату, офтальмолог-хірург зможе вибрати оптимальну тактику хірургічного лікування і дозування оперативних втручань для конкретного хворого.

II. МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Алгоритм роботи комп'ютерної системи [1] складається з наступних складових: алгоритму тривимірної моделі окорухового апарату, алгоритму роботи бази даних пацієнтів, алгоритму побудови векторів сил тяги відповідних м'язів та алгоритму здійснення попередніх розрахунків.

Тривимірна модель окорухового апарату включає в себе наступні процедури (рис.1).

Аддукція - приведення (око повертається до носа). Її виконує медіальний прямий м'яз.

Абдукція - відведення (око повертається в сторону скроні). Її виконує латеральний прямий м'яз.

Супрадукція - підняття ока вгору. Виконується верхнім прямим м'язом.

Інфрадукція - опускання ока вниз. Виконується нижнім прямим м'язом.

Інциклодукція - рух ока в Y-площині, коли його верхня окружність внаслідок обертання приводиться до носа. Виконує рух верхній косий м'яз.

Ексциклодукція - протилежно інциклодукції. Верхня окружність відводиться до скроні. Виконує рух нижній косий м'яз.

Комп'ютерна система може працювати в двох режимах: перший режим - робота в реальному часі, визначення всіх параметрів, необхідних для передопераційного планування та другий режим - пропонування методів хірургічної корекції, також

можливе збереження інформації про пацієнта в базі даних. На рис. 1 наведено алгоритм роботи тривимірної моделі окорухового апарату.

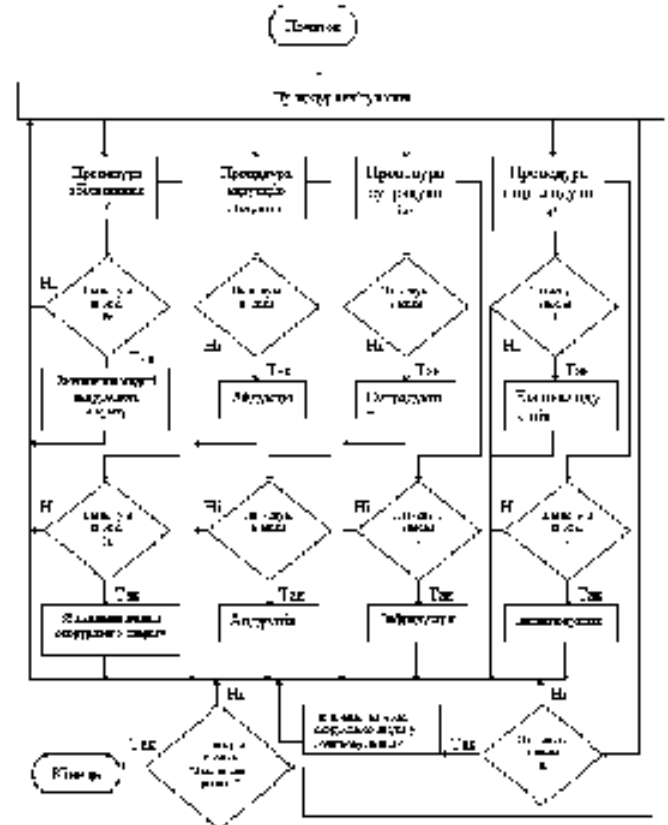


Рисунок 1 – Алгоритм роботи тривимірної моделі окорухового апарату

На рисунку 2 наведено алгоритм здійснення попередніх розрахунків, які необхідні для роботи офтальмо-хірурга. На рисунку 3 зображений алгоритм роботи модуля передопераційного планування.

Практична реалізація та експериментальні дослідження роботи комплексу очних м'язів людини. Приклад №1. У пацієнта з діаметром очного яблука 20мм (радіус – 10мм) планується рецесія внутрішнього прямого м'яза. „Таблична” величина рецесії для девіації у даного пацієнта становить 6мм. Проте, табличні дані розраховані на середню величину очного яблука – (радіус – 12мм). Необхідно визначити, яка величина рецесії показана пацієнту, враховуючи розміри його очного яблука. Після запуску програмного забезпечення, за допомогою лівої клавіші маніпулятора типу “миша”, встановлюється на поверхню моделі очного яблука точку M, яка має координати довгота 270°, широта 35,8°. Це середина прикріплення внутрішнього

прямого м'язу. Відшукати цю точку легко, оскільки зона прикріплення внутрішнього прямого м'язу зображена на поверхні моделі і позначена літерами MRM.

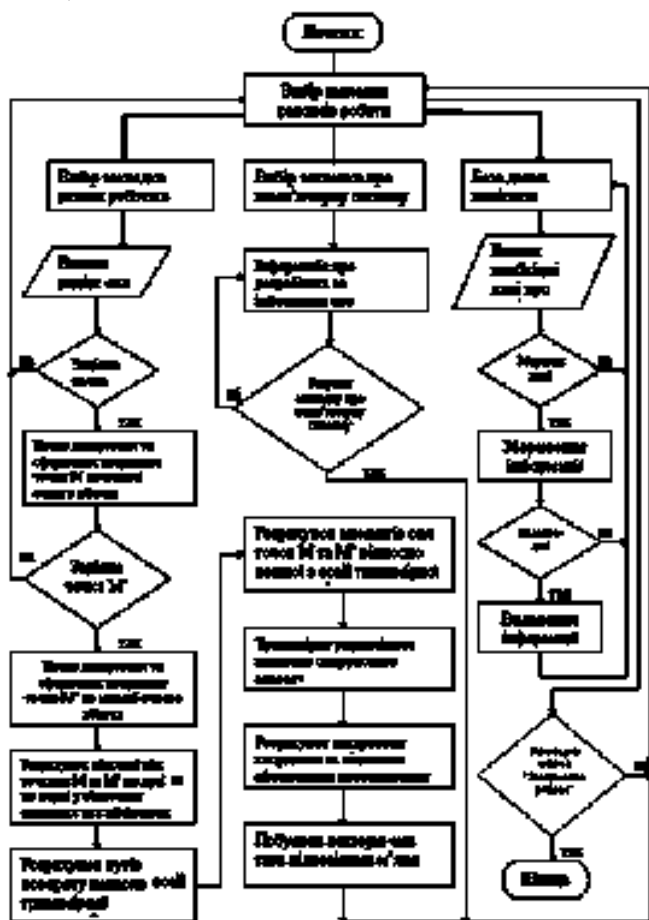


Рисунок 2 – Алгоритм здійснення попередніх розрахунків

У вікно (37 вводиться радіус очного яблука – 12мм. Тепер треба визначити координати прикріплення середини внутрішнього прямого м'язу після рецесії величиною у 6мм. Оскільки довгота при цьому залишиться незмінною, за допомогою правої клавіші миші, на меридіані 270° встановлюємо точку М'. Не відпускаючи праву клавішу переміщується точка М' по меридіану 270° до тих пір, поки у додатковому вікні (34) – відстань між точками по хорді, не з'явиться цифра 6. При цьому у вікнах (13, 14) матимемо значення: довгота 270°, широта 6,9°. Після цього необхідно оновити робоче вікно програмного забезпечення. Далі необхідно діяти, як було описано вище. Встановлюємо точку М на те ж саме місце. У вікно (37) вводиться радіус очного яблука – 10мм. Точку М' переходить в точку на поверхні моделі очного яблука з координатами довгота 270°, широта 6,9°. У вікні (34) – відстань між точками по хорді, з'явиться відстань необхідної рецесії. Ця відстань становить 5,0мм. Таким чином, можливе внесення необхідних поправок на розмір очного яблука, при дозуванні оперативних втручань на окоорухових м'язах.

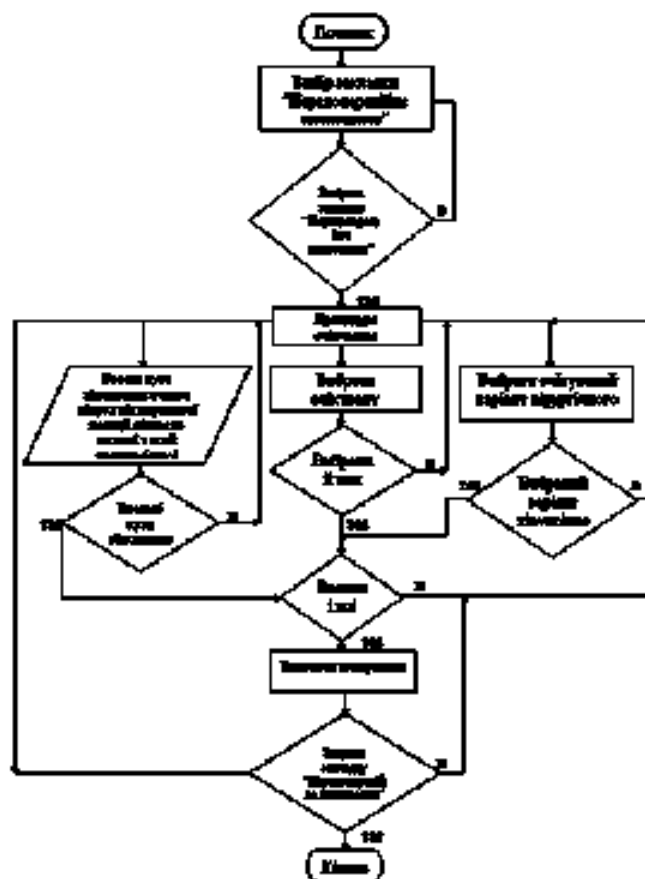


Рисунок 3 - Алгоритм роботи модуля передопераційного планування

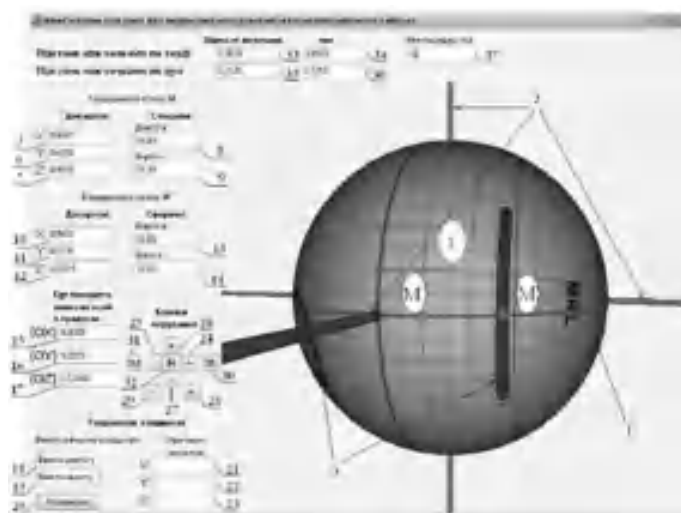


Рисунок 4 – Робоче вікно комп'ютерної системи для передопераційного планування хірургічної корекції косоокості

Приклад №2. При виконанні операцій на нижньому косому м'язові наприклад його рецесії або антеропозиції, необхідно визначити величину запланованого переміщення цього м'язу на поверхні очного яблука. Звичайно таке вимірювання на поверхні очного яблука здійснюється за допомогою циркуля-вимірювача, що входить до стандартного набору інструментів. Проте через особливості топографії прикріплення нижнього косого м'язу до

поверхні очного яблука, в його заданій півкулі, вивести в операційне поле зону прикріплення цього м'яза і відповідно виміряти необхідну відстань за допомогою циркуля-вимірювача не вдається, особливо при задньому варіанті прикріплення нижнього косоного м'яза. Щоб здійснити таке вимірювання безпосередньо, часто доводиться застосовувати відтинання зовнішнього прямого м'яза від місця його прикріплення (що можливо але вкрай небажано) і здійснювати суперрадукуцію очного яблука, що загрожує різними ускладненнями через можливість травми зорового нерва та судин, без гарантії виведення нижнього косоного в операційне поле. Тому можливо використати непряме вимірювання рецесій або антеропозицій за допомогою запропонованої комп'ютерної системи. Таке вимірювання здійснюється наступним чином: на моделі очного яблука використовують точки M і M' . Точку M виставляємо в місці прикріплення нижнього косоного м'яза, а точку M' виводимо в місце куди плануємо пересадити нижній косий м'яз. При цьому відстань переміщення визначається по хорді у відповідному вікні. Коли точка пересадки визначена на моделі (за допомогою точок M і M') послідовно вимірюється відстань по хорді від легкодоступних в операційному полі орієнтирів, якими слугують нижній край прикріплення зовнішнього прямого м'яза і латеральний край нижнього прямого м'яза. Таким чином визначивши за допомогою моделі відстань по хорді до цих орієнтирів стандартним циркулем вимірювачем в операційному полі на поверхні ока пацієнта легко можна знайти точку до якої буде фіксований пересаджуваний косий м'яз. Тобто комп'ютерна система передопераційного планування хірургічної корекції дозволяє точно дозувати операції на нижньому косому м'язові без ризику виникнення ускладнень, значно скорочує за рахунок зручності вимірювань час операцій і перебування пацієнта під наркозом.

Приклад №3. Необхідно визначити як змінюється вертикальна дія косоного м'яза MOS. При виконанні операцій на окоорухових м'язах, для становлення очного яблука в первинну позицію, необхідно вміти визначати моменти сил цих окоорухових м'язів. Для зручності комп'ютерна система працює в режимі реального часу і визначення моменту сили довільного м'язу можливо в будь-якій точці поверхні моделі очного яблука. Для визначення моменту сили краю косоного м'яза MOS необхідно, використовуючи маніпулятор типу "миша", встановити лівою клавішею точку M на поверхні моделі очного яблука. У вікні 2 (рис.5.7) встановити позначку "Точка M ", і вибрати тип необхідного м'яза, в даному випадку це MOS. Автоматично відбувається побудова вектора сили тяги в точці M . У вікні 1 розраховуються проекції цього моменту сили відносно кожної осі декартової системи координат. Лівою клавішею маніпулятора встановлюємо точку M' на тій самій довготі, що і точка M . Повільно змінюємо широту в меншу сторону до місця можливого пересадження м'яза MOS. Визначаємо момент сили точки M' (вікно 4). Проекція моменту сили точки M відносно осі OY складає 0.1812, а точки M' 0.5635 (вікно 3). Від точки

M до точки M' вертикальна дія м'яза MOS збільшується. Таким чином можна судити про зміну вертикальної дії м'яза MOS.

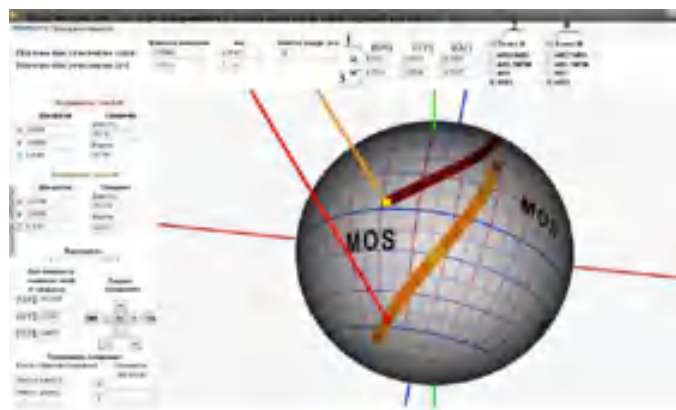


Рисунок 5– Визначення моментів сил косоного м'яза MOS у точках M і M' .

Приклад №4. Хворий M . 5 років, діагноз V -синдром. Передопераційне планування має наступний вигляд. Для роботи комп'ютерної системи необхідно мати наступні дані для роботи: кут відхилення від первинної позиції (кут косоокості) та радіус ока. Методом призмної страбометрії визначено кут косоокості – 10° (при погляді униз, відхилення до носу), ультразвуковим дослідженням визначено радіус очного яблука – 12мм.

Після запуску комп'ютерної системи з'являється робоче вікно з зображенням моделі очного яблука із нанесеною на його поверхню координатною сіткою сферичної системи координат з кроком 5 град. та осями тривимірної декартової прямокутної системи координат. На поверхні моделі зображено також основні анатомічні деталі: зони прикріплення окоорухових м'язів та межі рогівки. У вікно 2 необхідно ввести радіус ока в міліметрах, в даному випадку – 12. Далі необхідно зайти в меню "Передопераційне планування" – 1. У новому вікні (рис.5.8) необхідно ввести кут косоокості в градусах, в даному випадку – 10 (вікно 3). В меню "Очікувана гіперфункція м'яза" обирається тип м'яза – MOS та "Очікуваний варіант хірургічного втручання" – рецесія. Якщо користувач не вибере тип м'яза, то комп'ютерна система зробить це автоматично, в залежності від кута відхилення відносно декартової осі (Ox, Oy, Oz). Якщо користувач не може вибрати тип операції, комп'ютерна система обирає в залежності від величини кута девіації. Тобто при малих кутах косоокості тип операції, як правило – резекція. А при великих відповідно – рецесія. Далі необхідно натиснути кнопку "Виконати планування" (кнопка 9). У вікні 8 відобразиться результат планування – 6мм. Тобто результат передопераційного планування V – синдрому з відхиленням в 10 град. – це резекція MOS 6мм. Кнопкою 10 можна закрити передопераційне планування. В головному вікні можна наочно побачити процес планування з детальним розрахунком моментів сил. Між точками, які знаходяться на поверхні моделі очного яблука з

анатомічними утвореннями MOS, відстань становить бмм.

Комп'ютерна система пропонує оптимальний варіант рішення поставленої задачі. Якщо відхилення від первинної позиції (кут косоокості) відносно однієї осі декартової системи координат, то в цьому випадку будуть задіяні прямі м'язи, якщо відносно двох осей, то треба задіяти косі м'язи. Тобто комп'ютерна система аналізує вхідні дані і пропонує вирішити поставлене завдання починаючи з простого методу усунення косоокості і закінчуючи складним з мінімальним хірургічного втручання і мінімальним часом знаходження пацієнта під наркозом. Планувати оперативне втручання відразу на всіх окоорухових м'язах неможливо, оскільки це не тільки важко для хірурга, але й можливе виникнення ускладнень у пацієнта. Бувають випадки, коли проводити оперативне втручання на косих м'язах неможливо за рахунок ймовірності травмування зорового нерва і судин. Тому, дозування оперативних втручань проводять за декілька циклів.

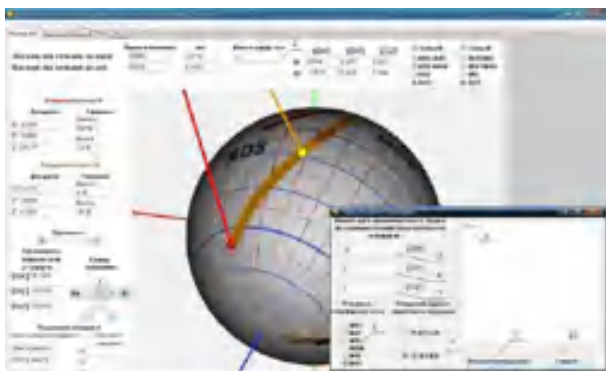


Рисунок 6 – Передопераційне планування з застосуванням комп'ютерної системи, діагноз V-синдром.

III. ВИСНОВКИ

Основні результати полягають у тому, що:

– на основі аналізу існуючих моделей окоорухового апарату, методів та систем офтальмологічного хірургічного планування виявлено їх недоліки, основними з яких є використання спрощеного математичного апарату, що не враховує геометричні властивості і біологічні параметри очного яблука та відсутність адекватного комп'ютерного планування та прогнозування хірургічної корекції патології окоорухового апарату;

– для підвищення достовірності методів прогнозування оперативних втручань на окоорухових м'язах вдосконалено метод визначення координат прикріплень м'яза до поверхні очного яблука, який за рахунок визначення геометричних характеристик очного яблука дозволяє проводити комп'ютерне планування хірургічних втручань;

– вдосконалено метод розрахунку моментів сил окоорухових м'язів на поверхні моделі очного яблука, який дозволяє підвищити достовірність визначення результуючого моменту сили всього комплексу очних м'язів та визначити відхилення очного яблука від первинної позиції. Метод розглядає кріплення

м'яза до поверхні очного яблука не як точку, а як деяку протяжність. Виходячи з похибки апроксимації (менше 1%), протяжність з відповідними довжиною та шириною доцільно розподілити на п'ять прямокутників ділянок;

– удосконалено метод створення тривимірної моделі окоорухового апарату, який за рахунок введення геометричних властивостей очного яблука в офтальмологічній сферичній системі координат, дозволяє враховувати індивідуальну анатомічну м'язовість при комп'ютерному плануванні хірургічних втручань;

– отримана регресійна модель статистичної залежності між кутом відхилення очного яблука від первинної позиції та обсягу резекції окоорухового м'яза є адекватною за критеріями Стьюдента та Фішера (середня помилка не перевищує 10 %). Проведено дискримінантний аналіз між вихідними даними інтерактивного та комп'ютерного планування, за результатами якого зменшені ймовірності помилок при урахуванні площі м'язів та результуючого моменту сили на 14 % та 19 % відповідно. Це пояснюється врахуванням в математичній моделі додаткових топографо-анатомічних даних при визначенні ділянок прикріплення окоорухових м'язів.

Використання запропонованої комп'ютерної системи в передопераційному хірургічному плануванні за даними попередньої клінічної апробації дозволило підвищити ефективність хірургічного втручання на 27 %, також скорочується час перебування пацієнта під наркозом за рахунок підвищення швидкості та наочності отримання необхідних розрахунків.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Avrunin, O.G., Kukhareno, D.V., Romanyuk, S.O., ... Toygozhinova, A., Gromaszek, K. Computer system for forecasting surgery on the eye muscles. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 2015, 9816, 98161G
- [2] Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalailah, A. (2024). The Sobel algorithm implementation for detection an object contour in the mobile robot's workspace in real time.
- [3] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Abu-Jassar, A. (2024). Effect of Frame Processing Frequency on Object Identification Using MobileNetV2 Neural Network for a Mobile Robot. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 36-44.
- [4] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalailah, A. (2024). MobileNetv2 Neural Network Model for Human Recognition and Identification in the Working Area of a Collaborative Robot. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 5-12.
- [5] Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., Maksymova, S., & Gurin, D. (2024). Human Operator Identification in a Collaborative Robot Workspace within the Industry 5.0 Concept. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 95-105.

Автоматизований аналіз довільних ділянок фонокардіограм в середовищі Labview

Дмитро Кухаренко¹, Олексій Юрко¹, Денис Тимченко¹

¹ Навчально-науковий інститут електричної інженерії та інформаційних технологій, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, УКРАЇНА, Кременчук, вул. Першотравнева, 20. email: dkuch100@gmail.com

Анотація: Однією з головних причин високої смертності в розвинених країнах є захворювання серцево-судинної системи. Зростання кількості людей в середньому і літньому віці із захворюваннями серця – важлива проблема в сучасній охороні здоров'я [1]. Поширеність серцево-судинних захворювань продовжує зростати, що зумовлює необхідність розробки більш ефективних сучасних засобів їх діагностики та лікування. На особливу увагу заслуговує метод фонокардіографії в плані простоти апаратної реалізації, неінвазивності та безпечності.

Сучасні медичні діагностичні системи дають змогу здійснювати опрацювання фонокардіосигналу (ФКС) з допомогою електронно-обчислювальної техніки, напівавтоматичне обчислення його показників, формування попереднього медичного висновку. Однак, для тестування методів опрацювання, що лежать в основі побудови програмного забезпечення таких діагностичних систем, оцінювання достовірності результатів опрацювання ФКС цими методами, необхідно розробити імітаційну модель такого класу біосигналів, яка б враховувала у своїй структурі основні параметри медичної норми та патології стану серця. Тому розробка моделі є актуальною задачею.

Метою роботи є розроблення імітаційної моделі ФКС, яка б давала можливість забезпечити параметричну ідентифікацію методу опрацювання з достовірним відтворенням даних.

Ключові слова: фонокардіосигнал, середовище Labview, імітаційна модель, серцево-судинні захворювання.

I. ВСТУП

Мета даної роботи полягає в удосконаленні методів обробки акустичного кардіосигналу з використанням імітаційної моделі акустичного кардіосигналу, що дозволить підійти до лікування кожного хворого індивідуально та виявити порушення серцево-судинної системи на ранніх стадіях захворювання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз відомих математичних описів акустичного кардіосигналу та методів його подальшої обробки для обґрунтування напрямку наукового дослідження;

- провести відновлення кардіоциклу за даними, отриманими в результаті обстеження пацієнтів методом фонокардіографії;

- розробити метод опису огинаючої основних тонів фонокардіосигналу;

- реалізувати віртуальний прилад для обробки акустичного кардіосигналу з виділенням огинаючої основних тонів та можливістю подальшого діагностування патологій серцево-судинної системи людини.

Об'єкт дослідження – акустичні явища, що генерує серце при своїй роботі.

Предметом досліджень є процес обробки акустичного кардіосигналу.

Методи дослідження. Вирішення поставлених у роботі задач було досягнуте шляхом аналізу й узагальнення теоретичних досягнень в кардіології, застосуванням спектральних методів аналізу акустичного кардіосигналу і дослідженням математичних залежностей отриманих сигналів з використанням прикладних математичних пакетів обробки отриманих результатів.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

- удосконалено спосіб знаходження першого тону шляхом обґрунтування раціональної ширини вікна при динамічному розрахунку енергії сигналу фонокардіограми, що підвищує достовірність розпізнавання фонокардіограми при автоматичному аналізі;

- набув подальшого розвитку метод математичного опису огинаючої основних тонів фонокардіосигналу у вигляді несиметричних гаусових імпульсів для усереднених кардіоциклів для подальшого використання отриманих коефіцієнтів у діагностичних цілях.

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

- для практичної медицини запропоновано діагностування захворювань серця на основі визначення коефіцієнтів апроксимації огинаючої фонокардіосигналу усереднених кардіоциклів;

- реалізовано віртуальний прилад в середовищі Labview для автоматичного аналізу довільних ділянок фонокардіограм з визначенням параметрів апроксимації несиметричними гаусовими імпульсами для подальшого використання для діагностики серцево-судинних захворювань.

II. МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Відновлення та сегментація кардіосигналу. Для виділення першого тону серцевого циклу та подальшої сегментації фонокардіосигналу використовувався метод виділення та аналізу кардіоінтервалограм без паралельної реєстрації ЕКГ, що дозволяє аналізувати динамічні характеристики ритму серця. КІГ є графік залежності тривалості RR інтервалів. Суть алгоритму побудови кардіоінтервалограмми і полягає в використанні інформації про зміну значення енергії сигналу в частотних інтервалах фонокардіосигналу.

Енергія сигналу E , що характеризує форму часової локалізації звуків серця та серцевих шумів, розраховується в ковзаючому вікні. За максимальними значеннями енергії визначаються пікові значення першого тону $S1$ [2].

$$E(t_0, \Delta t) = \int_{t_0 - \frac{T}{2}}^{t_0 + \frac{T}{2}} p(t) dt = \int_{t_0 - \frac{T}{2}}^{t_0 + \frac{T}{2}} |x(t)|^2 dt$$

Оскільки вхідні дані є дискретними відліками, то інтеграл можна замінити на суму площин елементарних прямокутників, що утворюються амплітудою відліку з основою, що дорівнює інтервалу дискретизації Δt .

Ширину вікна будемо задавати кількістю відліків N . Енергію сигналу m -го відліку розраховують відносно центрального відліку m в межах заданого вікна. При цьому враховуються відліки сигналу в інтервалі $[m-N/2, m+N/2]$:

$$E_m = \sum_{k=m-\frac{N}{2}}^{m+\frac{N}{2}} (X_k)^2 \Delta t$$

Наступне значення відліку енергії сигналу знаходяться шляхом зсуву вікна на один відлік. На рис. 1 зображено суміщені сигнали ФКГ та декілька енергетичних графіків, розрахованих за різною шириною вікна: $N = 30, 60$ та 180 відліків. Більш детально розглянемо одну з ділянок, що відповідає першому тону $S1$ (рис. 2). З рисунка видно, що максимуми енергії мають значний розкид Δ_i відносно піку першого тону $S1$. Причому при збільшенні ширини вікна вершина енергетичної кривої стає більш пласкою, що ускладнює знаходження пікового значення $S1$.

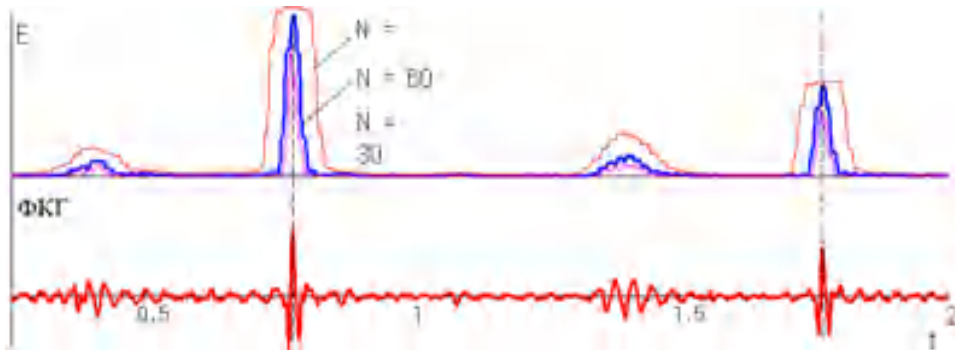


Рисунок 1 – Ділянка фонокардіограми, що відповідає першому тону $S1$

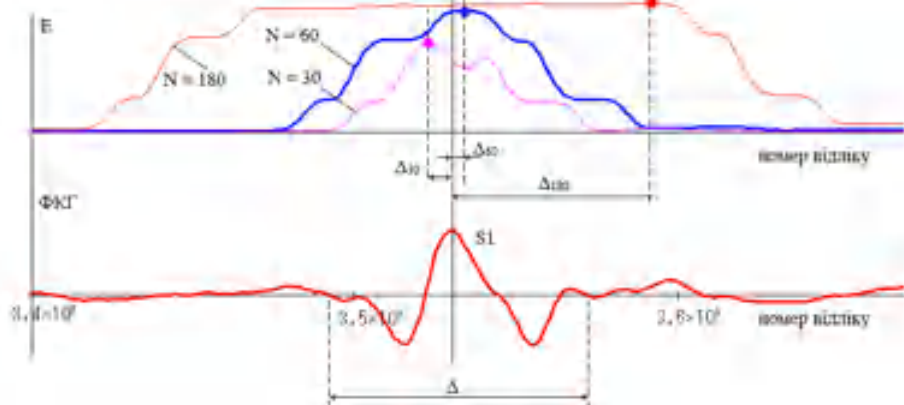


Рисунок 2 – Ділянка фонокардіограми, яка має максимуми енергії і значний розкид Δ_i відносно піку першого тону $S1$

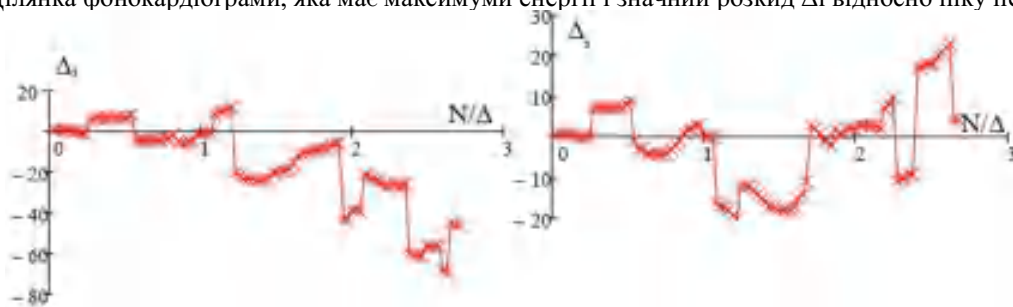


Рисунок 3 – Графіки відхилень для двох різних тонів

Для оцінки розкиду абсолютного відхилення Δ_i максимуму енергії при зміні ширини вікна від 0 до 200 на рисунку 3 показані графіки відхилень для двох різних тонів $S1$, де на осі абсцис відкладено відносно

ширину вікна: N/Δ , де Δ – ширина першого тону, окремо виділеного для конкретного розрахунку.

Аналізуючи графічні залежності, можна зробити висновок, що найбільш прийнятне найменше

відхилення максимальних значень енергії від пікових значень S1 спостерігається при ширині вікна співрозмірним з шириною першого тону, окремо виділеного для конкретного розрахунку.

В обраному вікні проводиться пошук максимального значення енергії сигналу, що відповідає першому тону S1. Вікно пересувається по всьому сигналу від початку до кінця для знаходження максимальних значень, що містять інформацію про розташування першого тону S1 в кожному з кардіоінтервалів. На відміну від граничних методів, дана процедура дозволяє виключити попадання випадкових екстремумів в S-S інтервалограму. На основі отриманих значень піків першого тону S1 обчислюється кардіоінтервалограма, як різниця їх моментів локалізації для сусідніх кардіоциклів (SS-інтервалограма).

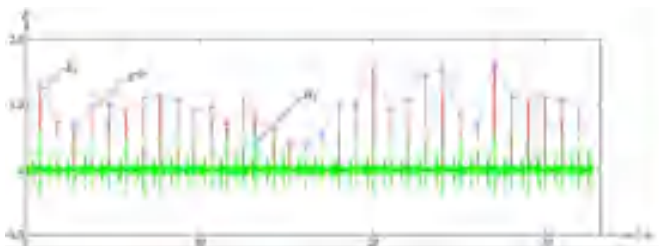


Рисунок 4 – Графік розподілу енергії з урахуванням матриці SS інтервалів

Для подальшого дослідження кардіосигналу проведено його сегментування на відносні кардіоцикли, границями яких будуть максимуми перших тонів. Графік порівняння кардіоциклів наведений на рис. 5.

Як видно з рис. 5, через те, що кожен кардіоцикл серцевого ритму має свою тривалість, то присутності розбіжності на кінцевих межах тонів і потрібно провести їх усереднення.

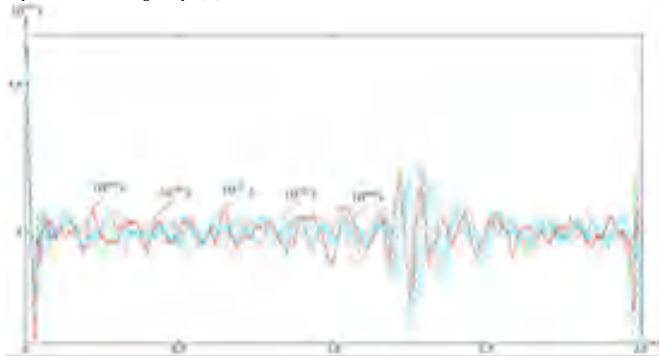


Рисунок 5 – Графік порівняння кардіоциклів

На рис. 6 наведено графік усереднення декількох кардіоциклів $V(m)$. Як видно з графіку, після процедури усереднення сигналу сегментованого на кардіоцикли, частини, що відповідають I та II тону серця, співпали. На відміну від тонів кардіоциклу в місцях систолічної та діастолічної пауз у сигналі присутній шум, який не залежить від розподілення та має хаотичний характер.

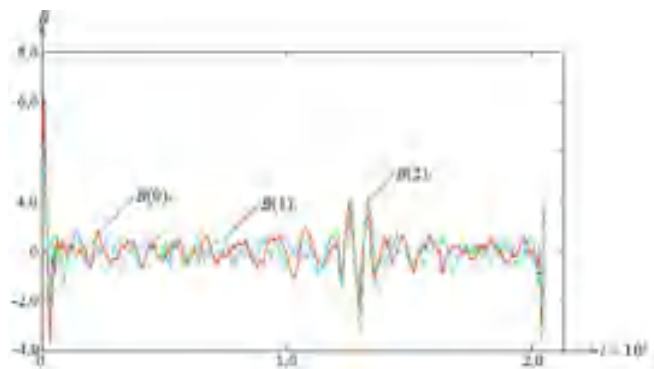


Рисунок 6 – Графік усереднення декількох кардіоциклів

Для того щоб зменшити розбіжності між кардіоциклами та зменшити наявність шуму, було знайдено суму декількох реалізацій для виділення усередненого кардіоциклу (рис. 7).

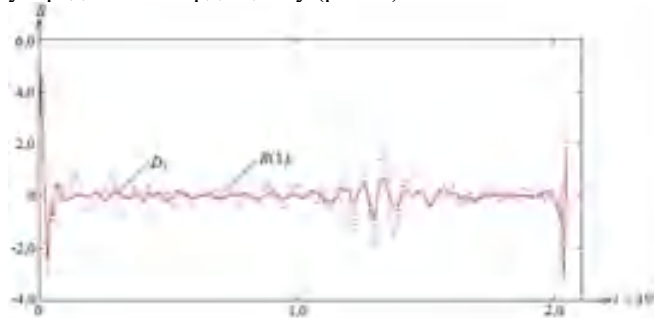


Рисунок 7 – Графік порівняння усередненого кардіоциклу з першим відносним $V(1)$

III. ВИСНОВКИ

проведено аналіз відомих математичних описів акустичного кардіосигналу та методів його подальшої обробки, за результатами якого встановлено, що при створенні імітаційної моделі фонокардіосигналу є проблеми зі збереженням діагностично-важливих ділянок, які мають використовуватись при автоматизованій обробці фонокардіосигналу для встановлення діагнозу.

– запропоновано використовувати для аналізу усереднений відносний кардіоцикл, для зменшення рівня неінформативних випадкових складових шуму фонокардіограм та виділення основних тонів акустичного кардіосигналу. Отримані результати можуть бути використані для підвищення достовірності діагностування патологій серцево-судинних хвороб в системах автоматизованого аналізу.

– запропоновано математичний опис огинаючої основних тонів фонокардіосигналу у вигляді несиметричних гаусових імпульсів для усереднених кардіоциклів для подальшого використання отриманих коефіцієнтів у діагностичних цілях.

– для практичної медицини запропоновано діагностування захворювань серця на основі визначення коефіцієнтів апроксимації огинаючої фонокардіосигналу усереднених кардіоциклів.

- реалізовано віртуальний прилад в середовищі Labview для автоматичного аналізу довільних ділянок фонокардіограм з визначення параметрів апроксимації несиметричними гаусовими імпульсами для подальшого використання для діагностики серцево-судинних захворювань.
- охарактеризовані діагностичні можливості виявлення патологій серцево-судинних захворювань за формою апроксимованої огинаючої на прикладах патологічних фонокардіосигналів, що підтвердило можливість діагностування патологій серцево-судинної системи людини запропонованим методом.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] A. Perekrest, D. Kukharenko and others. Software and Hardware Solution of a Complex Tumor Visualization System for Use in a Medical Institution of an Industrial Enterprise. 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 2022, pp. 1-6.
- [2] Mospan D., Yurko A. and others. Possibility Analysis of preserving the ST segment shift when approximated by Gaussian pulses. International Conference on «MODERN ELECTRICAL AND ENERGY SYSTEMS». Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Ukraine, October 20-22, 2022, P. 518-521. DOI: 10.1109/MEES58014.2022.10005749
- [3] Moiseev, M., Maksymova, S., Yevsieiev, V., & Alkhalaileh, A. (2024). Program Algorithm for Monitoring System Development. *Journal of universal science research*, 2(7), 33-43.
- [4] Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2024). Remote Monitoring System of Patient Status in Social IoT Environments Using Amazon Web Services (AWS) Technologies and Smart Health Care. *International Journal of Crowd Science*.
- [5] Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2024). Development and Investigation of Vision System for a Small-Sized Mobile Humanoid Robot in a Smart Environment. *International Journal of Crowd Science*.
- [6] Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., Maksymova, S., & Gurin, D. (2024). Human Operator Identification in a Collaborative Robot Workspace within the Industry 5.0 Concept. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 95-105.
- [7] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalaileh, A. (2024). Using Convolutional Neural Networks to Analyze and Detect Key Points of Objects in Image. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 5-15.
- [8] Gurin, D., Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., & Maksymova, S. (2024). Using the Kalman Filter to Represent Probabilistic Models for Determining the Location of a Person in Collaborative Robot Working Area. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 66-75.
- [9] Khalid, M. S., Yevsieiev, V., Nevliudov, I. S., Lyashenko, V., & Wahid, R. (2022). HMI development automation with GUI elements for object-Oriented programming Languages implementation.
- [10] Samoilenko, H., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Amer, A. J. (2024). Review for Collective Problem-Solving by a Group of Robots.
- [11] Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalaileh, A. (2024). The Sobel algorithm implementation for detection an object contour in the mobile robot's workspace in real time.
- [12] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Abu-Jassar, A. (2024). Effect of Frame Processing Frequency on Object Identification Using MobileNetV2 Neural Network for a Mobile Robot. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 36-44.
- [13] Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalaileh, A. (2024). MobileNetv2 Neural Network Model for Human Recognition and Identification in the Working Area of a Collaborative Robot. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 5-12.
- [14] Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., Maksymova, S., & Gurin, D. (2024). Human Operator Identification in a Collaborative Robot Workspace within the Industry 5.0 Concept. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 95-105.
- [15] Attar, H., Abu-Jassar, A. T., Yevsieiev, V., Lyashenko, V., Nevliudov, I., & Luhach, A. K. (2022). Zoomorphic mobile robot development for vertical movement based on the geometrical family caterpillar. *Computational intelligence and neuroscience*, 2022(1), 3046116.
- [16] Attar, H., Abu-Jassar, A. T., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Khosravi, M. R. (2022). Control System Development and Implementation of a CNC Laser Engraver for Environmental Use with Remote Imaging. *Computational intelligence and neuroscience*, 2022(1), 9140156.
- [17] Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Starodubcev, N. (2022). *Software Implementation Concept Development for the Mobile Robot Control System on ESP-32CAM* (Doctoral dissertation, Collection of scientific papers Scienta).
- [18] Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Yevsieiev, V., Amer, A., Demska, N., Luhach, A. K., & Lyashenko, V. (2022). Electronic user authentication key for access to HMI/SCADA via unsecured internet networks. *Computational intelligence and neuroscience*, 2022(1), 5866922.
- [19] Maksymova, S., Yevsieiev, V., Nevliudov, I., & Bahlai, O. (2024, May). Balancing System For A Zoomorphic Spot Type Mobile Robot Development Using An Accelerometer MPU 6050 (GY-521). In *2024 IEEE 19th International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)* (pp. 39-42). IEEE.

Вирішення задачі управління багатоланковим маніпулятором

Сергій Новоселов¹, Владислав Іванов²

1. Кафедра КІТАР, Харківській національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки 14, email: sergiy.novoselov@nure.ua
2. Кафедра КІТАР, Харківській національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки 14, email: vladyslav.ivanov1@nure.ua

Анотація: Дана робота присвячена створенню рішення задачі керування багатоланковим маніпулятором. Проведено аналіз існуючих методів управління багатоланковими маніпуляторами. Наведена узагальнена структурна схема системи управління. Проведено аналіз конструкції суглобів багатоланкових маніпуляторів та методів зчитування даних про позиціонування рухомих ланок для вирішення завдання оптимізації часу руху заданою траєкторією маніпулятора.

Ключові слова: Багатоланковий маніпулятор, робот, абсолютний енкодер.

I. ВСТУП

Багатоланковий маніпулятор – це маніпулятор з кількома ступенями рухливості [1]. Наприклад, як конструкція, що володіє одним ступенем рухливості може бути поворот однієї ланки щодо іншої або обертання циліндричного стрижня навколо власної осі симетрії, а також зворотно-поступальні рухи переміщення циліндричного стрижня навколо цієї осі (рис. 1) [1].



Рис. 1. Схема багатоланкового маніпулятора

Для промислових роботів і модульних маніпуляторів найбільш поширеним підходом до управління є незалежні спільні контролери, наприклад, за допомогою схем керування PD або PID [1]. Однак ці децентралізовані лінійні структури керування, що ігнорують нелінійну поведінку таких систем, зазвичай не враховують інформацію з інших підсистем або вимагають ретельного налаштування параметрів контролера.

Іншим широко використовуваним методом керування, особливо при відстеженні траєкторії для жорстких багатоланкових маніпуляторів, є так званий метод обчисленого крутного моменту [2], який є окремим випадком лінеаризаційного керування зворотним зв'язком, що використовує метод

зворотної динаміки. Тим не менш, продуктивність цієї технології прямого керування на основі моделі сильно залежить від якості моделювання динаміки робота. Подальшою передовою технікою керування для нелінійних систем є прогнозне керування за моделлю (ПКМ), також відоме як прогнозне керування або керування горизонтом, яке міцно закріпилося в промисловому застосуванні.

В роботі [3] показано, що для вирішення завдання оптимізації часу руху заданою траєкторією маніпулятора, необхідно не тільки точно оцінити швидкість руху вузлів маніпулятора, але і забезпечити лінійну характеристику оцінки позиції механізму в широкому діапазоні зміни швидкості. Також важливим є визначення абсолютного кутового положення елементів конструкції маніпулятора, особливо під час взаємодії об'єктів промислової автоматизації з використанням технології Internet of Things. В даній роботі запропоновано конструкцію суглоба маніпулятора та дві конструкції датчиків для визначення абсолютного кута обертання суглоба: резистивний і магнітний (рис. 2).



Рис. 2. Зовнішній вигляд суглобу робота-маніпулятора

Запропонована конструкція резистивного датчика виявилася нетехнологічною і набагато більша за розмірами ніж конструкція магнітного датчика, тому в дослідженнях вона не використовувалась.

Таким чином, дослідження методів визначення позиції елементів конструкції маніпулятора в будь-який момент часу є актуальним завданням [3].

II. АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ БАГАТОЛАНКОВИМ МАНІПУЛЯТОРОМ

Промислові роботи мають, як правило, більшу кількість ступенів рухливості. В умовах реального виробництва застосовуються роботи з чотирма і більше ступенями рухливості. Управління

маніпуляторами з таким числом ступенів рухливості є більш складним, чим при керуванні маніпуляторами з меншим числом ступенів рухливості. Таким чином, при виконанні найпростішої операції переміщення захватного пристрою з однієї точки в іншу потрібно виконати великий обсяг обчислень.

При моделюванні систем управління рухом роботів потрібно вирішувати завдання кінематики та динаміки для їх виконавчих механізмів. Існує зворотне та пряме завдання кінематики. Пряме завдання кінематики полягає у визначенні просторового положення та орієнтації характерної точки, як правило, робочого інструменту маніпулятора робота за відомими значеннями узагальнених координат. Зворотне завдання кінематики, як і пряме завдання, є одним із основних завдань кінематичного аналізу та синтезу. Для керування положенням ланок та орієнтацією робочого інструменту маніпулятора виникає необхідність вирішення зворотного завдання кінематики.

Структурна схема модуля управління маніпулятором показана на рисунку 3.

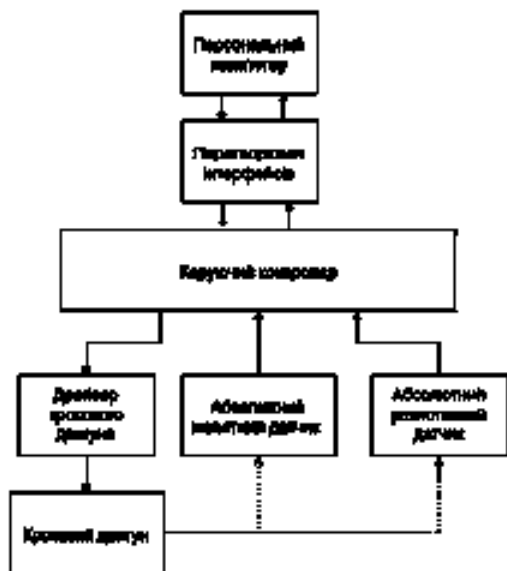


Рис. 3. Структурна схема модуля управління маніпулятором

Система складається з наступних елементів:

- персональний комп'ютер (ПК) з програмою управління і отримання даних;
- перетворювач інтерфейсів;
- керуючий контролер;
- драйвер двигуна постійного струму;
- абсолютний магнітний датчик;
- абсолютний резистивний датчик;
- кроковий двигун;
- макет механізму маніпулятора.

Для визначення орієнтації суглобу будемо використовувати два методи:

- магнітний абсолютний;
- резистивний абсолютний.

Для визначення абсолютного кута оберту суглоба будемо використовувати магнітний енкодер типу AS5600. Даний енкодер потребує додаткового

елементу – магніту, який буде закріплено на конструктивних елементах суглобу на одній вісі з редуктором. Датчик AS5600 повинен точно розташовуватися на вісі редуктора і, відповідно, постійного магніту. Відстань між датчиком і постійним магнітом має бути мінімальна й не перевищувати 4 мм. В даній конструкції датчик є жорстко закріпленим відносно рухомої частини суглобу на основі макету.

Узагальнена структурна схема системи управління показана на рисунку 4.

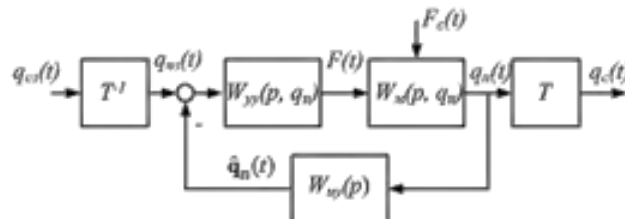


Рис. 4. Узагальнена структурна схема системи управління

Програмування траєкторії руху захвату 5 з навантаженням 6 виконується у системі фіксованої базової координат. Вектор узагальненого зчеплення, як функція процесу $q_c(t)$, утворюється вектор узагальнених координат ланок маніпулятора, який у жорсткій механічній системі є вектором узагальнених координат приводів $q_n(t)$. Вектори $q_c(t)$ та $q_n(t)$ пов'язані один з одним, відображенням перетворення координат T , вміст якого встановлюється з рішення прямої задачі кінематики маніпулятора. Пристрій керування програмним забезпеченням генерує вектор упорядкованих узагальнених координат приводу $q_n(t)$, які пов'язані з вектором узагальнених координат захвату маніпулятора $q_c(t)$ шляхом зворотного відображення перетворення координат T^{-1} . Вміст T^{-1} встановлюється із рішення зворотної задачі кінематики маніпулятора.

У загальному випадку динамічні властивості маніпулятора характеризуються матрицею $W_m(p, q_n)$, згідно з якою виконується синтез матриці контрольних пристроїв $W_{uu}(p, q_n)$. В узагальненій матричній структурній схемі системи керування зчепленням маніпулятора $F(t)$, $F_c(t)$ – вектори сил, що застосовуються до зв'язків маніпулятора та опору; $q_n(t)$ – виміряні векторні значення узагальнених координат приводів; $W_{uu}(p, q_n)$ – матриця інформаційних пристроїв. На додаток до основних зворотних зв'язків щодо узагальнених координат приводів, система може мати зворотний зв'язок про проміжні координати, зроблені відповідно до принципів підпорядкованого управління.

III. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ РОБОТИ ПРОГРАМИ

На рисунку 5 показано алгоритм роботи макету.

На початку роботи перевіряється зв'язок з персональним комп'ютером через послідовний інтерфейс. Якщо зв'язок встановлено, то можна продовжувати роботу.

Отримавши команду від ПК, контролер формує послідовність імпульсів для зміщення валу крокового

двигуна на потрібний кут, враховуючи передавальне число редуктора. В нашому випадку це число становить 1:42.

Кут зміщення валу двигуна при повному кроці становить 1,8 градусів. Враховуючи передавальне число редуктора, теоретично механізм може забезпечити точність 0,045 градуси.

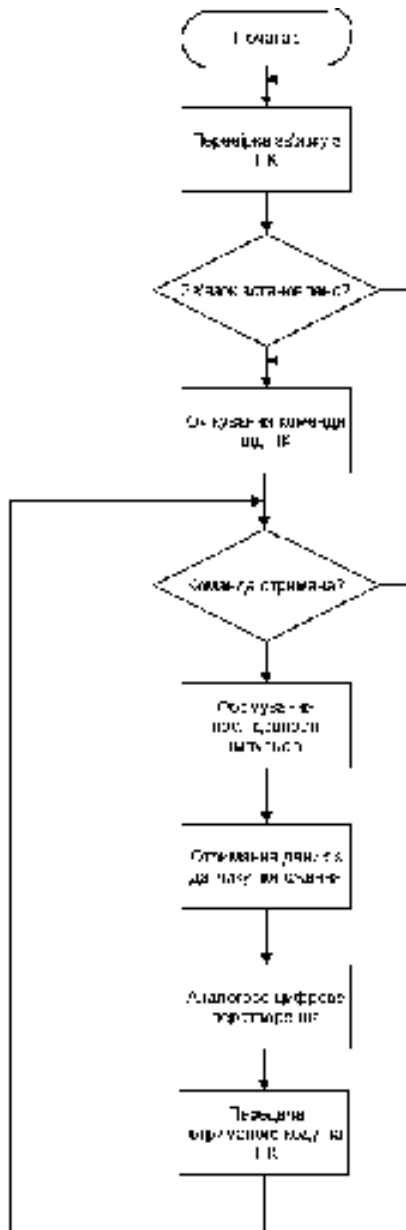


Рис. 5. Алгоритм роботи програми контролера

Після завершення переміщення, контролер зупиняє редуктор та зчитує показання датчику положення. Отриманні дані перетворюються з аналогового сигналу в цифровий та передаються на персональний комп'ютер.

Після завершення вимірювання куту обертів цикл управління повторюється до вимкнення напруги живлення контролеру.

VII. ВИСНОВКИ

Дана робота присвячена створенню рішення задачі керування багатоланковим маніпулятором. Проведено аналіз існуючих методів управління багатоланковими маніпуляторами. Наведена узагальнена структурна схема системи управління. Проведено аналіз конструкції суглобів багатоланкових маніпуляторів та методів зчитування даних про позиціонування рухомих ланок для вирішення завдання оптимізації часу руху заданою траєкторією маніпулятора. Отримані дані свідчать про досить точне визначення куту за допомогою магнітного абсолютного енкодера. Похибка виміру куту становить менше 1,4 градуси.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Fehr, Jörg, Patrick Schmid, Georg Schneider, and Peter Eberhard. 2020. "Modeling, Simulation, and Vision-/MPC-Based Control of a PowerCube Serial Robot" *Applied Sciences* 10, no. 20: 7270. <https://doi.org/10.3390/app10207270>
- [2] Schiehlen, W.; Eberhard, P. *Applied Dynamics*; Springer: Heidelberg, Germany, 2014.
- [3] I. Nevlyudov/ Development and study of the operation of the module for determining the orientation of the manipulator joint / I. Nevlyudov, S. Novoselov, O. Sychova. // *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. 2022. No. 2 (20). pp 86-96 DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2022.20.086>
- [4] Невлюдов І. Ш., Андрусевич А. О., Євсєєв В. В., Новоселов С. П., Демська Н. П. *Проектування мобільних маніпуляційних роботів: Монографія.* – Х. :2022. – 427 с
- [5] Невлюдов І.Ш. *Пневматичні пристрої та засоби автоматизації мехатронних систем: Навчальний посібник* / І.Ш. Невлюдов, Л.О. Кривопляс-Володіна, С.П. Новоселов, О.В. Сичова. – Харків: ХНУРЕ, 2020 . – 244 с.
- [6] Багатоланковий маніпулятор – Вікіпедія. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Маніпулятор> (дата звернення: 10.01.2024).
- [7] Невлюдов І.Ш. *Електропневмоавтоматичні приводи в автоматизованих системах керування: Навчальний посібник* / І.Ш. Невлюдов, Л.О. Кривопляс-Володіна, С.П. Новоселов, О.В. Сичова. – Харків: ХНУРЕ, 2021 . – 292 с..
- [8] V.V.M.J. Satish Chembuly, Hari Kumar Voruganti, *Trajectory Planning of Redundant Manipulators Moving along Constrained Path and Avoiding Obstacles*, *Procedia Computer Science*, Volume 133, 2018, Pages 627-634.
- [9] Igor Nevliudov, Serhii Novoselov, Oksana Sychova. *Control automation of assembly operations using a computer vision system in intelligent production*. *Journal of natural sciences and technologies*. 2023, 2(2), pp. 173-182, DOI: 10.5281/zenodo.8098567

Наукове видання

**Ігор НЕВЛЮДОВ,
Владислав ЄВСЄЄВ,**

**VIII Міжнародна Конференція
«Виробництво & Мехатронні Системи»**
(укр., англ., пол.. мовою)

Відповідальний редактор – Невлюдов І.Ш.

Харківський національний університет радіоелектроніки
Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР)
61166, Харків, проспект Науки, 14
корпус "А"
ауд. 162-1
тел. : +38 (057) 702-14-86
e-mail: m_ms@nure.ua

Підписано до друку 10.10.2024
Формат А4 (210x297мм). Папір 80г/м².
[електронний друк]