

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ



МАТЕРІАЛИ  
VI ФОРУМУ  
**«Автоматизація, електроніка та  
робототехніка. Стратегії розвитку та  
інноваційні технології»  
АЕРТ-2024**

6 - 7 грудня 2024 р.

Харків 2024



Збірник матеріалів VI форуму «Автоматизація, електроніка та робототехніка. Стратегії розвитку та інноваційні технології» AERT-2024. – Харків, ХНУРЕ, 2024. – 149 стр.

В збірник включені матеріали VI форуму «Автоматизація, електроніка та робототехніка. Стратегії розвитку та інноваційні технології» AERT-2024.



VI форум «Автоматизація, електроніка та робототехніка. Стратегії розвитку та інноваційні технології» AERT-2024 проведено кафедрами:



- мікропроцесорних технологій і систем (MTC),



- комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (KITAP).

Видання підготоване  
кафедрою мікропроцесорних технологій і систем (MTC)  
Харківського національного університету радіоелектроніки (ХНУРЕ)

61166 Україна, Харків, просп. Науки, 14

Тел. +38 (057) 755 0220

Е-mail:

[oleh.zubkov@nure.ua](mailto:oleh.zubkov@nure.ua)

© Харківський  
національний університет  
радіоелектроніки (ХНУРЕ), 2024

## КОМІТЕТ ФОРУМУ

### Голова комітету форуму:

**Романенков Ю.О.** д.т.н., проф., проректор з наукової роботи ХНУРЕ,  
м. Харків, Україна.

### Програмний комітет форуму:

**Зубков О.В.** к.т.н., доц., в.о. зав. каф. МТС ХНУРЕ, м. Харків,  
Україна.

**Воргуль О.В.** к.т.н., доц., проф. каф. МТС ХНУРЕ, м. Харків,  
Україна.

**Новоселов С.П.** к.т.н., доц., проф. каф. КІТАР ХНУРЕ, м. Харків,  
Україна.

**Горелов Д.Ю.** к.т.н., доц., доц. каф. КРiCTЗi ХНУРЕ, м. Харків,  
Україна.

**Сичова О.В.** к.т.н., доц. каф. КІТАР ХНУРЕ, м. Харків, Україна.

**Теслюк С.І.** старший викладач каф. КІТАР ХНУРЕ, м.  
Харків, Україна.

**Чумак В.С.** асистент каф. МТС ХНУРЕ, м. Харків, Україна.

**Волох А.В.** асистент каф. МТС ХНУРЕ, м. Харків, Україна.

**Бойко Н.В.** асистент каф. МТС ХНУРЕ, м. Харків, Україна.

## **TATU SMART LAB TA PLCNEXT ЯК КОМПОНЕНТ ІОТ**

Старший викладач Галкін П.В., професор Ключник І.І.

Харківський національний університет радіоелектроніки, кафедра  
проекування та експлуатації електронних апаратів

e-mail: [galkinletter@ukr.net](mailto:galkinletter@ukr.net), [ihor.kliuchnyk@nure.ua](mailto:ihor.kliuchnyk@nure.ua)

**Abstract.** In the world of the Industrial Internet of Things (IIoT), innovation, technology integration and adaptability to new challenges are key success factors. The TATU SMART LAB and the PLCnext platform from Phoenix Contact demonstrate how modern solutions enable the creation of intelligent systems for the automation and optimization of production processes. The TATU SMART LAB acts as an interactive platform for the development, testing and implementation of IIoT solutions, while PLCnext provides an open ecosystem for the integration of traditional PLCs with modern IT technologies. In this article, we will look at their functionality, advantages and application possibilities in industrial environments

**Ключові слова:** Smart Laboratories, IIoT (Industrial Internet of Things), Automation, Industry 4.0, Industry 5.0

**Вступ.** В епоху постійних технологічних інновацій для навчання[1], промисловий інтернет речей (IIoT)[2] та концепція "розумних" технологій[3] стають необхідною складовою для досягнення оптимальної продуктивності та ефективності. Сучасні промислові підприємства все частіше впроваджують технології Інтернету речей (IIoT)[4] для підвищення ефективності, автоматизації процесів та оптимізації ресурсів. У цьому контексті TATU SMART LAB[1] та платформа PLCnext[5] від Phoenix Contact стають ключовими елементами для створення гнучких та інтелектуальних рішень. TATU SMART LAB забезпечує середовище для тестування та розробки новітніх рішень у сфері IIoT, тоді як PLCnext об'єднує переваги традиційних контролерів із відкритою архітектурою для інтеграції сучасних технологій. Ці інструменти разом прокладають шлях до інноваційних підходів у промисловій автоматизації, забезпечуючи підприємствам конкурентні переваги у цифрову епоху.

Smart-лабораторії[6-8] стають ключовим елементом ефективного управління виробничими потоками та дозволяють підприємствам вдосконалювати якість продукції, зменшувати витрати та збільшувати конкурентоспроможність на ринку. Впровадження smart-лабораторій і їхній зв'язок з концепціями Industry 4.0 та Industry 5.0[8] сприяють еволюції виробництва та промисловості, роблячи їх ще більш автоматизованими[9], ефективними[9] та гнучкими[10].

**Основна частина.** Впровадження Smart-лабораторій для IIoT є актуальною та передовою тенденцією в сучасній промисловості. Ці лабораторії, засновані на концепції IIoT, використовують передові технології, такі як сенсори, з'єднані мережі та аналітика даних, для оптимізації виробничих процесів.

**Складові TATU Smart lab.** Smart-лабораторії для ІоТ можуть включати різноманітні компоненти та технології для забезпечення ефективності та інновацій в виробничих процесах. TATU Smart Lab (TSL) - мобільний набір пристроїв, що гнучко настроюється, для навчання сучасним технологіям автоматизації. Містить облаштування різних виробників і розроблений у рамках концепції Industry 4.0 (четвертий етап промислової революції). Це німецька приватно-державна програма, у рамках якої великі німецькі компанії-розробники в області інформаційних технологій створюють повністю автоматизовані виробництва, в яких окремі пристрої і їх вузли можуть взаємодіяти один з одним і споживачами з використанням безпроводних технологій передачі даних.

TSL дозволяє вивчити ряд сучасних технологій побудови систем автоматизації. У рамках проекту TATU ці технології розділені на наступні учбові модулі.

1. Програмування контролерів в інструментальному середовищі розробки проектів PC Work і незалежному від апаратного забезпечення середовищу розробки CoDeSys.

2. Використання стандартів Profnet і Modbus TCP і інтеграція систем автоматизації з мережами PROFIBUS.

3. Безпроводні технології передачі даних.

4. Управління процесами реального часу.

5. Введення в стандарт обміну даними в реальному часі OPC DA.

TSL складається з трьох апаратних модулів, кожен з яких розміщений в окремому переносному ящику (валізі), розроблений для вивчення певних тем і може бути використаний незалежно від інших. Модулі TSL, їх взаємодія і можливе кабельне підключення показані на рис.1.1.

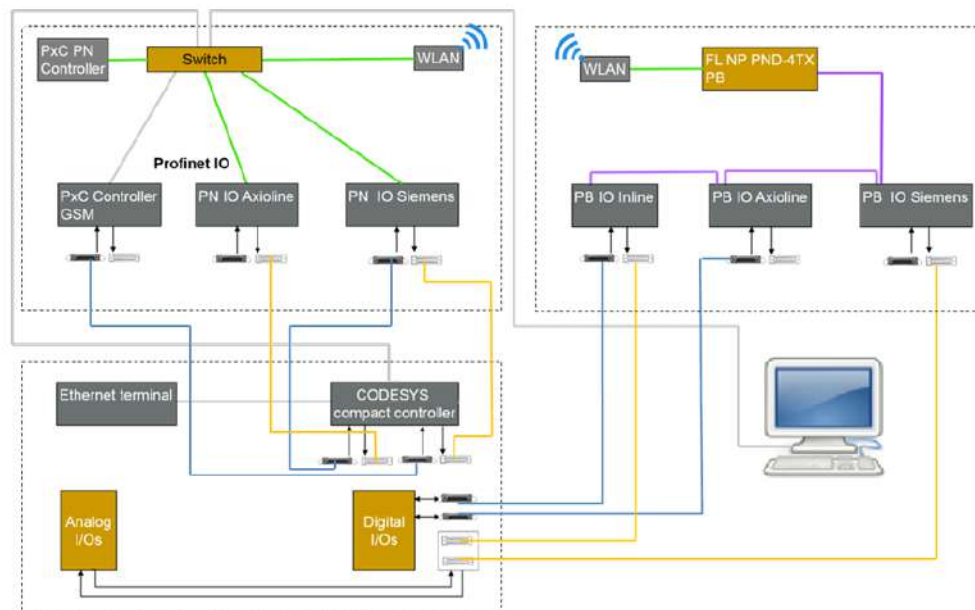


Рисунок 1.1 – Можливе з'єднання трьох TSL стендів та ПК

**Відмінності Smart-лабораторій для Industry 4.0 та Industry 5.0.** Smart-лабораторії для Industry 4.0 та Industry 5.0 відрізняються за своїм підходом, фокусом та інтеграцією передових технологій в виробничих процесах.

Підхід Industry 4.0 ставить акцент на автоматизацію виробничих процесів за допомогою IoT, машинного навчання та аналізу даних. Такий підхід зосереджений на оптимізації виробничих ланцюгів та впровадженні принципів "розумної фабрики". Підхід Industry 5.0 ставить акцент на співпрацю людей та автоматизованого обладнання в одній ефективній системі із залучення робітників до виробничих процесів і використання їхнього інтелекту та креативності. Також концепт допускає взаємодію між людьми та роботами в режимі реального часу, де обидві сторони використовують свої сильні сторони, а фокус на роботі пліч о пліч, де люди та роботи доповнюють одне одного. Отже, підхід Industry 4.0 зорієнтований на цифрову трансформацію та автоматизацію, тоді як Industry 5.0 ставить людський фактор у центрі та прагне до співпраці між людьми та технологіями для досягнення найкращих результатів.

**PLCnext.** Технологія PLCnext поєднує світи інформаційних та об'єктних технологій. PLCnext Control — це апаратне забезпечення для екосистеми PLCnext Technology. Воно забезпечує можливість реалізації проєктів автоматизації без обмежень спеціалізованих систем. ПЛК на базі ядра Linux характеризуються можливістю роботи в режимі реального часу як для стандарту IEC 61131-3, так і для мов високого рівня, таких як C/C++ і Matlab Simulink. Запатентована обробка задач дає змогу використовувати будь-яке поєднання коду IEC 61131-3, мов високого рівня та інструментів на основі моделей в одному завданні. Типова структура навчального модуля приведена на рисунку 1.2



Рисунок 1.2 – PLCnext навчальний модуль

**Висновки.** Спільне використання TATU SMART LAB і PLCnext дозволяє оптимізувати процеси, знижувати витрати та підвищувати продуктивність, що робить їх ідеальними для підприємств, які прагнуть залишатися конкурентоспроможними у швидкозмінному цифровому

середовищі. Це приклад того, як сучасні технології стають драйверами змін, сприяючи створенню розумної, ефективної та стійкої промисловості.

**Список використаних джерел.**

1. Langmann R. et al. Workshop: The TATU Lab & smart education //2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV). – IEEE, 2016. – С. 400-402.
2. Galkin P., Umiarov R., Grigorieva O. Design embedded system testbench based on FPGA and microcontrollers for TATU smart lab as education component of industry 4.0 //2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). – IEEE, 2019. – С. 628-633.
3. Fongsamut C. et al. Automation 4.0 Training Environment Based on PLCnext: A Technical Approach //2023 10th International Conference on Advanced Informatics: Concept, Theory and Application (ICAICTA). – IEEE, 2023. – С. 1-6.
- 4 Ivan Buhrym, Oleksandr Vynokurov, Pavlo Galkin. Approaches to Designing a Wireless Sensor Network Node // First International Scientific and Practical Conference «Theoretical and Applied Aspects of Device Development on Microcontrollers and FPGAs» MC&FPGA-2019, Kharkiv, Ukraine, July 26-27, 2019. – Kharkiv: NURE, MC&FPGA, 2019. – P. 21-24. DOI: 10.35598/mcfpga.2019.007
5. Bundasak S., Chomchan I. Development of Control Programming and Data Analytics on The Controlled Automatic Sorting Simulation System //2023 7th International Conference on Information Technology (InCIT). – IEEE, 2023. – С. 22-26.
6. Poongothai M., Subramanian P. M., Rajeswari A. Design and implementation of IoT based smart laboratory //2018 5th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA). – IEEE, 2018. – С. 169-173.
7. Pennekamp J. et al. Security considerations for collaborations in an industrial IoT-based lab of labs //2019 IEEE Global Conference on Internet of Things (GCIoT). – IEEE, 2019. – С. 1-7.
8. Галкін П. В. Розробка лабораторного комплексу по вивченню вбудованих систем управління і промислової автоматизації // Матеріали 21-го Міжнародного молодіжного форуму "Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті", 25-27 квітня 2017 р. [Текст] : [збірник] / П.В. Галкін // Т. 2 : Конференція "Автоматизовані системи та комп'ютеризовані технології радіоелектронного приладобудування".- Т. 2.- Харків: ХНУРЕ.- С.94-95.
9. S. Khriji, D. El Houssaini, R. Barioul, T. Rehman and O. Kanoun, "Smart-Lab: Design and Implementation of an IoT-based Laboratory Platform," *2020 IEEE 6th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, New Orleans, LA, USA, 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/WF-IoT48130.2020.9221143.

## **АНАЛІЗ ОДНОПЛАТНИХ КОМП'ЮТЕРІВ ДЛЯ РІШЕНЬ ПОТ.**

Старший викладач Галкін П.В., доцент Супрун О.О.

Харківський національний університет радіоелектроніки, кафедра  
проектування та експлуатації електронних апаратів

e-mail: [galkinletter@ukr.net](mailto:galkinletter@ukr.net), [olexander.suprun@nure.ua](mailto:olexander.suprun@nure.ua)

**Abstract.** The growing popularity of the Industrial Internet of Things (IIoT) requires the use of compact, powerful and energy-efficient devices for collecting, processing and transmitting data. Single-Board Computers (SBCs) have become a key element of such systems due to their versatility, affordability and wide adaptability to various tasks. In this article, we will consider which single-board computers are best suited for implementing IIoT solutions, compare their technical characteristics, advantages and limitations. We will also analyze how the choice of the right SBC can affect the efficiency and scalability of industrial projects in the digital age.

**Ключові слова:** Вбудовані системи, IIoT, IoT, Testbench, Industry 5.0

**Вступ.** Розвиток промислового Інтернету речей (IIoT) формує нові вимоги до апаратного забезпечення: компактність, енергоефективність, обчислювальна потужність і можливість інтеграції з різноманітними сенсорами та мережами[1]. Одноплатні комп'ютери (SBC) стали ключовими компонентами для побудови таких систем[2], пропонуючи широкий спектр можливостей для реалізації інноваційних IIoT-рішень[3]. У цьому матеріалі ми розглянемо особливості популярних одноплатних комп'ютерів, їхні переваги та недоліки у контексті використання в промислових проектах[4]. Також звернемо увагу на критерії вибору SBC[5] для створення ефективних та масштабованих IIoT-інфраструктур.

**Основна частина.** Аналіз одноплатних комп'ютерів (SBC) для рішень IIoT передбачає оцінку їх технічних характеристик, сумісності з різноманітними протоколами та сенсорами[6], а також здатності працювати в суворих умовах. Основними критеріями аналізу обчислювальна потужність.

Для IIoT-рішень важливо, щоб одноплатний комп'ютер міг обробляти дані локально (edge computing)[7], знижуючи навантаження на хмарну інфраструктуру[8]. Важливими параметрами є кількість ядер процесора[9], підтримка апаратного прискорення[10] (наприклад, для обробки зображень чи машинного навчання) та обсяг оперативної пам'яті.

Наступним критерієм є інтерфейси підключення. SBC повинні підтримувати різноманітні інтерфейси, такі як Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth, USB, UART, SPI, та I2C для інтеграції з сенсорами[11], пристроями та мережею. Деякі моделі також пропонують підтримку промислових протоколів (Modbus, CAN, PROFINET).

Наступним критерієм є енергоефективність та форм-фактор. У IIoT-проектах часто важливі низьке енергоспоживання та компактність для встановлення в обмежених просторах або автономних системах.



Наступним критерієм є стійкість до умов середовища. Для промислових застосувань SBC мають працювати в екстремальних температурах, умовах підвищеної вологості чи пилу.

**Можливі сценарії розробки тестових макетів.** Створення тестових макетів на базі однопланих компютерів для дослідження концепції Industry 5.0 може включати різноманітні сценарії та аспекти виробництва. До основних компонентів таких систем можна віднести:

- макет для взаємодії людина-машина (HMI);
- модель автоматизованого виробництва;
- модель IoT-з'єднання;
- система контролю якості на основі вбудованих систем.

Такі тестові макети можуть служити інструментами для вивчення різних аспектів концепції Industry 5.0 та впровадження відповідних технологій у виробничі умови.

**Одноплатні комп'ютери для аналізу.** Кожен SBC має свої переваги та обмеження, тому вибір залежить від конкретних вимог IoT-проекту. Raspberry Pi (рисунок 1) добре підходить для прототипування, Jetson Nano – для обчислювально складних задач, а Industrial Shields – для критично важливих промислових середовищ., рисунок 1.



Рисунок 1 – Raspberry Pi 4 Model B

Raspberry Pi 4 популярний завдяки поєднанню ціни, потужності та підтримки великої кількості операційних систем. Підходить для початкових IoT-рішень, хоча не завжди витримує суворі промислові умови.

BeagleBone Black (рисунок 2.а) пропонує розширені можливості для роботи з GPIO, що робить його популярним серед розробників апаратного забезпечення.

NVIDIA Jetson Nano (рисунок 2.б) - Ідеальний для рішень, що потребують обробки великих обсягів даних, зокрема відео чи застосувань штучного інтелекту.

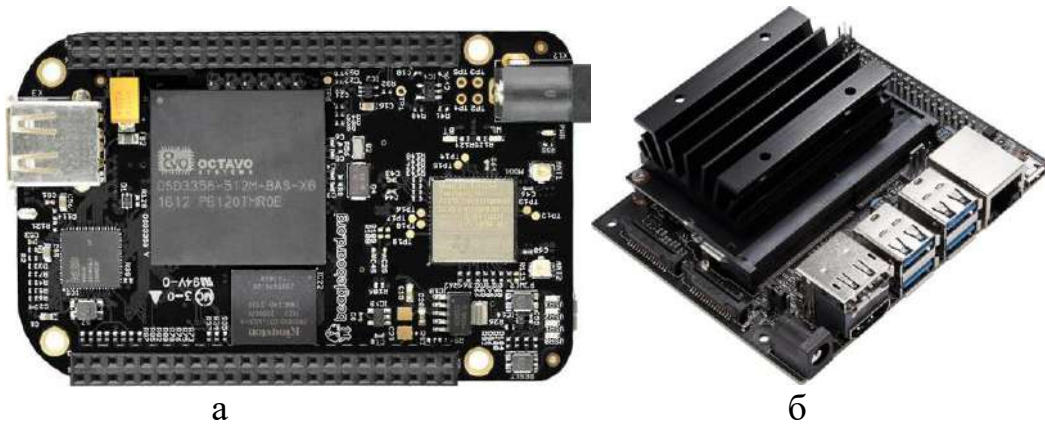


Рисунок 2 – BeagleBone Black та NVIDIA Jetson Nano  
UP Board - Потужний SBC із підтримкою x86-архітектури, що дає змогу використовувати індустріальні програмні платформи та забезпечує високу сумісність з існуючими рішеннями.

Industrial Shields Arduino PLC (рисунок 3) - орієнтований на промислові проекти, з підтримкою індустріальних протоколів і підвищеною надійністю.



Рисунок 3 – Industrial Shields Arduino PLC

**Висновки.** Одноплатні комп'ютери (SBC) відіграють ключову роль у реалізації IoT-рішень завдяки своїй універсальності, компактності та енергоефективності. Аналіз популярних моделей показує, що вибір SBC залежить від конкретних технічних і функціональних вимог проєкту, що дозволяє забезпечити оптимальне поєднання продуктивності, надійності та вартості.

#### Список використаних джерел.

1. Galkin P., Golovkina L., Klyuchnyk I. Analysis of Single-Board Computers for IoT and IIoT Solutions in Embedded Control Systems //2018 International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2018-

- Proceedings. – 2019. – С. 297-302.
2. Leng J. et al. Industry 5.0: Prospect and retrospect //Journal of Manufacturing Systems. – 2022. – Т. 65. – С. 279-295.
  3. Akundi A. et al. State of Industry 5.0—Analysis and identification of current research trends //Applied System Innovation. – 2022. – Т. 5. – №. 1. – С. 27.
  4. Langmann R. et al. Workshop: The TATU Lab & smart education //2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV). – IEEE, 2016. – С. 400-402.
  5. Galkin P., Umiarov R., Grigorieva O. Design embedded system testbench based on FPGA and microcontrollers for TATU smart lab as education component of industry 4.0 //2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). – IEEE, 2019. – С. 628-633.
  6. Ivan Buhrym, Oleksandr Vynokurov, Pavlo Galkin. Approaches to Designing a Wireless Sensor Network Node // First International Scientific and Practical Conference «Theoretical and Applied Aspects of Device Development on Microcontrollers and FPGAs» MC&FPGA-2019, Kharkiv, Ukraine, July 26-27, 2019. – Kharkiv: NURE, MC&FPGA, 2019. – P. 21-24. DOI: 10.35598/mcfpga.2019.007
  7. Holikov, M., & Galkin, P. (2018). Analysis of possibilities to use neural network for remote control of electronic devices. Technology Audit And Production Reserves, 6(2(44)), 42-49. doi:http://dx.doi.org/10.15587/2312-8372.2018.149539
  8. Pennekamp J. et al. Security considerations for collaborations in an industrial IoT-based lab of labs //2019 IEEE Global Conference on Internet of Things (GCIoT). – IEEE, 2019. – С. 1-7.
  9. Галкін П. В. Розробка лабораторного комплексу по вивченню вбудованих систем управління і промислової автоматизації // Матеріали 21-го Міжнародного молодіжного форуму "Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті", 25-27 квітня 2017 р. [Текст] : [збірник] / П.В. Галкін // Т. 2 : Конференція "Автоматизовані системи та комп'ютеризовані технології радіоелектронного приладобудування".- Т. 2.- Харків: ХНУРЕ.- С.94-95.
  10. Skobelev P. O., Borovik S. Y. On the way from Industry 4.0 to Industry 5.0: From digital manufacturing to digital society //Industry 4.0. – 2017. – Т. 2. – №. 6. – С. 307-311.
  11. Galkin P. Design Testbench for Wireless Sensor Network Based on CC2530 Transceiver //2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T). – IEEE, 2019. – С. 1-6.

---

---

## МОДУЛЯТОР ТА ДЕМОДУЛЯТОР ДЛЯ QPSK ТА OQPSK: АЛГОРИТМИ, МОДЕЛЮВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ

студент Мачоніс Т.С.

науковий керівник доцент, к.т.н. Воргуль О.В.,

Харківський національний університет радіоелектроніки, кафедра  
мікропроцесорних технологій і систем,

e-mail: [tomas.machonis@nure.ua](mailto:tomas.machonis@nure.ua), [oleksandr.vorgul@nure.ua](mailto:oleksandr.vorgul@nure.ua)

**Abstract.** The problem of modeling QPSK and OQPSK modulation and demodulation subsystems is considered. Modeling of subsystems in Octave, Python and VHDL is performed. The goal of the project is implementation in VHDL and efficiency analysis. Special attention was paid to methods of carrier oscillation frequency restoration.

**Ключові слова:** frequency shift keying, phase shift keying, FPGA.

**Цифрова модуляція: вступ.** Модуляція є важливим процесом у сучасних системах зв'язку, дозволяючи перетворити цифрові дані на сигнали, придатні передачі по каналам зв'язку. Серед різних методів модуляції широко використовуються квадратурна фазова модуляція (QPSK) і її модифікація - відкладена квадратурна фазова модуляція (OQPSK). Метою цієї статті є дослідження алгоритмів модуляції та демодуляції для QPSK та OQPSK, їх моделювання в середовищах Octave та Python, а також реалізація цифрової частини прототипу на базі мікроконтролера STM32 та програмованої логічної інтегральної схеми (ПЛІС) мовою VHDL.

**Основи модуляції QPSK та OQPSK** QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) — це метод модуляції, при якому кожна точка сузір'я є двома бітами інформації. Фазові зсуви становлять  $0$ ,  $\pi/2$ ,  $\pi$  та  $3\pi/2$ , що дозволяє передавати більше даних порівняно з бінарною фазовою модуляцією (BPSK). Основна перевага QPSK полягає в його стійкості до шумів та здатності передавати подвоєний обсяг даних при тій же ширині смуги.

OQPSK (Offset Quadrature Phase Shift Keying) — модифікація QPSK, де зміни фази зміщені на півперіоду символу. Це забезпечує зниження стрибків амплітуди сигналу, що зменшує ймовірність виникнення помилок під час передачі.

**Алгоритм модуляції та демодуляції QPSK.** Процес модуляції QPSK можна представити так:

1. Вхідний цифровий потік ділиться на два потоки: I (In-phase) та Q (Quadrature).
2. Потоки I та Q модулюються синусоїдальними сигналами з частотою несучої.
3. Сигнали I та Q підсумовуються для формування вихідного QPSK-

сигналу.

Для демодуляції використовується процес, обернений до модуляції:

1. Вхідний сигнал множиться на синусоїдальні сигнали виділення I і Q компонент.
2. Після фільтрації компонентів I і Q відбувається рішення про рівень сигналу для відновлення бітового потоку.

**Алгоритм модуляції та демодуляції OQPSK.** В OQPSK фаза між компонентами I і Q змінюється із затримкою на півперіоду символу, що дозволяє уникнути великих стрибків амплітуди. Це досягається так:

1. Вхідний потік ділиться на два потоки, як у QPSK.
2. Потік Q затримується на півперіоду символу перед модуляцією.
3. Модульовані сигнали I і Q підсумовуються, створюючи сигнал OQPSK.

Демодуляція OQPSK відрізняється від QPSK урахуванням зсуву фаз між компонентами I та Q, що додає необхідності виконувати додаткові дії.

**Моделювання в Octave та Python** Для моделювання алгоритмів модуляції та демодуляції QPSK та OQPSK у середовищах Octave та Python використовується наступний підхід:

**Octave:**

1. Створення цифрового вхідного потоку.
2. Поділ потоку на компоненти I та Q.
3. Генерація несучих сигналів та його множення компоненти I і Q.
4. Підсумовування результатів отримання модульованого сигналу.

**Python:**

```
```python
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
# Параметри
N = 1000 # Кількість біт
fc = 1e3 # Частота несучої
fs = 1e5 # Частота дискретизації
# Генерація випадкового бітового потоку
bits = np.random.randint(0, 2, N)
# Поділ бітового потоку на I та Q
I = bits[0::2]
Q = bits[1::2]
# Модуляція
t = np.arange(0, len(I) / fs, 1 / fs)
I_signal = I * np.cos(2 * np.pi * fc * t)
Q_signal = Q * np.sin(2 * np.pi * fc * t)
qpsk_signal = I_signal + Q_signal
# Візуалізація
plt.plot(t[:500], qpsk_signal[:500])
plt.title('QPSK Signal')
```

```
plt.xlabel('Time(s)')
plt.ylabel('Amplitude')
plt.show()
```

**Реалізація на STM32 та ПЛІС.** Для реалізації модуляції та демодуляції на апаратному рівні використовується мікроконтролер STM32 для управління та передобробки даних, а також ПЛІС для виконання основних операцій модуляції та демодуляції.

**STM32:** виконує інтерфейс із зовнішніми пристроями та керує передачею даних на ПЛІС.

**ПЛІС:** реалізує модуляцію та демодуляцію з використанням апаратних засобів. Мова опису апаратури VHDL використовується для створення модулів модулятора та демодулятора.

Приклад реалізації модулятора на VHDL:

```
library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
use IEEE.NUMERIC_STD.ALL;

entity qpsk_modulator is
  Port (
    clk: in STD_LOGIC;
    reset: in STD_LOGIC;
    data_in : in STD_LOGIC_VECTOR(1 downto 0);
    mod_out : out STD_LOGIC_VECTOR(15 downto 0)
  );
end qpsk_modulator;

architecture Behavioral of qpsk_modulator is
  signal i_signal, q_signal : STD_LOGIC_VECTOR(15
downto 0);
begin
  process(clk)
  begin
    if rising_edge(clk) then
      if reset = '1' then
        i_signal <= (others => '0');
        q_signal <= (others => '0');
      else
        - Алгоритм модуляції
        if data_in = "00"
          i_signal <= "0000000100000000"; -- Приклад значення
          q_signal <= "0000000000000000";
        elsif data_in = "01"
          i_signal <= "0000000000000000";
```

```
q_signal <= "0000000100000000";  
-- Додаткові випадки  
end if;  
end if;  
end if;  
end process;  
  
mod_out <= i_signal + q_signal;  
end Behavioral;  
````
```

**Висновок.** Розробка модулятора та демодулятора для QPSK та OQPSK вимагає ретельного опрацювання як алгоритмічних, так і апаратних аспектів. Моделювання в середовищах Octave та Python допомагає зрозуміти поведінку систем, а реалізація на базі STM32 та ПЛІС забезпечує їх високу продуктивність та гнучкість. Наведені алгоритми та приклади коду дають основу для створення цифрових систем зв'язку з використанням сучасних технологій.

### Список використаних джерел

1. Johnson, Jr. C. R. Software Receiver Design. Build Your Own Digital Communications. System in Five Easy Steps./Johnson, Jr. C. R., Sethares W. A., Klein A. G. — Cambridge: Cambridge University Press, 2011. — 465 p
2. Bernard Sclar. Digital Communications. Fundamentals and Applications. Second Edition. Communications Engineering Services, Tarzana, California and. University, 2001, 953p
3. Muhammad H. YOLO-v1 to YOLO-v8, the Rise of YOLO and Its Complementary Nature toward Digital Manufacturing and Industrial Defect Detection. Machines. 2023. Vol. 11, Issue. 7. P. 1–25.

## ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЧНОЇ ФІКСАЦІЇ ПОКАЗАНЬ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ ЗА ДОПОМОГОЮ АЛГОРИТМУ YOLO

аспірант Мачоніс Т.С., доцент, к.т.н. Зубков О.В.,  
Харківський національний університет радіоелектроніки,  
кафедра мікропроцесорних технологій і систем, м.Харків, Україна  
e-mail: [tadas.machonis@nure.ua](mailto:tadas.machonis@nure.ua), [oleh.zubkov@nure.ua](mailto:oleh.zubkov@nure.ua)

**Abstract.** The relevance of recognizing gas meter readings for automating the verification of electricity metering is substantiated. An analysis of computer vision methods for recognition of indications has been carried out and the choice of the YOLO algorithm has been justified. The dataset was improved and the YOLOv10s architecture was trained. As a result of testing the trained neural network, high reliability of recognition results was shown.

**Ключові слова:** YOLO, нейронна мережа, лічильник газу, точність.

**Вступ.** Сучасні технології все глибше проникають у різні сфери життєдіяльності, зокрема в управління комунальними ресурсами. Однією з актуальних задач є автоматизація процесу зняття показань лічильників газу. Традиційні методи, що включають ручний ввід даних або візити контролерів, мають низку недоліків, таких як ймовірність помилок, затримки у передачі інформації та значні витрати часу і ресурсів. Автоматизовані системи розпізнавання показань лічильників пропонують новий рівень ефективності. Вони забезпечують точність і швидкість обробки даних, підвищують прозорість розрахунків і знижують витрати як для постачальників, так і для споживачів. Ці системи відкривають нові можливості для інтеграції з «розумними» системами керування житлом. Впровадження цих рішень актуально на тлі глобальних тенденцій до енергоефективності та цифровізації. Саме тому розробка алгоритмів та програмного забезпечення з автоматизації зняття показань лічильників є актуальною для українських умов. Метою роботи було створення високоточної системи автоматичного розпізнавання показань газових лічильників.

**Основна частина.** Існує багато світових і вітчизняних виробників лічильників газу, приклади зображень яких можна побачити на рисунку 1.



Рисунок 1 – Приклади зображень лічильників газу

Зазвичай лічильники відображають показання кількості кубічних метрів у вигляді 5 значного числа, хоча старі моделі можуть мати 4 знака.



Також на сучасних моделях відображається кількість літрів (3 знаки) після коми.

Для розпізнавання показань лічильника можна використовувати: класичні методи, глибоке навчання, гібридні методи.

Класичні методи включають використання: фільтрації зображень для зменшення шуму, порогової сегментації для виділення цифр, контурного аналізу для ідентифікації об'єктів на зображенні та оптичне розпізнавання символів (OCR) для перетворення зображення цифр у текст.

Перевагою цих методів є простота обробки, а недоліками є: чутливість до освітлення і якості зображень. Методи глибокого навчання базуються на використанні згорткових нейронних мереж (CNN). Основні архітектури для розпізнавання показань: YOLO, CRNN, Transformer-based моделі. Модель YOLO використовується для об'єктного детектування та швидко і точно визначає місця розташування цифр. CRNN (Convolutional Recurrent Neural Network) використовується для послідовного розпізнавання символів. Transformer-based моделі (наприклад, Vision Transformer): забезпечують високу точність завдяки увазі до глобальних і локальних особливостей зображення. Перевагами цих методів є висока точність та можливість адаптації до різних лічильників, а недоліком є складність навчання. Гібридні підходи поєднують класичні методи з алгоритмами глибокого навчання. Наприклад, спочатку використовується класичний метод для сегментації зображення, а потім — CNN або OCR для розпізнавання цифр.

Для подальшого використання було обрано алгоритм YOLO. YOLO (You Only Look Once) — один із найефективніших методів для задач детектування об'єктів. Цей метод дозволяє ідентифікувати та локалізувати об'єкти (цифри або інші символи) на зображенні в реальному часі. Завдяки тому, що вся обробка зображення відбувається за один прохід мережі, YOLO аналізує десятки або навіть сотні кадрів за секунду. YOLO здатний одночасно детектувати кілька об'єктів на одному зображенні. Це зручно, коли на зображенні є одразу кілька цифр або індикаторів, які потрібно розпізнати. Висока точність локалізації дозволяє виділяти об'єкти навіть у складних умовах, таких як: відблиски або тіні, часткове перекриття об'єктів, незначні спотворення цифр. YOLO демонструє високу стійкість до змін у: освітленні, куті зйомки, якості зображення (необхідно забезпечити прийнятну роздільну здатність, але не критично високу). Це дозволяє використовувати YOLO для розпізнавання показань у різних робочих середовищах, включаючи стенди повірки з варіативними умовами освітлення. YOLO легко налаштовується на специфічні задачі за допомогою донавчання. Якщо змінюються умови роботи (наприклад, нові типи лічильників або нестандартні шрифти), модель можна швидко адаптувати, не витрачаючи багато ресурсів на повне перенавчання. YOLO підходить як для локальної обробки зображень, так і для роботи в хмарних

системах, де результати можуть передаватися до баз даних або інформаційних панелей в реальному часі.

Першим етапом створення системи розпізнавання було навчання алгоритму YOLO. Для навчання необхідно підготувати датасет (сукупність зображень лічильників). Для кожного зображення було необхідно створити анотацію, тобто обмежувальні рамки коло цифр показань лічильників, що розпізнаються. Алгоритм повинен розпізнавати 10 цифр, тобто 10 класів. Для якісного розпізнавання необхідно мати не менше 100 зображень кожного класу в дата сеті, а краще 300. З урахуванням того, що на кожному лічильнику є 8 цифр показань і 300 зображень на кожний клас, то мінімальна необхідна кількість фото в датасеті – 375.

Існує багато ресурсів готових датасетів у Інтернет, серед яких найбільш відомі: Kaggle, RoboFlow і т.д. Однак у Kegel є лише датасети окремих цифр і розміри таких датасетів не перевищують 250 зображень. Саме тому було обрано датасет із RoboFlow, що містить 1142 зображення лічильників для навчання, 342 для валідації та 171 для тестування. Кожне із зображень має розмір 416x416 пікселів. Анотування зображень було виконано з використанням програми LabelImagine.

На другому етапі було обрано версію та модифікацію архітектури алгоритма – YOLOv10s. Ця версія має найкраще значення середньої точності розпізнавання  $mAP_{50-90}=46,8$  серед існуючих архітектур модифікації s, значно меншу кількість параметрів ( $7,1 \cdot 10^6$ ) та дозволяє вбудовувати її до апаратних платформ смартфонів та Raspberry PI. Навчання виконувалось з використанням бібліотеки ultralytics на GPU RTX2050. При запуску навчання були завдані такі параметри метода train: кількість епох навчання – 300, розмір батча – 16 зображень, можливі нахили зображень перед подачею на нейронну мережу -  $\pm 8^\circ$ , оптимізатор – RMSProp.

В результаті навчання та тестування на валідаційному датасеті були досягнуті наступні результуючі значення параметрів:  $mAP=99,3\%$ ,  $Precision=99,5\%$ ,  $Recall=99,7\%$ . Матриця помилок результатів навчання показана на рисунку 2.а. В результаті навчання формується сукупність обмежувальних рамок, що завдана координатами цих рамок, номери класів розпізнаних цифр, що співпадають із самими цифрами та значення конфіденційності, що характеризують достовірність розпізнавання та локалізації. Нижче наведено приклад результату розпізнавання, що представлений на рисунку 2.б.

Аналіз результату розпізнавання показав, що цифри розпізнані вірно, але їх послідовність (0001020) не співпадає із послідовністю на зображенні.

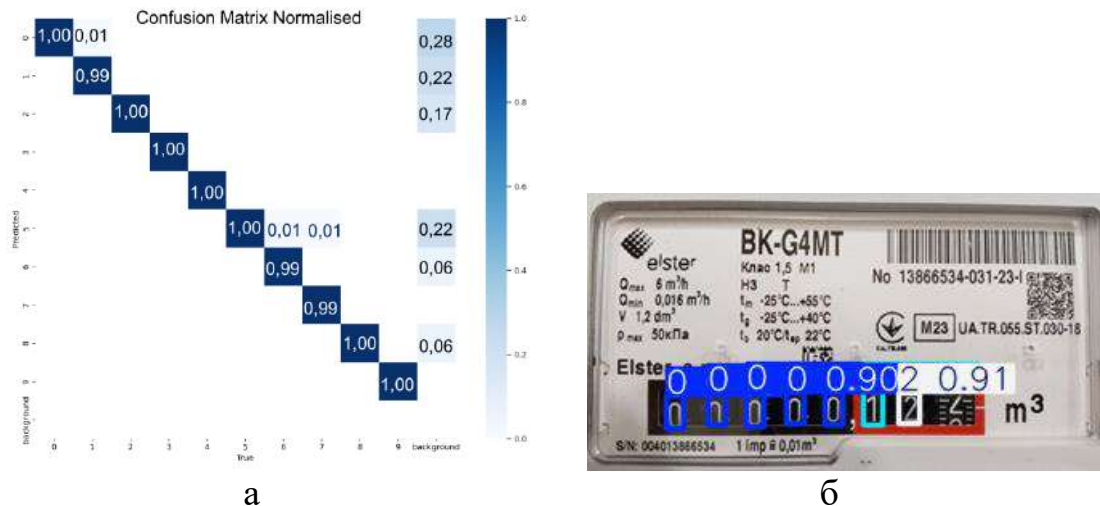


Рисунок 2 – Матриця помилок розпізнавання та приклад результату розпізнавання

Тому до алгоритму обробки зображень було додано другий етап обробки, в якому аналізуються горизонтальні координати кожної обмежувальної рамки та виконується сортування отриманих цифр за збільшенням горизонтальних координат. Після такої постобробки було досягнуто формування нормальної послідовності цифр показань лічильника 00000,12

**Висновки.** Запропонований алгоритм розпізнавання показань газових лічильників на основі архітектури нейронної мережі YOLOv10s показав свою високу ефективність при навчанні, забезпечивши значення  $mAP=99,3\%$ . Такий результат був досягнутий завдяки значному розміру датасету та вірно обраним параметрам при навчанні. Тестування навченої моделі нейронної мережі на тестовому датасеті показало 99,9% імовірність розпізнавання.

### Список використаних джерел

1. Sun L., Yuan Y., Qiao S., Qi R. Detection of Water Meter Digits Based on Improved Faster R-CNN. Journal of Computer and Communications. Vol.12, No.3, 2024 pp.1-13
2. Hassam T., Muhammad S. K., Muhammad O. T. Performance Analysis and Comparison of Faster R-CNN, Mask R-CNN and ResNet50 for the Detection and Counting of Vehicles. 2021 International Conference on Computing, Communication, and Intelligent Systems, Greater Noida, India, 19-20 February 2021. Piscataway, NJ: IEEE, 2021. P. 587–594.
3. Muhammad H. YOLO-v1 to YOLO-v8, the Rise of YOLO and Its Complementary Nature toward Digital Manufacturing and Industrial Defect Detection. Machines. 2023. Vol. 11, Issue. 7. P. 1–25.

---

---

**ABOUT CONTROLLER WITH THE CODESYS RUNTIME  
ENVIRONMENT BASED ON THE BEAGLEBONE BLACK SINGLE-  
BOARD COMPUTER**

postgraduate Petrenko D. S., postgraduate Pashkov S. O.,

PhD, associate professor Mazur O. V.

Odesa National University of Technology,

e-mail: [dmytropetrenko00@gmail.com](mailto:dmytropetrenko00@gmail.com), [sergypashkov2001@gmail.com](mailto:sergypashkov2001@gmail.com),  
[mazur.a.v.ua@gmail.com](mailto:mazur.a.v.ua@gmail.com)

**Abstract.** The article is devoted to the development of a programmable logic controller (PLC) that will have an open architecture, a powerful execution environment, support most modern communication protocols, have wide functionality, and at the same time have a low price. This study explores the methodology for developing a PLC designed for embedded control systems with the CoDeSys runtime environment, based on the BeagleBone Black single-board computer. It covers the software loading process and the configuration of GPIO pin functions. The result is a PLC with flexible input/output system settings and support for protocols such as UART, I2C, SPI, USB2.0, mini-USB, Ethernet, HDMI, 7AI, 45DI/DO, and PWM.

**Keywords:** controller, embedded control system, single-board computer

**Introduction.** Industrial PLCs have become an integral part of modern control systems. Despite the increasing number and complexity of tasks assigned to them, most PLCs feature closed and rigid configurations, which result in relatively limited functionality. Additionally, the cost and specific operational characteristics of industrial PLCs complicate their use in developing embedded control systems. This paper focuses on the development of a PLC with an open architecture, a powerful runtime environment, support for most modern communication protocols, extensive functionality, and low cost.

**Main part.** The study achieved the following. A PLC with the CoDeSys runtime environment was developed based on the BeagleBone Black single-board computer [1, 2, 3]. The functional capabilities of the BeagleBone Black single-board computer, as well as its operational features, were analyzed [4, 5]. The functionality of the CoDeSys runtime environment was thoroughly reviewed. To implement a PLC aimed at embedded control systems, the BeagleBone Black single-board computer running the Linux operating system (OS) was selected.

The BeagleBone Black board is powered via a USB cable or an external 5V DC power source, though the latter is rarely needed. Communication with a personal computer (PC) is provided through a USB cable or LAN port (Fig. 1).

The type of OS image to be loaded depends on the eMMC memory capacity of the BeagleBone Black. A Linux distribution can be installed on the eMMC storage of the board using an SD card. Alternatively, the OS can be run

directly from the SD card. The progress of the OS installation can be monitored using a terminal program on a PC by connecting the BeagleBone Black via an external UART/USB converter to the PC (Fig. 2). For stable system operation, it is recommended to install the latest version of Debian.

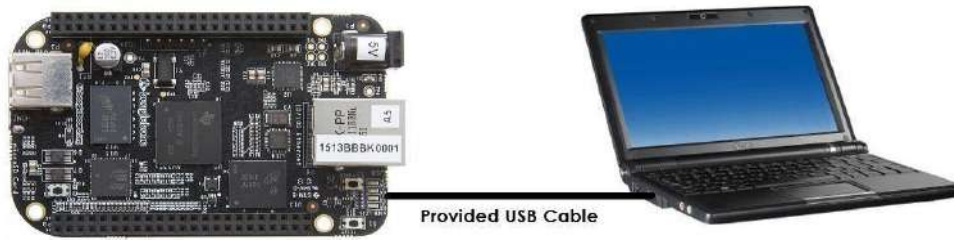


Figure 1 – Connecting BeagleBone Black to a PC via USB Cable

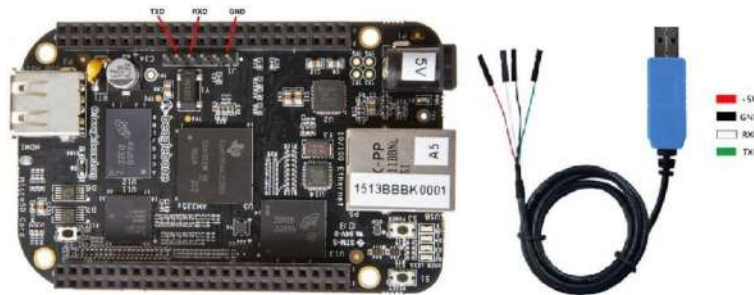


Figure 2 – BeagleBone Black and External UART/USB Converter

After successfully installing the Linux OS, the CoDeSys runtime environment is installed on the BeagleBone Black (Fig. 3).

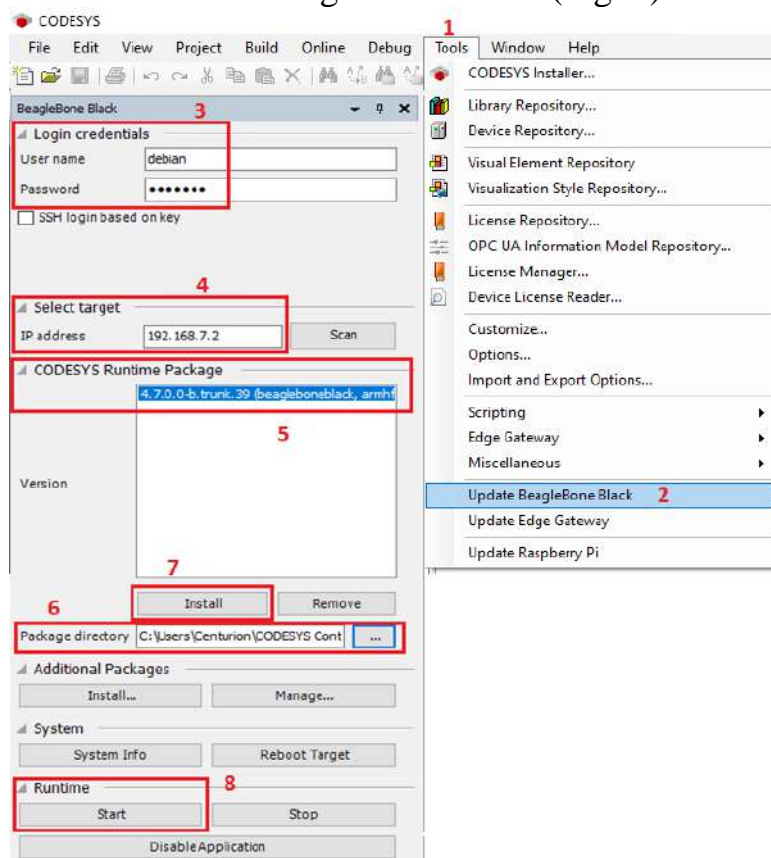


Figure 3 – Installing the CoDeSys Runtime Environment on BeagleBone Black

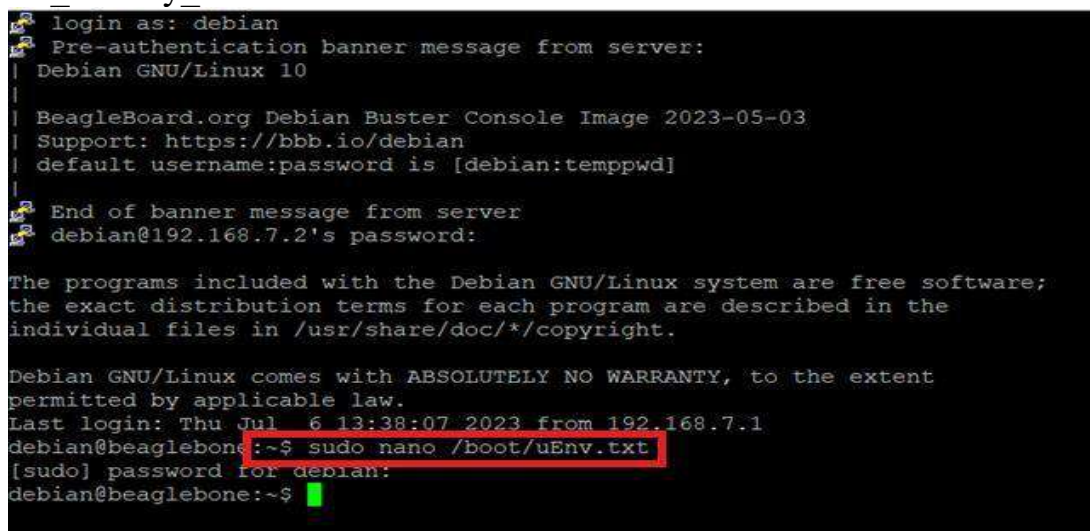


credentials (login: “debian”, password: “temppwd”). To edit the configuration file, use the command: “sudo nano /boot/uEnv.txt” (Fig. 6). After making the changes, save the edited configuration file for further use.

For example, to free GPIO pins configured for HDMI operation for DI/DO purposes:

- uncomment (remove the hashes “#”) from the following two lines: “disable\_uboot\_overlay\_video=1”, “disable\_uboot\_overlay\_audio=1”;
- execute the “Write Out” command by pressing “Ctrl+O”;
- perform the “overwrite” operation by pressing “Ctrl+(M+A)”;
- exit by pressing “Ctrl+X”.

To activate UART, locate the following line in the configuration file: “#uboot\_overlay\_addr4=<file4>.dtbo” and replace it with: “uboot\_overlay\_addr4=/lib/firmware/BBUART1-00A0.dtbo”.



```

login as: debian
Pre-authentication banner message from server:
Debian GNU/Linux 10

BeagleBoard.org Debian Buster Console Image 2023-05-03
Support: https://bbb.io/debian
default username:password is [debian:temppwd]

End of banner message from server
debian@192.168.7.2's password:

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
Last login: Thu Jul  6 13:38:07 2023 from 192.168.7.1
debian@beaglebone:~$ sudo nano /boot/uEnv.txt
[sudo] password for debian:
debian@beaglebone:~$
    
```

Figure 6 – BeagleBone Black Terminal Window

**Conclusions.** Thus, using accessible hardware and software (BeagleBone Black + CoDeSys V3.5), a PLC with open architecture and support for interfaces such as UART, I2C, SPI, USB2.0, mini-USB, Ethernet, HDMI, 7AI, 45DI/DO, and PWM has been developed.

### References

1. Osnovi prohranuvannya v seredovishchi CODESYS: navchal`niy posibnik / V.M. Levins`kiy, M.V. Levins`kiy. – Odesa, ONTU, 2023. – 139 s.
2. CODESYS Control for BeagleBone SL | CODESYS Store International. – URL: <https://store.codesys.com/en/codesys-control-for-beaglebone-sw.html>.
3. BeagleBone Black – BeagleBoard Documentation. – URL: <https://docs.beagleboard.org/latest/boards/beaglebone/black/index.html>.
4. Beagleboard:BeagleBone Black Debian – eLinux.org. – URL: [https://elinux.org/Beagleboard:BeagleBoneBlack\\_Debian#U-Boot\\_Overlays](https://elinux.org/Beagleboard:BeagleBoneBlack_Debian#U-Boot_Overlays).
5. Setting Up the BeagleBone Black's GPIO Pins (vadl.github.io). – URL: <https://vadl.github.io/beagleboneblack/2016/07/29/setting-up-bbb-gpio>.

## ОГЛЯД МІКРОКОНТРОЛЕРІВ ДЛЯ МАЛИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

студент Василюшин Р.М., к.т.н., доцент Свид І.В.

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки,  
e-mail: iryna.svyd@pnu.edu.ua, roman.vasylyshyn.22@pnu.edu.ua

**Abstract.** UAVs are an integral part of our present for performing various tasks - from civilian to military. The functionality of the UAV largely depends on the flight controller and the functionality of its microcontroller. It is shown that STMicroelectronics microcontrollers of the STM32 family are often used to build flight controllers. The main advantages of STM32 include: high performance, low power consumption and a rich set of peripherals. STM32 microcontrollers allow you to build multifunctional flight controllers for UAVs.

**Ключові слова:** БПЛА, малий літальний апарат, мікроконтролер.

**Вступ.** Сьогодні безпілотні літальні апарати (БПЛА) відіграють важливу роль для виконання військових, безпекових і цивільних задач. БПЛА класифікують за різними параметрами. До одного з вагомих параметрів можна віднести – льотна маса. Відповідно до льотної маси виділяють БПЛА: мікро вага до 1 кг; малий – від 1 до 25 кг; середній – від 25 до 150 кг; великий – понад 150 кг. На сьогодні найчастіше використовуються малі БПЛА. Важливою складовою БПЛА є система керування, яка визначає якість функціональності БПЛА [1-4].

**Основна частина.** Польотні контролери відіграють вирішальну роль щодо функціоналу та якості керування малими літальними апаратами (МЛА). Польотні контролери є ключовими компонентами МЛА, які забезпечують стабільність, маневреність, ефективність польоту тощо. Сучасні польотні контролери виконують ряд критично важливих функцій [5]: стабілізація польоту в різних режимах; керування швидкістю та напрямком обертання моторів; обробка команд з пульта керування; інтеграція з GPS для автономних польотів; збір та аналіз даних з різних датчиків; підтримка додаткового обладнання (камери, підвіси тощо). Польотні контролери в залежності від призначення поділяються на: базові (забезпечення основних функцій дрона); високопродуктивні (для професійних дронів); спеціалізовані (для гоночних квадрокоптерів); універсальні (з широкими можливостями налаштування) тощо.

Основою польотного контролеру є мікроконтролер. Для малих літальних апаратів можуть застосовуватися спеціалізовані мікроконтролери та мікроконтролери загального призначення. Проведено аналіз мікроконтролерів, що застосовуються для польотних контролерів. У таблиці 1 наведено перелік мікроконтролерів, що використовуються у ряді польотних контролерів. Згідно аналізу в польотних контролерах часто



використовуються мікроконтролери STM32F4, STM32H7, STM32F7. Мікроконтролери STM32 розробка фірми STMicroelectronics [6], які зарекомендували себе, як надійні, відносно малої вартості, функціональні. STM32 використовуються промисловістю, для аматорських розробок та навчальних задач [6-9].

Таблиця 1

| Польотний контролер   | Мікроконтролер |
|---|----------------|
| Політний контролер (FC) MATEKSYS F405-WMN (F405-WMN/HP024.0104)                       | STM32F405RGT6  |
| Політний контролер (FC) MATEKSYS H743-WING V3 (H743-WING-V3/HP024.0084-V3)            | STM32H743VIT6  |
| Політний контролер (FC) MATEKSYS F411-WTE (F411-WTE/HP024.0093)                       | STM32F411CEU6  |
| Політний стек SpeedyBee F7 V3 BL32 50A 30x30 (SB-STACK-F7V3-50A/HP0008.0081-Stack-V3) | STM32F722      |
| Політний стек Hobbyporter F722+80A (HP0010.9974)                                      | STM32F722RET6  |

Сімейство STM32F4 відноситься до цифрових сигнальних контролерів, і поєднує в собі переваги класичних мікроконтролерів з розвиненим набором периферії та обчислювальну потужність спеціалізованих процесорів, що дозволяють здійснювати обчислення з плаваючою точкою на апаратному рівні [10]. STM32F7 найбільш продуктивні мікроконтролери в серії Cortex-M. Інтелектуальна архітектура нових мікроконтролерів STM32F7 об'єднує ядро Cortex-M7 і вдосконалену периферію, надаючи розробникам кінцевих пристроїв неперевершені можливості для підвищення продуктивності додатків, додавання нових функцій, збільшення часу автономної роботи при живленні від батареї, захисту даних. Особливістю нової серії є збільшення продуктивності у 2 рази (428 DMIPS) у порівнянні з Cortex M4 (210 DMIPS) при частоті ядра 200 МГц [10]. Сімейство STM32H7 побудовані на базі сучасного 40 нм ядра Cortex-M7 з частотою роботи 400 МГц та продуктивністю 2020 CoreMark /856 DMIPS. Однією з особливостей серії STM32H7 є абсолютно нова архітектура, що має три домени живлення та дозволяє оптимізувати енергоефективність, переводячи ту чи іншу групу периферії у режим зниженого споживання [10]. STMicroelectronics надає повну програмну підтримку в кодогенераторі STM32CubeMX та середовищі розробки STM32CubeIDE, а також безкоштовний доступ до безлічі бібліотек та прикладів з будь-яких інтерфейсів та периферії. Для створення графічних інтерфейсів можна скористатися програмою TouchGFX [10].

**Висновки.** Малі літальні апарати є невід'ємною складовою нашого сьогодення для виконання різноманітних задач – від відеозйомки до військових завдань. Функціональність малого літального апарата багато в

чому залежить від польотного контролера та функціональності його мікроконтролера. Показано, що часто для побудови польотних контролерів використовуються мікроконтролери фірми STMicroelectronics сімейства STM32. До основних переваг STM32 можна віднести: високу продуктивність, низьке енергоспоживання та багатий набір периферійних пристроїв. Мікроконтролери STM32 дозволяють побудувати багато функціональні польотні контролери для малих літальних апаратів.

#### **Список використаних джерел.**

1. Кучеренко О.І., Вакалюк Т.А. Огляд технічних та програмних засобів керування БПЛА. Вісник Херсонського національного технічного університету. 2024. № 2(89). С. 170–176. doi: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.2.24>.
2. Assessment of the quality of determining the coordinates of air objects by cooperative radar systems for air surveillance / I. V. Svyd et al. Radiotekhnika. 2023. No. 214. P. 102–114. doi: <https://doi.org/10.30837/rt.2023.3.214.09>.
3. Svyd I. V., Tkach M. G. Synthesis and analysis of the trace detector of air objects of an interrogating radar system. Radiotekhnika. 2023. No. 212. P. 175–185. doi: <https://doi.org/10.30837/rt.2023.1.212.17>.
4. Свид І. В. Обробка радіолокаційної інформації систем спостереження повітряного простору: монографія. Дніпро: ЛІРА ЛТД, 2022. 224 с.
5. ONEFPV. URL: <https://onefpv.com/blog/controllers-flight-fpv> (date of access: 11.11.2024).
6. Програмування мікроконтролерів STM32 в середовищі STM32CubeIDE в прикладах і задачах: Навч. посіб. / О. В. Зубков, І. В. Свид, О. В. Воргуль, В. В. Семенець. Дніпро : ЛІРА ЛТД, 2022. 144 с.
7. Zubkov O., Svyd I., Vorgul O. Features of the implementation of an over/under voltage relay on STM 32 microcontrollers. Theoretical and Applied Aspects of Device Development on Microcontrollers and FPGAs 2022. 2022. doi: <https://doi.org/10.35598/mcfpga.2022.001>.
8. Zubkov O., Svyd I., Vorgul O. Features of the digital filters implementation on STM32 microcontrollers. 2021 III International Scientific and Practical Conference Theoretical and Applied Aspects of Device Development on Microcontrollers and FPGAs. 2021. doi: <https://doi.org/10.35598/mcfpga.2021.001>.
9. Vorgul O., Svyd I., Zubkov O. Pseudo Random Value Generation in STM32 Cube. Theoretical and Applied Aspects of Device Development on Microcontrollers and FPGAs 2023. 2023. doi: <https://doi.org/10.35598/mcfpga.2023.016>.
10. STM32 32-bit Arm Cortex MCUs. URL: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus.html> (дата звернення: 11.11.2024).

## **АНАЛІЗ ПРИНЦИПІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОБРОБКИ ДАНИХ В СИСТЕМІ КОНТРОЛЮ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ**

к.т.н., доцент Свид І.В., студент Мартинюк В.В., слухач Чоботок С.О.

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника;  
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба  
e-mail: svyd.iv@gmail.com

**Abstract.** The work shows that one of the main principles of the organization of information provision of the airspace control system is the creation of a single system of information provision of management bodies.

**Ключові слова:** дані, повітряний простір, автоматизація, обробка.

**Вступ.** Основні елементи процедури контролю повітряного простору - аналіз повітряної обстановки й прийняття рішень. Рішення приймає особа на основі аналізу відповідним чином підготовленої інформації про стан повітряної обстановки. Правильне рішення може бути прийнято лише тоді, коли є досить повна, точна, достовірна й безперервна інформація про повітряну обстановку в зоні управління. Отже, якість прийняття рішень визначаються якістю й складом інформації, на основі якої особа приймає рішення.

**Основна частина.** Автоматизовані системи обробки інформації (АСОІ) використовуються автономно або входять в склад систем управління. У широкому сенсі АСОІ вхідна інформація представляється безперервними випадковими процесами (сигналами), які надходять від датчиків. Такі АСОІ використовують як підсистеми, зокрема, автоматизованих систем керування повітряним рухом, контролю повітряного простору, технологічними процесами тощо [1-3].

АСОІ реалізуються часто у вигляді інформаційно-вимірювальних систем (ІВС), що функціонують в реальному часі. У ІВС сигнали від датчиків, після попередньої обробки в приймальних пристроях, подаються для подальшої обробки в ЕОМ [4-6].

Інформаційно-вимірювальна система автоматизованої системи (АС) контролю повітряного простору (КПП) включає складне сучасне обладнання, апаратуру первинної обробки інформації (АПОІ), засоби вторинної обробки інформації, та функціонує в умовах впливу ряду випадкових зовнішніх факторів (флуктуації сигналів, наявність завад). Аналіз ефективності подібних складних систем можна виконати на основі побудови машинної моделі по ланцюжку: середа - система - математична модель - моделюючий обчислювальний алгоритм з реалізацією на ЕОМ.

Вибір критеріїв ефективності ІВС проводиться виходячи зі звичайних вимог до критеріїв складних систем: відповідність критерію основної функції системи; критичність до визначальним параметрам; доступність вимірювання (оцінки) в процесі експлуатації систем [7-9].

Складність процесу оперативного КПП також пов'язана з тим, що він протікає в реальному масштабі часу, при обмежених можливостях людини на обміркування ситуації, а іноді і отримання абсолютно достовірної інформації. Від наявності високоякісної інформації залежать можливість виконання функцій системи КПП.

Система контролю ПП повинна забезпечувати виконання таких функцій:

- 1) ведення безперервної розвідки ПП (в реальному масштабі часу);
- 2) збір, накопичення і обробки даних від усіх засобів активного і пасивного радіоелектронного спостереження і розвідки;
- 3) розробка на основі цих даних карти повітряної обстановки;
- 4) інформаційна достатність для функціонування системи контролю ПП;
- 5) висока точність та не перекрученість інформації та ін.;
- 6) виключення втручання та організованої протидії.

Таким чином основними елементами процедури контролю ПП – є аналіз повітряної обстановки та прийняття рішень.

Рішення приймає особа на основі аналізу відповідним чином підготовленої інформації про стан повітряної обстановки. Правильне рішення може бути прийняте лише тоді, коли є досить повна, точна, достовірна й безперервна інформація про повітряну обстановку в зоні управління. Отже, якість прийняття рішень визначається якістю й складом інформації, на основі якої особа приймає рішення.

Створення автоматизованих систем контролю ПП являє собою складну і трудомістку науково-технічну задачу. Її вирішення потребує залучення значних сил і засобів.

Воно засноване на наступних принципових положеннях:

- 1) АС КПП розглядається як інформаційно-обчислювальна система;
- 2) вся інформація надається в цифровій формі;
- 3) система має мережеву структуру;
- 4) система має функціональну ієрархію рівнів;
- 5) система топологічно однорідна, складається з модулів;
- 6) технічна реалізація системи розрахована на максимальне застосування стандартних апаратних і програмних засобів.

Основними причинами необхідності удосконалювання системи КПП є: значна чисельність повітряних засобів різних типів у світі, досягнуті й очікувані успіхи в їхньому розвитку, зв'язані з підвищенням рівня льотно-технічних характеристик, зростання впливу різних (особливо навмисних) завад на якість виявлення, виміру параметрів та ідентифікації ПО і інш.

**Висновки.** Проаналізовано принципи автоматизації обробки даних в системі контролю повітряного простору. Показано, що одним з основних принципів організації інформаційного забезпечення системи контролю повітряного простору є створення єдиної системи інформаційного

забезпечення органів управління.

**Список використаних джерел.**

1. І.В. Свид, А.І. Обод. Інформаційні технології обробки даних систем спостереження. Системи управління, навігації та зв'язку. Полтава, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, 2016. Вип. 4 (40). С. 91-93.
2. D.V. Pavlova et al. Optimizing Data Processing in Information Networks of Airspace Surveillance Systems. // Conference Proceedings of 2019 10th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT'2019, United Kingdom, Leeds, 5-7 June, 2019. – Leeds: 2019. – P. 136-139. DOI: 10.1109/DESSERT.2019.8770022.
3. Q. Gu, H. Dong, D. Xu and Z. Chen. Benefit Analysis for ADS-B Surveillance System Based on China Airspace Capability Model. 2018 10th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC), Hangzhou, China, 2018, pp. 26-30.
4. Svyd I. V., Tkach M. G. Synthesis and analysis of the trace detector of air objects of an interrogating radar system. Radiotekhnika. 2023. No. 212. P. 175–185. doi: <https://doi.org/10.30837/rt.2023.1.212.17>.
5. Свид І. В. Обробка радіолокаційної інформації систем спостереження повітряного простору: монографія. Дніпро: ЛІРА ЛТД, 2022. 224 с.
5. Liu, W., Liu, J., Hao, C., Gao, Y., & Wang, Y.-L. (2022). Multichannel Adaptive Signal Detection: Basic Theory and Literature Review. Science China Information Sciences, 65(2). doi:10.1007/s11432-020-3211-8.
6. Yang, X., Zhang, H., & Luo, Q. Multi-path interference analysis and simulation of Secondary Surveillance Radar for Civil Aviation ATC. 2020 IEEE 4th Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC). 2020. doi:10.1109/itnec48623.2020.9084696.
7. Свид І.В., Старокожев С.В. Розподілена обробка радіолокаційної інформації систем спостереження повітряного простору. Радіотехніка : Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2023. Вип. 212. - С. 155-165. doi: 10.30837/rt.2023.1.212.15.
8. Свид І.В. Порівняльний аналіз якості виявлення повітряних об'єктів вторинними радіолокаційними системами. // Радіотехніка : Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2023. Вип. 213. - С. 78-87. doi: 10.30837/rt.2023.2.213.09.
9. Z. Zhou, C. Zeng, H. Wang and G. Liao. Networked Radar System: A More Advanced Radar Detection Platform. 2023 3rd International Conference on Frontiers of Electronics, Information and Computation Technologies (ICFEICT), Yangzhou, China, 2023, pp. 506-512, doi: 10.1109/ICFEICT59519.2023.00089.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ШИРИНИ СМУГИ СИГНАЛУ НА ПАРАМЕТРИ ШИРОКОСМУГОВОЇ СИСТЕМИ

к.т.н., доцент Свид І.В., студент Яремін Р.А., слухач Солодовник Д.С.

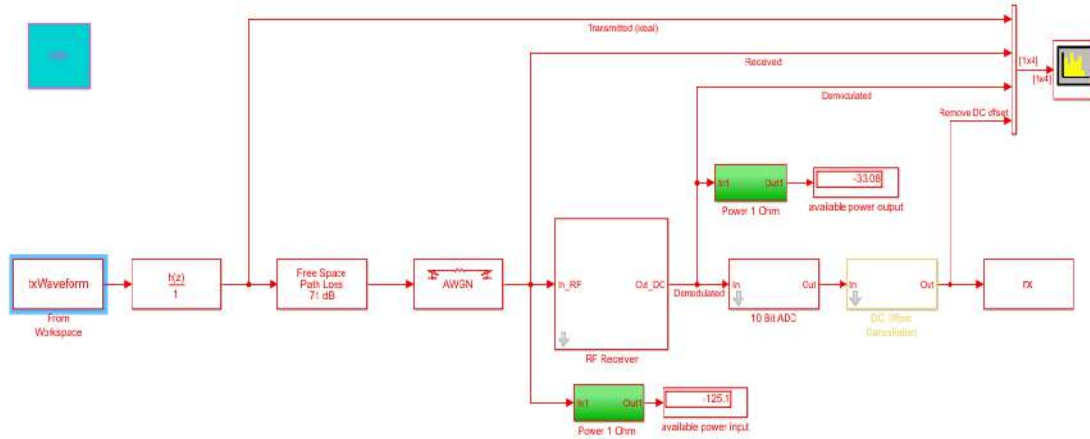
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника;  
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба  
e-mail: svyd.iv@gmail.com

**Abstract.** An analysis of the effectiveness of using broadband signals in NGN systems has been carried out. The advantages of broadband communication systems are more clearly revealed by a more general formulation of the question of the mutual influence between signals.

**Ключові слова:** ШПС, сигнал, смуга, система, спектр, LTE.

**Вступ.** Широкошмутові сигнали (ШСС) активно використовуються в сучасних високошвидкісних системах стільникового зв'язку стандартів WiMax, Mobile WiMax, MBWA, бездротових дискретних комунікаційних системах, наприклад LTE і Wi-Fi, при передачі інформації цифрового телебачення (DVB-T) і радіо (DRM, DAB), в системах радіолокації тощо. Широкошмутові сигнали дозволяють більш ефективно боротися із завадами, зосередженими по спектру, ніж вузькошмутові сигнали.

**Основна частина.** На практиці існує потреба передачі великих обсягів інформації багатьох користувачів за обмежених можливостей, коли вже сформувалися комунікаційні мережі, визначені лінії та канали зв'язку, розподілено ресурс робочих радіохвиль між країнами. У зв'язку з цим гостро постає завдання організації найефективнішого доступу кількох користувачів до єдиного ресурсу (частотно-часового та енергетично-просторового). Проблема ефективного використання ресурсу загального каналу особливо загострилася через необхідність організації оперативного обміну даними та забезпечення зв'язку з об'єктами в інформаційних системах різного призначення за умов нерівномірності та непередбачуваності запитів споживачів у часі. Дослідження ШСС проведено на прикладі системи LTE. В стандарті LTE основними технологіями радіодоступу є OFDMA на низхідному і SC-FDMA на висхідному каналі. Проведено моделювання системи LTE для двох значень частотної смуги сигналу 3 МГц і 10 МГц. Модель приймального пристрою системи LTE представлена на рис. 1. Результати моделювання представлені на рис. 2, рис. 3. З отриманих даних, можна зробити такі висновки: амплітуда напруги сигналу менше смуги частот 10 МГц; значення потужностей прийнятого сигналу близькі для обох значень ширини смуги частот; залежність потужності від кількості груп комірок LTE близька за розподілом при двох значеннях смуги; для широкошмутового сигналу пікове значення вектору помилки більше, ніж для вузькошмутового, але номінальне значення менше.



Copyright 2016 The MathWorks, Inc.

Рисунок 1

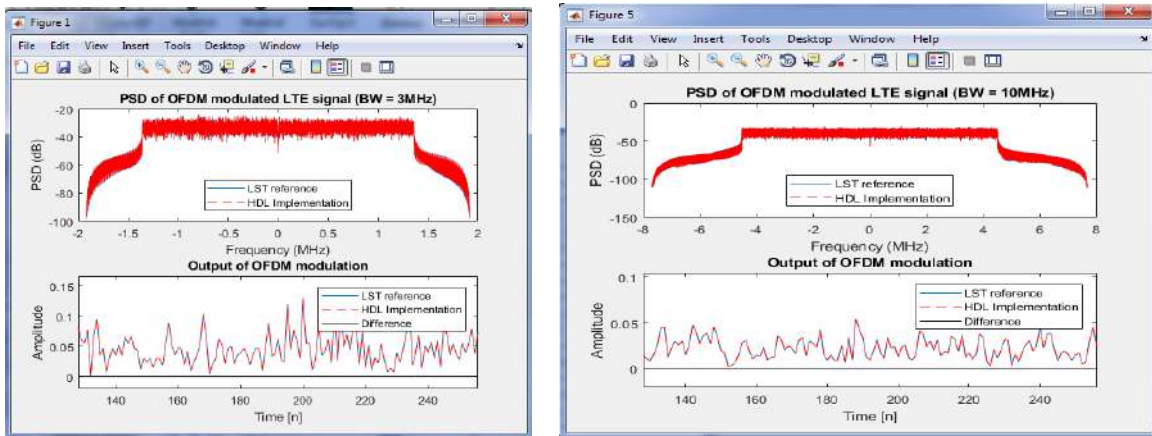


Рисунок 2 - Залежність спектральної щільності від частоти та амплітуди сигналу від часу

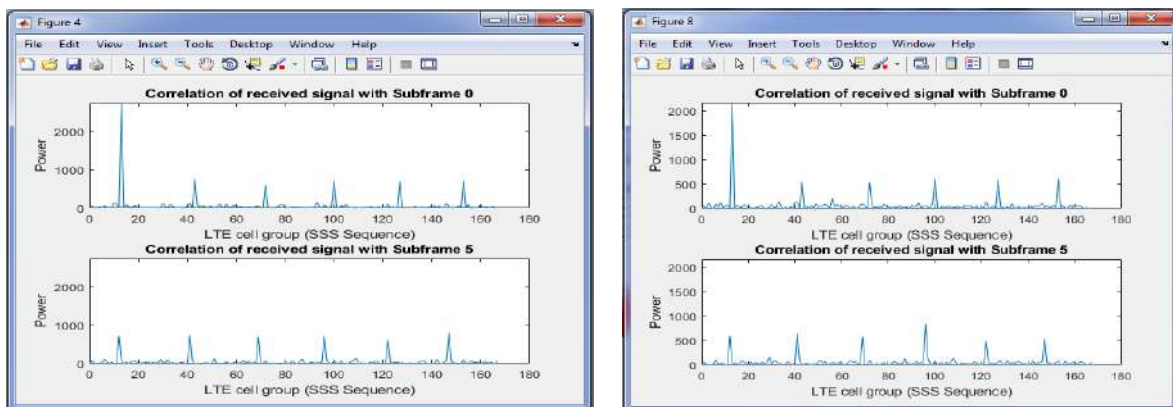


Рисунок 3 - Залежність потужності кількості груп осередків LTE для частотної смуги сигналу 3 МГц і 10 МГц

**Висновки.** Проведено моделювання системи LTE для двох значень частотної смуги сигналу 3 МГц і 10 МГц. Показано, що, амплітуда напруги сигналу менша для смуги 10 МГц, а значення потужностей прийнятого сигналу близькі для обох значень ширини смуги частот. Та залежність

потужності від кількості комірок LTE близькі по розподілу для двох значень смуги, для ШСС пікове значення вектору похибки більше ніж для вузькосмугового, але номінальне значення менше.

### **Список використаних джерел.**

1. Свид І.В., Обод І.І. Завадостійкість радіолокаційних систем ідентифікації за ознакою «свій-чужий»: монографія. Харків : Друкарня Мадрид, 2021. 254 с.
2. Свид І.В. Обробка радіолокаційної інформації систем спостереження повітряного простору: монографія. Дніпро: ЛІРА ЛТД, 2022. 224 с.
3. Методи та пристрої обробки радіосигналів бортових авіаційних систем посадки: монографія / В. М. Кичак, Ю. М. Воловик, А. Ю. Воловик. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 208 с.
4. І.В. Свид, А.І. Обод. Інформаційні технології обробки даних систем спостереження. Системи управління, навігації та зв'язку. Полтава, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, 2016. Вип. 4 (40). С. 91-93.
5. Z. Zhou, C. Zeng, H. Wang and G. Liao. Networked Radar System: A More Advanced Radar Detection Platform. 2023 3rd International Conference on Frontiers of Electronics, Information and Computation Technologies (ICFEICT), Yangzhou, China, 2023, pp. 506-512.
6. D.V. Pavlova et al. Optimizing Data Processing in Information Networks of Airspace Surveillance Systems. Conference Proceedings of 2019 10th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT'2019, United Kingdom, Leeds, 5-7 June, 2019. Leeds: 2019. P. 136-139. doi: 10.1109/DESSERT.2019.8770022.
7. І.І. Обод, І.В. Свид, О.С. Мальцев. Обробка даних радіолокаційних систем спостереження повітряного простору: навчальний посібник. Харків: Друкарня Мадрид, 2021. – 255 с.
8. Q. Gu, H. Dong, D. Xu and Z. Chen. Benefit Analysis for ADS-B Surveillance System Based on China Airspace Capability Model. 2018 10th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC), Hangzhou, China, 2018, pp. 26-30.
9. Свид І.В., Ткач М.Г. Синтез і аналіз виявлювача трас повітряних об'єктів запитальної радіолокаційної системи. Радіотехніка: 2023. Вип. 212. - С. 175-185. doi: 10.30837/rt.2023.1.212.17.
10. Liu, W., Liu, J., Hao, C., Gao, Y., & Wang, Y.-L. (2022). Multichannel Adaptive Signal Detection: Basic Theory and Literature Review. Science China Information Sciences, 65(2). doi:10.1007/s11432-020-3211-8.
11. Свид І.В. Порівняльний аналіз якості виявлення повітряних об'єктів вторинними радіолокаційними системами. Радіотехніка: 2023. Вип. 213. - С. 78-87. doi: 10.30837/rt.2023.2.213.09.



## **АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗЗАПИТАЛЬНОГО РЕЖИМУ ВИМІРЮВАННЯ ДАЛЬНОСТІ У РСБН**

к.т.н., доцент Свид І.В., студент Юрченко В.І., слухач Кащенко Д.О.  
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника;  
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба  
e-mail: svyd.iv@gmail.com

**Abstract.** The paper analyzes the prospects for implementing the non-question mode of operation in the RSBN when measuring the distance from an air object to a radio navigation point.

**Ключові слова:** аналіз, дані, повітряний простір, автоматизація.

**Вступ.** Контроль повітряного простору є критично актуальною задачею для будь-якої країни світу. Система організації повітряного руху (АТМ) забезпечує високий рівень безпеки повітряного руху, необхідний рівень гнучкості використання та дає можливість вирішувати завдання щодо ефективного використання повітряного простору країни різними користувачами повітряного простору. АТМ включає в себе управління повітряним простором, обслуговування повітряного руху та організацію потоків повітряного руху. Повітряний простір України та повітряний простір над відкритим морем, де відповідальність за обслуговування повітряного руху міжнародними договорами покладена на Україну, визначається та встановлюється відповідно до стандартів та рекомендованої практики ІКАО, документів Євроконтролю, Повітряного Кодексу України, Положення про використання повітряного простору України. Контроль повітряного простору є критично актуальною задачею для всіх держав [1]. Система управління повітряним простором включає: аналіз повітряної обстановки й прийняття рішень. Рішення приймає особа на основі аналізу відповідним чином підготовленої інформації про стан повітряної обстановки. Правильне рішення може бути прийнято лише тоді, коли є повна, точна, достовірна й безперервна інформація про повітряну обстановку в зоні управління. Якість прийняття рішення визначається якістю й складом інформації, на основі якої особа приймає рішення [2-4].

**Основна частина.** Радіотехнічні системи ближньої навігації (РСБН) вирішуються технічні та організаційні задачі щодо забезпечення вирішення навігаційних задач у межах прямої видимості об'єкту. Сучасні РСБН мають обмежену пропускну здатність по дальності, яка обумовлена мінімально допустимим часом відновлення вихідних каскадів передавального пристрою та тепловим режимом при існуючому конструктивному виконанні. Зменшення впливу наведених параметрів дозволить підвищити пропускну здатність далекомірного каналу РСБН [4-6]. РСБН складається з наземного кутомірно-далекомірного радіомаяка та бортової апаратури, й забезпечують безпосередній вимір на борту

повітряного об'єкта (ПО) пеленга і похилої дальності ПО відносно місця розташування радіомаяка [7-9].

Застосування беззапитального режиму роботи при вимірюванні відстані від повітряного об'єкта до радіонавігаційної точки сприяє підвищенню пропускної здатності по дальності РСБН. Впровадження запропонованого рішення можливе при впровадженні апаратури системи єдиного часу в РСБН. Також таке рішення сприяє підвищенню скритності, так як бортове обладнання повітряного об'єкта не працює на випромінювання, та дозволяє зменшити смугу використання частот по відношенню до систем із запитом, так як здійснюється робота наземного радіомаяка лише на випромінювання.

**Висновки.** У роботі проаналізовано перспективи впровадження в РСБН беззапитального режиму роботи при вимірюванні відстані від повітряного об'єкта до радіонавігаційної точки; обґрунтовано доцільність застосування беззапитального режиму вимірювання дальності у РСБН; представлено тактико-технічні вимоги до далекомірного каналу РСБН з використанням беззапитального режиму, які задовольняють нормативним параметрам РСБН.

#### **Список використаних джерел.**

1. Організація повітряного руху URL: <https://avia.gov.ua/organizatsiya-rovitryanogo-ruhu-atm/> (дата звернення: 14.11.2024).
2. Сорокін Д., Яровенко О., Коліко В. Роль та місце літаків дальнього радіолокаційного виявлення і управління в загальній системі виявлення, оповіщення, бойового управління силами (засобами) повітряної компоненти. Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації. 2024. № 19(26). С. 99–108.
3. Свид І.В. Обробка радіолокаційної інформації систем спостереження повітряного простору: монографія. Дніпро: ЛІРА ЛТД, 2022. 224 с.
4. В.М. Кичак, Ю.М. Воловик, А.Ю. Воловик. Методи та пристрої обробки радіосигналів бортових авіаційних систем посадки: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2011.
5. І.В. Свид, А.І. Обод. Інформаційні технології обробки даних систем спостереження. Системи управління, навігації та зв'язку. Полтава, Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка, 2016. Вип. 4 (40). С. 91-93.
6. Q. Gu, H. Dong, D. Xu and Z. Chen. Benefit Analysis for ADS-B Surveillance System Based on China Airspace Capability Model. 2018 10th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC), Hangzhou, China, 2018, pp. 26-30, doi: 10.1109/IHMSC.2018.10112.
7. D.B. Pavlova et al. Optimizing Data Processing in Information Networks of Airspace Surveillance Systems. Conference Proceedings of 2019 10th

- International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT'2019, United Kingdom, Leeds, 5-7 June, 2019. Leeds: 2019. P. 136-139. doi: 10.1109/DESSERT.2019.8770022.
8. M. Coutino, P. Cox and Z. Lascaris, "Active Learning for Radar System Performance Verification," 2024 IEEE Radar Conference, Denver, CO, USA, 2024, pp. 1-6.
9. Свид І.В. Порівняльний аналіз якості виявлення повітряних об'єктів вторинними радіолокаційними системами. Радіотехніка: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2023. Вип. 213. С. 78-87. doi: 10.30837/rt.2023.2.213.09.

---

---

**АНАЛІЗ САПР VIVADO DESIGN SUITE**

студент Юрах М.М., к.т.н., доцент Свид І.В.

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки,  
e-mail: iryna.svyd@pnu.edu.ua, maksym.yurakh.22@pnu.edu.ua

**Abstract.** The paper examines the features and prospects of the Vivado Design Suite. It is shown that Vivado is an important tool for designing digital systems on programmable logic integrated circuits from AMD. Vivado provides a full cycle of designing a device of any complexity from idea to finished development. The advantages, disadvantages and challenges of Vivado are analyzed and presented.

**Ключові слова:** Vivado, AMD, FPGA, ПЛІС, ASIC, проектування.

**Вступ.** Vivado Design Suite – це комплексне програмне забезпечення від компанії AMD, що використовується для проектування, аналізу та симуляції FPGA (Field Programmable Gate Array – польові програмовані вентильні матриці) і ASIC (Application-Specific Integrated Circuits – спеціалізовані інтегральні схеми) [1]. Цей інструмент створений для оптимізації процесу проектування, скорочення часу розробки та підвищення продуктивності цифрових систем [2-5]. Vivado Design Suite є основною платформою для розробки з використанням новітніх кристалів ПЛІС від AMD [6-9].

**Основна частина.** Vivado Design Suite надає користувачам широкий набір інструментів для розробки, що включають в себе:

1. Синтез HDL-кодів: Vivado підтримує опис апаратури на мовах VHDL та Verilog, дозволяючи синтезувати цифрові системи з високою продуктивністю. Завдяки оптимізованому алгоритму синтезу, досягається висока ефективність використання ресурсів FPGA.

2. Інструменти для симуляції: Vivado включає в себе потужний симулятор, що дозволяє розробникам тестувати та перевіряти поведінку проектів до їх впровадження на реальному обладнанні. Це дозволяє зменшити кількість помилок і вдосконалити проект на ранніх етапах розробки.

3. IP Integrator: Цей інструмент дозволяє швидко і легко інтегрувати готові IP-блоки в проект. Він забезпечує візуальне середовище для проектування, що спрощує процес з'єднання різних компонентів і систем.

4. Оптимізація ресурсів FPGA: Vivado дозволяє проектувальникам глибше аналізувати використання ресурсів FPGA, надаючи детальні звіти та рекомендації для оптимізації проектів. Завдяки цьому можна досягти більш раціонального розподілу логіки та пам'яті на FPGA.

5. Flow Navigator: Це головне меню інтерфейсу Vivado, яке допомагає легко переходити між різними етапами розробки – від синтезу до

розміщення та трасування. Flow Navigator є важливою частиною програмного забезпечення, що допомагає структурувати процес роботи.

6. Vivado HLS (High-Level Synthesis): Vivado підтримує високорівневий синтез, що дозволяє проектувати на таких мовах як C, C++, SystemC, тощо. Це суттєво полегшує процес розробки для програмістів, не знайомих з традиційними мовами опису апаратури, такими як VHDL або Verilog.

7. Підтримка платформи Versal: Vivado підтримує розробку для серії Versal, яка поєднує в собі можливості як FPGA, так і спеціалізованих обчислювальних блоків (ACAP – Adaptive Compute Acceleration Platform). Це робить його ключовим інструментом для роботи з найсучаснішими архітектурами.

Переваги використання Vivado Design Suite:

1. Оптимізована продуктивність: Завдяки глибокій інтеграції з апаратними платформами AMD, Vivado забезпечує швидший час компіляції та покращене розміщення логічних елементів на FPGA, що підвищує загальну продуктивність систем.

2. Швидкий процес налагодження: Інструменти для аналізу та верифікації, такі як Vivado Logic Analyzer, дозволяють відслідковувати поведінку FPGA в реальному часі, що значно спрощує процес налагодження.

3. Модульність та масштабованість: Завдяки можливостям інтеграції з різними IP-блоками, Vivado є дуже гнучким інструментом, який може адаптуватися до проектів різного масштабу – від простих контролерів до складних систем на кристалі (SoC).

4. Підтримка новітніх стандартів: Vivado постійно оновлюється для підтримки сучасних стандартів і протоколів, таких як PCIe, Ethernet, HDMI тощо.

Недоліки та виклики. Хоча Vivado Design Suite є потужним інструментом, у нього є кілька викликів. По-перше, цей пакет є досить вимогливим до апаратного забезпечення, і для ефективної роботи потребує сучасних комп'ютерів з великими обсягами оперативної пам'яті та процесорами з високою продуктивністю. По-друге, для новачків він може бути складним у вивченні через велику кількість функцій і можливостей. Навіть досвідченим розробникам може знадобитися певний час на освоєння всіх аспектів інструменту.

**Висновки.** Vivado Design Suite є важливим інструментом для проектування цифрових систем на FPGA і ASIC фірми AMD, який забезпечує користувачам широкі можливості для розробки, симуляції, аналізу та налагодження проектів. Завдяки своїм потужним інструментам, інтеграції з сучасними апаратними платформами та підтримці високорівневого синтезу, Vivado значно спрощує і прискорює процес розробки складних електронних систем. Проте, через свою складність,

освоєння цього пакета вимагає часу та ресурсів.

**Список використаних джерел.**

1. AMD Vivado™ Design Suite URL: <https://www.amd.com/en/products/software/adaptive-socs-and-fpgas/vivado.html> (дата звернення: 13.11.2024).
2. Проєктування спеціалізованих комп'ютерних систем на ПЛІС. Лабораторний практикум. [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. Спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; Я.М. Клятченко, О.В. Тарасенко-Клятченко, О.К. Тесленко. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 54 с.
3. Barkalov, A., Titarenko L., Kolopienczyk M., Mielcarek K., Bazydlo G., Logic Synthesis for FPGA-based Finite State Machines, New York, 2016, 280 p. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-38295-7>.
4. Ruiz-Rosero, J.; Ramirez-Gonzalez, G.; Khanna, R. Field Programmable Gate Array Applications—A Scientometric Review. *Computation* 2019, 7, 63. <https://doi.org/10.3390/computation7040063>.
5. M. Rawski, P. Tomaszewicz, G. Borowski, and T. Luba, “Logic synthesis method of digital circuits designed for implementation with embedded memory blocks on FPGAs,” *Design of Digital Systems and Devices; Lecture Notes in Electrical Engineering*, Vol. 79, Springer, Berlin–Heidelberg (2011), pp. 121–144. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-17545-9>.
6. O. Vorgul, I. Svyd, O. Zubkov. Neuron Networks Design in Matlab and Vivado. // III International Scientific and Practical Conference Theoretical and Applied Aspects of Device Development on Microcontrollers and FPGAs (MC&FPGA), Kharkiv, Ukraine, 2021, pp. 29-31, doi: 10.35598/mcfpga.2021.010.
7. I. Svyd, O. Maltsev, O. Zubkov, L. Saikivska. Matlab Use in Design of Digital Systems on the FPGA in CAD Xilinx VIVADO. // First International Scientific and Practical Conference «Theoretical and Applied Aspects of Device Development on Microcontrollers and FPGAs» MC&FPGA-2019. Kharkiv: 2019. P. 29-30. doi: 10.35598/mcfpga.2019.010.
8. O. Zubkov, I. Svyd, O. Maltsev, L. Saikivska. In-circuit Signal Analysis in the Development of Digital Devices in Vivado 2018. // First International Scientific and Practical Conference «Theoretical and Applied Aspects of Device Development on Microcontrollers and FPGAs» MC&FPGA-2019. Kharkiv: 2019. P. 12-13. doi: 10.35598/mcfpga.2019.003.
9. I. Svyd, O. Maltsev, L. Saikivska, O. Zubkov. Review of Seventh Series FPGA Xilinx. // First International Scientific and Practical Conference «Theoretical and Applied Aspects of Device Development on Microcontrollers and FPGAs» MC&FPGA-2019. Kharkiv: 2019. P. 25-26. doi: 10.35598/mcfpga.2019.008.

## СИНТЕЗ АЛГОРИТМУ КООРДИНАЦІЇ АВТОНОМНИХ БПЛА В ГРУПІ

к.т.н., доц. Свид І.В., викладач Ратич О.Ю.

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника;  
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба  
e-mail: svyd.iv@gmail.com

**Abstract.** The work synthesizes an algorithm for coordinating the work of a UAV group. This allows implementing the principle of coordinating control.

**Ключові слова:** синтез, алгоритм, координація, група, БПЛА.

**Вступ.** Широке застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) зумовлене їхнім широким функціоналом, що дозволив в умовах реального часу об'єднати автоматичну систему пілотування з одночасним отриманням та передачею значимої інформації за допомогою використання сучасного обладнання систем навігації, аерофото- та відеофіксації, відеомоніторингу, картографування, 3-D моделювання, аналізу шкідливих речовин в повітрі, інфрачервоного та тепловізійного обстеження місцевості, приміщень тощо. На сьогодні, існує багато актуальних задач щодо реалізації алгоритмів управління групою БПЛА для виконання цивільних і військових завдань [1, 2].

**Основна частина.** На систему координуючого управління групою БПЛА покладається завдання збору літальних апаратів в групі і подальше синхронне управління кожним з них для організації загального руху по заданій траєкторії, яка формується ведучим літальним апаратом, виходячи поставленої мети [3-6]. Реалізація такого управління вимагає формування командного рівня управління і організації вертикальної (ієрархічної) координації взаємодіючих між собою автономних підсистем управління БПЛА [7-10]. Враховуючи наведене, система координуючого управління групою БПЛА буде мати дворівневу ієрархічну структуру. Нижній рівень утворюють автономні бортові системи управління, призначені для стабілізації параметрів руху БПЛА по заданій траєкторії. Для управління координацією окремих підсистем щодо завдання, поставленого верхнім рівнем ієрархічної системи, в роботі було запропонована наступна умова існування: для координованих підсистем нижнього рівня щодо вирішуемого завдання в підсистемі верхнього рівня, необхідно і достатньо, щоб для кожної підсистеми нижнього рівня за задане число тактів рішення задачі самоврядування при заданому на довільному такті керуючого впливу від підсистеми верхнього рівня існували ті не локальні дії, що управляють, щоб узагальнені показники функціонування належали до заданої області. Тобто, завдання узгодженого управління групою БПЛА може бути інтерпретоване, як завдання забезпечення руху вектора узагальнених вихідних координат групи за бажаною траєкторією в

дискретному просторі станів. Зазначена траєкторія повинна відповідати заданим законам зміни бажаної траєкторії польоту, і в кожен дискретний момент подачі керуючих впливів може коригуватися в залежності від поточної обстановки.

При вирішенні задачі управління польотом БПЛА в групі, центральне місце займає вибір математичної моделі для опису просторового руху групи літальних апаратів. Оскільки рівняння динаміки є досить складна система нелінійних диференціальних рівнянь, яка включає кінематичні рівняння, рівняння сил, рівняння моментів, а також сукупність рівнянь зв'язків параметрів руху в різних системах координат. Використана в роботі модель відносного руху дозволяє декомпозиувати сукупність рівнянь динаміки групи літальних апаратів в набір моделей руху ведучого і введеного БПЛА.

**Висновки.** Запропонований підхід дозволяє спростити аналіз завдання управління групою БПЛА, спростити перехід до нової базової системи відліку при вимірюванні координат відносного руху, а також спростити технічну реалізацію обраної базової системи координат на борту БПЛА, що визначає простоту всієї системи управління. Це дозволяє реалізувати принцип координуючого управління, яке забезпечує переклад вектору змінних станів в заданій області за один такт управління.

#### **Список використаних джерел.**

1. Kyriyanov A. Y. Analysis of existing approaches to group control of autonomous unmanned aerial vehicle. *Connectivity*. 2023. Vol. 165, no. 5.
2. Визначення ймовірності станів доплерівського вимірювача шляхової швидкості та кута знесення літального апарату з використанням марковського випадкового процесу / П. Яблонський та ін. *Повітряна міць України*. 2024. Т. 1, № 6. С. 87–92.
3. В.М. Кичак, Ю.М. Воловик, А.Ю. Воловик. *Методи та пристрої обробки радіосигналів бортових авіаційних систем посадки: монографія*. Вінниця : ВНТУ, 2011.
4. Свид І.В., Обод І.І. *Завадостійкість радіолокаційних систем ідентифікації за ознакою «свій-чужий»: монографія*. Харків : Друкарня Мадрид, 2021. 254 с.
5. Свид І.В. *Обробка радіолокаційної інформації систем спостереження повітряного простору: монографія*. Дніпро: ЛІРА ЛТД, 2022. 224 с.
6. І.В. Свид, А.І. Обод. *Інформаційні технології обробки даних систем спостереження. Системи управління, навігації та зв'язку*. Полтава, Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка, 2016. Вип. 4 (40). С. 91-93.
7. Zhuravska I. M., Musiyenko M. P. The Synthesis of Routes of UAVS' Sub-Swarms Based on Hopfield Neural Network for Inspection of Territories. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2017. No. 3. P. 86–94.



8. І.І. Обод, І.В. Свид, О.С. Мальцев. Обробка даних радіолокаційних систем спостереження повітряного простору: навчальний посібник. Х.: Друкарня Мадрид, 2021.
9. Підходи до побудови інтелектуальної системи управління угрупованням різнорідних безпілотних літальних апаратів в антагоністичному середовищі / Д.О. Пархоменко та ін. Системи озброєння і військова техніка. 2023. № 1 (73). С. 106–111.
10. Свид І.В. Порівняльний аналіз якості виявлення повітряних об'єктів вторинними радіолокаційними системами. Радіотехніка: 2023. Вип. 213. - С. 78-87. doi: 10.30837/rt.2023.2.213.09.

## АНАЛІЗ ПРИНЦИПІВ УПРАВЛІННЯ РУХОМ ГРУПИ БПЛА

к.т.н., доц. Свид І.В., викладач Туленко М.В.

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника;  
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба  
e-mail: svyd.iv@gmail.com

**Abstract.** The paper analyzes the organization of control of a group of UAVs with variable time of connections between them. As a result of the study of collective control of a group of UAVs based on the dynamic equations of the chaotic Rössler oscillator, it was possible to force the entire ensemble to move in one or several groups.

**Ключові слова:** аналіз, рух, група, БПЛА, інформація, обробка.

**Вступ.** В останні роки управління автономними мобільними групами БПЛА привертає все більше уваги з боку вчених та інженерів [1, 2]. Також приділяючи увагу опізнанню, завадозахищеності, завадостійкості БПЛА [2-8]. Це пов'язано з тим, що підхід у вивченні статичних і динамічних структур за допомогою мережі мобільних агентів знаходить застосування в техніці, біології, медицині тощо. Дослідження механізмів самоорганізації і колективний рух груп в природі (наприклад, політ зграї птахів) дозволить спростити колективне управління кількома автономними об'єктами. У більшості випадків структури груп, що спостерігаються в житті, є випадковими і змінюється з плином часу. Тому все більше досліджень проводиться в області мереж зі змінною топологією [1, 2, 6].

**Основна частина.** У роботі проаналізовано організацію управління колективами мобільних агентів із змінним часом зв'язків між ними. Під мобільним агентом будемо розуміти матеріальну точку, що рухається в площині  $(x, y)$  таким чином, що її траєкторія збігається з проекцією траєкторії деякого закріпленого за даними агентом хаотичного осцилятора на площину  $(x, y)$ . Всі наведені результати легко апроксимуються на випадок руху в тривимірному просторі. У даній роботі в якості хаотичного осцилятора, розглядається осцилятор Ресслера:

$$\begin{cases} x_i = -w_i y_i - z_i = f_i(y, z, w), \\ y_i = w_i x_i + a y_i = g_i(x, y, w, a), i = \overline{1, N}, \\ z_i = b + z_i(x_i - c) = h_i(x, z, b, c) \end{cases} \quad (1.1)$$

де  $a, b, c, w$  – позитивні параметри. Розглянуто наступні значення параметрів:  $a = 22, b = 0,1, c = 8.5$ . Параметри  $w_i$  рівномірно розподілені на деякому відрізку. Організацію управління агентами в просторі можна розбити на два етапи: встановлення заданої конфігурації агентів, в даному випадку - послідовної і паралельної, і виведення їх на траєкторію руху. Для забезпечення заданої конфігурації структури ансамблю мобільних агентів скористаємося теорією хаотичної фазової синхронізації. Крім досягнення

синхронної поведінки агентів це дасть нам можливість задавати управління не для кожного агента окремо, а загальне для групи в цілому. Використання хаотичних осциляторів як визначальник руху агентів дозволяє не турбуватися про область синхронізації в площині  $(x, y)$ , тому що рано чи пізно всі агенти побувають в досить широкій області цієї площини. Топологія зв'язку буде вводиться по-різному, але її сила між агентами завжди буде задовольняти такій умові:

$$d = \begin{cases} \tilde{d}, \text{якщо } (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 < r^2, \\ 0, \text{інакше} \end{cases} \quad (1.2)$$

де  $\tilde{d} = \text{const}$ ,  $r$  визначає величину області  $G$ , в якій агенти взаємодіють. Введення подібної сили зв'язку відповідає тому припущенню, що топологія системи змінюється в часі, а саме, агенти починають діяти один на одного тільки тоді, коли вони наближаються на досить малу відстань. Залежно від тривалості налагодження зв'язків можна говорити про утворення однієї або декількох груп синхронізованих агентів, управляти якими можна окремо. Передбачається, що зв'язок  $\sim d$  достатній для досягнення фазової синхронізації. Реалізовано три завдання управління рухом: послідовний рух, паралельний рух, рух по заданій траєкторії.

**Висновки.** У роботі проаналізовано організацію управління групою БПЛА із змінним часом зв'язків між ними. В результаті дослідження колективного управління групою БПЛА на основі динамічних рівнянь хаотичного осцилятора Ресслера вдалося змусити весь ансамбль рухатися однією або декількома групами. Було показано, що додавання різних динамічних зв'язків як між агентами в ансамблі, так і з "зовнішнім" агентом дозволить отримати різні структури, що рухаються за різними траєкторіями. Такий підхід дозволяє адаптивно управляти БПЛА в залежності від зовнішніх умов.

#### Список використаних джерел.

1. Kyriyanov A. Y. Analysis of existing approaches to group control of autonomous unmanned aerial vehicle. *Connectivity*. 2023. Vol. 165, no. 5.
2. Журавська І. Гетерогенні комп'ютерні мережі критичного застосування на основі роїв та зграй БПЛА : монографія. Миколаїв : Вид-во ЧНУ, 2019. 192 с.
3. Свид І.В., Обод І.І. Завадостійкість радіолокаційних систем ідентифікації за ознакою «свій-чужий»: монографія. Харків : Друкарня Мадрид, 2021. 254 с.
4. Свид І.В. Обробка радіолокаційної інформації систем спостереження повітряного простору: монографія. Дніпро: ЛІРА ЛТД, 2022. 224 с.
5. Zhuravska I. M., Musiyenko M. P. The Synthesis of Routes of UAVS' Sub-Swarms Based on Hopfield Neural Network for Inspection of Territories. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2017. No. 3. P. 86–94.
6. І.І. Обод, І.В. Свид, О.С. Мальцев. Обробка даних радіолокаційних систем спостереження повітряного простору: навчальний посібник. Х.:

Друкарня Мадрид, 2021.

7. І.І. Обод, І.В. Свид, І.В. Рубан, Г.Е. Заволодько. Математичне моделювання інформаційних систем: навчальний посібник. Харків : Друкарня Мадрид, 2019. 270 с.
8. Підходи до побудови інтелектуальної системи управління угрупованням різнорідних безпілотних літальних апаратів в антагоністичному середовищі / Д.О. Пархоменко та ін. Системи озброєння і військова техніка. 2023. № 1 (73). С. 106–111.

## **АНАЛІЗ ПРИНЦИПІВ ПОБУДОВИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ БПЛА НА ОСНОВІ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ**

к.т.н., доц. Свид І.В., викладач Крамар О.А.

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника;  
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба  
e-mail: svyd.iv@gmail.com

**Abstract.** The conducted studies demonstrated the efficiency of the proposed approach to building an intelligent UAV control system based on a neural network in the presence of non-stationarity of the control object.

**Ключові слова:** аналіз, система, управління, штучний інтелект.

**Вступ.** З кожним днем технологічний прогрес призводить до ускладнення об'єктів управління в поєднанні з жорсткими вимогами до точності й якості управління. Це призвело до протиріччя з традиційними підходами до побудови систем управління [1-4]. Одним із шляхів вирішення зазначеної проблеми є використання інтелектуальних систем. Штучний інтелект (ШІ) став одним із головних векторів розвитку сучасного суспільства [5-7]. Зокрема, технології ШІ вже впроваджують в дрони, в тому числі й БПЛА. Інтеграція ШІ в БПЛА може надати наступні переваги: працювати автономно, зменшуючи потребу в постійному втручанні людини; обробляти та аналізувати дані в режимі реального часу; адаптуватися до мінливих умов і сценаріїв; виявляти та уникати перешкод, зменшуючи ризик зіткнень і аварій [8-11].

**Основна частина.** Одним із шляхів вирішення описаної проблеми є використання інтелектуальних самоорганізуючих систем з автоматичним управлінням. Найважливіший компонент цих систем управління є інтелектуальна система синтезу закону керування. Для вирішення поставленого завдання пропонується використання композиції концепції інтелектуальних самоорганізуючих систем з автоматичним управління (ІССАУ) і методами нейроуправління: синтез закону управління з використанням засобів ІССАУ; реалізація синтезованого закону управління за допомогою штучної нейронної мережі (ШНМ). Для завдань стеження додатково потрібна побудова регулятора прямого зв'язку. У зв'язку з тим, що процес самоорганізації є ітераційним, в схему включений стабілізуючий регулятор, параметри якого визначаються на основі апріорної інформації. Емулятор об'єкта управління виконує функцію ідентифікації моделі об'єкта управління і може бути реалізований різними засобами, включаючи і нейроемулятор. Реалізація синтезованого закону керування у вигляді штучної ШНМ (рис. 1) може здійснювати у такий спосіб: навчання ШНМ; автоматичне конструювання ШНМ.

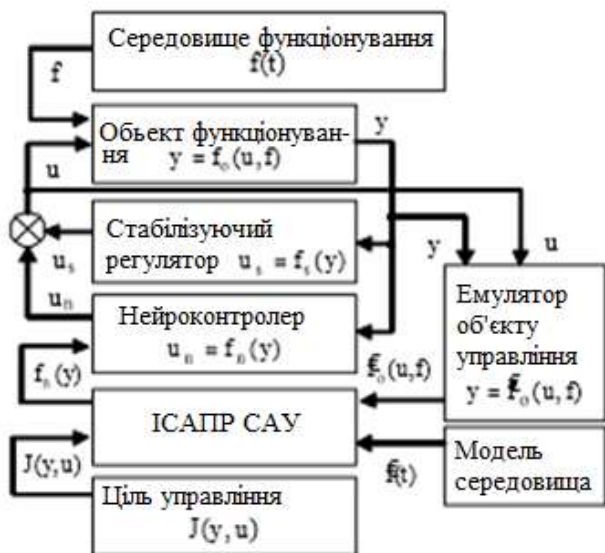


Рисунок 1 - Схема ІССАУ з нейроконтролером



Рисунок 2 - Схема нейроконтролера

Перший підхід пов'язаний з великими витратами часу на навчання нейронної мережі, і тому, в даному випадку, не може бути застосований. Процес налаштування параметрів нейроконтролера потребує певного часу. Тому пропонується схема нейроконтролера, представлена на рис. 2. До складу нейроконтролера входять дві ШНМ, що працюють по черзі, і блок налаштування. У кожен момент часу працює тільки одна ШНМ, що реалізує поточний закон управління. Блок налаштування ШНМ здійснює налаштування параметрів неактивної в даний момент часу ШНМ (1 або 2). Після закінчення налаштування параметрів ШНМ здійснюється перемикавання неактивної ШНМ і активної ШНМ.

Пропонований підхід передбачає розпаралелення процесів управління, ідентифікації (налаштування емулятора), синтезу закону керування і, налаштування нейроконтролера відповідно до параметрів нового закону управління. У зв'язку з цим пропонується узагальнена схема реалізації ІССАУ у вигляді сукупності обчислювача на процесорі і блоків, в яких реалізуються емулятор об'єкта управління і нейроконтролера.

**Висновки.** Проведені дослідження продемонстрували працездатність запропонованого підходу до побудови інтелектуальної система управління БПЛА на основі нейронної мережі в умовах наявності нестационарності об'єкта управління, коли стабілізуючий регулятор не забезпечує виконання заданих вимог.

### Список використаних джерел.

1. Журавська І. Гетерогенні комп'ютерні мережі критичного застосування на основі роїв та зграй БПЛА : монографія. Миколаїв : Вид-во ЧНУ, 2019. 192 с.
2. Свид І.В., Обод І.І. Завдостійкість радіолокаційних систем

- ідентифікації за ознакою «свій-чужий»: монографія. Харків : Друкарня Мадрид, 2021. 254 с.
3. Свид І.В. Обробка радіолокаційної інформації систем спостереження повітряного простору: монографія. Дніпро: ЛІРА ЛТД, 2022. 224 с.
  4. І.І. Обод, І.В. Свид, О.С. Мальцев. Обробка даних радіолокаційних систем спостереження повітряного простору: навчальний посібник. Х.: Друкарня Мадрид, 2021.
  5. І.І. Обод, І.В. Свид, І.В. Рубан, Г.Е. Заволодько. Математичне моделювання інформаційних систем: навчальний посібник. Харків : Друкарня Мадрид, 2019. 270 с.
  6. Підходи до побудови інтелектуальної системи управління угрупованням різнорідних безпілотних літальних апаратів в антагоністичному середовищі / Д.О. Пархоменко та ін. Системи озброєння і військова техніка. 2023. № 1 (73). С. 106–111.
  7. Zhuravska I. M., Musiyenko M. P. The Synthesis of Routes of UAVS' Sub-Swarms Based on Hopfield Neural Network for Inspection of Territories. Radio Electronics, Computer Science, Control. 2017. No. 3. P. 86–94.
  8. Безрук В.М., Свид І.В., Корсун І.В. Нейронні технології в телекомунікаціях та системах управління: навч. посібник с грифом МОН. Харків, СМІТ, 2008. 230 с.
  9. Шмельова Т.Ф. Визначення критеріїв ефективності групових польотів безпілотних літальних апаратів методами теорії графів / Т.Ф. Шмельова та ін. АВІА-2015 : XII міжнар. наук.-техн. конф., Київ, 27-28 травня 2015 р. : тези доповідей. Т. 2. К. : НАУ, 2015. С. 7.87-7.91.
  10. Kyriyanov A. Y. Analysis of existing approaches to group control of autonomous unmanned aerial vehicle. Connectivity. 2023. Vol. 165, no. 5. URL: <https://doi.org/10.31673/2412-9070.2023.053846>
  11. Проблема маршрутизації груп БПЛА в задачах пошуку і моніторингу / Л.Ф. Гуляницький та ін. Компьютерная математика. 2018. № 2. С. 38-47.

## **АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ОБРОБКИ ДАНИХ СИСТЕМАМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ**

к.т.н., доц. Свид І.В., викладач Туленко М.В., викладач Ратич О.Ю.

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника;  
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба  
e-mail: svyd.iv@gmail.com

**Abstract.** The work presents the structure and proposed integral indicator of the quality of consumer data processing, which allows optimization of the characteristics of data processing stages of the air surveillance system with wide application of IT.

**Ключові слова:** дані, повітряний простір, автоматизація, обробка.

**Вступ.** До контрольованого повітряного простору належить повітряний простір (ПП) обслуговування повітряного руху класів А, В, С, D та Е згідно з класифікацією Міжнародної організації цивільної авіації, у межах якого забезпечується обслуговування повітряного руху встановленого виду. Система контролю повітряного простору виконує інформаційно-контролюючі, інформаційно-аналітичні та інформаційно-керуючі функції. Ефективність такої системи визначається її результативністю щодо виконання кожної з цих функцій та певними загальносистемними показниками.

**Основна частина.** Структура обробки даних реалізується на базі сумісної системи, яка включає первинну, вторинну та ідентифікаційну системи спостереження (СС) при виконанні задач первинної обробки даних. Послідовність нулів і одиниць з виходу виявлювачів сигналу проходить часову дискретизацію і надходить далі на входи виявлювачів і вимірювачів координат ПО. Завдання виявлювача ПО полягає в тому, щоб на основі аналізу отриманої послідовності нулів і одиниць вирішити оптимальним чином, чи являє собою прийнята вибірка пачку сигналів або вона відноситься до завади. Таким чином, при формуванні сигналу про виявлення ПО з виходу вимірювача координат ПО кожного каналу сумісної СС видається оцінка вектору вимірювання координат  $\hat{\alpha}_i$ , що характеризується кореляційною матрицею похибок  $\bar{C}_p^{-1}$ . Проміжні результати обробки інформації передаються споживачу для реалізації мережевої обробки даних СС з поєднанням інформації на різних рівнях. Інформація, яка передається споживачам після первинної обробки, і у подальшому повинна містити час її отримання. Це суттєвим чином дозволяє спростити процедури поєднання даних за однойменними ПО.

Інтегральним показником якості обробки даних може бути ймовірність обробки даних, яка визначається ймовірністю показників, що входять до складу формуляру ПО. При порівнянні та поєднанні даних, що



потрібна для автоматичного складання формуляру ПО, критерієм є якість виміру координатної інформації (КІ), через імовірності цих дій, до яких належать: імовірність втрат правильної польотної інформації (ПІ); імовірність спотворення ПІ; імовірність об'єднання КІ і ПІ вторинної СС; імовірність порівняння КІ первинної та ідентифікаційної СС; імовірність об'єднання КІ і ПІ у сумісній СС.

Таким чином використання запропонованого інтегрального показника якості дозволяє об'єднати критерії ефективності обробки як сигналів, так і даних СС на основі порогу виявлення сигналів, тобто величина аналогового порогу може бути використана у якості параметру при сумісній оптимізації характеристик первинної, вторинної та третинної обробки даних.

**Висновки.** У роботі наведена структура та запропонований інтегральний показник якості обробки даних споживачів, що дозволяє проводити оптимізацію характеристик етапів обробки даних системи спостереження повітряного при широкому застосуванні ІТ.

#### **Список використаних джерел.**

1. Свид І.В., Обод І.І. Завадостійкість радіолокаційних систем ідентифікації за ознакою «свій-чужий»: монографія. Харків : Друкарня Мадрид, 2021. 254 с.
2. Свид І.В. Обробка радіолокаційної інформації систем спостереження повітряного простору: монографія. Дніпро: ЛІРА ЛТД, 2022. 224 с.
3. Методи та пристрої обробки радіосигналів бортових авіаційних систем посадки: монографія / В. М. Кичак, Ю. М. Воловик, А. Ю. Воловик. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 208 с.
4. І.В. Свид, А.І. Обод. Інформаційні технології обробки даних систем спостереження. Системи управління, навігації та зв'язку. Полтава, Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка, 2016. Вип. 4 (40). С. 91-93.
5. Z. Zhou, C. Zeng, H. Wang and G. Liao. Networked Radar System: A More Advanced Radar Detection Platform. 2023 3rd International Conference on Frontiers of Electronics, Information and Computation Technologies (ICFEICT), Yangzhou, China, 2023, pp. 506-512.
6. І.І. Обод, І.В. Свид, О.С. Мальцев. Обробка даних радіолокаційних систем спостереження повітряного простору: навчальний посібник. Харків: Друкарня Мадрид, 2021. – 255 с.
7. Q. Gu, H. Dong, D. Xu and Z. Chen. Benefit Analysis for ADS-B Surveillance System Based on China Airspace Capability Model. 2018 10th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC), Hangzhou, China, 2018, pp. 26-30.
8. Свид І.В., Ткач М.Г. Синтез і аналіз виявлювача трас повітряних об'єктів запитальної радіолокаційної системи. Радіотехніка: 2023. Вип.

212. - С. 175-185. doi: 10.30837/rt.2023.1.212.17.
9. Liu, W., Liu, J., Hao, C., Gao, Y., & Wang, Y.-L. (2022). Multichannel Adaptive Signal Detection: Basic Theory and Literature Review. *Science China Information Sciences*, 65(2). doi:10.1007/s11432-020-3211-8.
10. Свид І.В. Порівняльний аналіз якості виявлення повітряних об'єктів вторинними радіолокаційними системами. *Радіотехніка: 2023. Вип. 213.* - С. 78-87. doi: 10.30837/rt.2023.2.213.09.

## ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТАЦІОНАРНИХ ТА НЕСТАЦІОНАРНИХ ПРОЦЕСІВ НА ОСНОВІ АВТОРЕГРЕСІЇ

проф., д.т.н. Тихонов В.А., аспірант Карташов О.В., аспірант Бобнев Р.О.,  
аспірант Каспарьянц А.В., проф., д.т.н. Сергієнко О.Ю.,  
аспірант Печенов М.А., проф., к.т.н. Колендовська М.М.

Харківський національний університет радіоелектроніки,  
кафедра Медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем  
м. Харків, проспект Науки 14, d\_res@nure.ua, тел. +380504012027

**Abstract.** The paper investigates the generation of random processes. For stationary processes, the input data is the spectral parameters. Simulated non-stationary processes were generated according to the decomposition model. The components of the decomposition model were a linear trend, a seasonal component, and a stationary component. First and second order autoregressive models were used to generate simulated stationary processes. The paper also addresses the generation of non-stationary random processes with a quadratic trend.

**Ключові слова:** випадковий процес, стаціонарний процес, Імітаційні методи, декомпозиція, імітаційне моделювання.

**Вступ.** В останні роки досить різко змінилося ставлення до інформаційних здобутків людської діяльності. З розвитком методів класичної науки, штучного інтелекту, елементної бази, електронної техніки, все більшого значення набувають зберігання та обробка даних.

Обробка послідовностей подій, вилучення інформації з тимчасових рядів викликає особливий інтерес [1]. Дослідників цікавить практична корисність, обсяг, накопичення та зміна у часі даних. Нижче розглядаються часові ряди, які моделюються автокорельованими випадковими стаціонарними та нестаціонарними процесами [2].

Відліки часового ряду пов'язані статистично. Цілями досліджень часових рядів є вирішення різноманітних завдань математичної статистики. Для випадкових процесів можна проводити вимірювання характеристик тимчасового ряду, вирішувати завдання виявлення фізичних явищ, проводити прогноз на підставі історичних даних, керувати процесом, досліджувати спектри та інші характеристики процесу. Можна спробувати з'ясувати механізм, що лежить в основі процесу, усунути деякі складові нестаціонарного процесу, вирішувати завдання декомпозиції випадкового процесу. Синтез моделі нестаціонарного процесу є основним завданням вирішуваної у цій роботі.

Основна частина. Прикладом реального нестаціонарного процесу може бути трафік передачі даних у стільниковому зв'язку, графік якого представлений на рис. 1. Як очевидно з графіка, трафік згодом зростає т.к. має тренд. Залежно від ділянки спостереження можна бачити як лінійний [1,2], так і нелінійний тренд. Швидкість його зростання різна.

На тлі тренду спостерігаються сезонні коливання трафіку. Період сезонних коливань становить у середньому тиждень. Протягом тижня трафік то зростає, то зменшується. Проте складно сказати, що така періодичність сезонного процесу є стійкою і завжди справедливою. Це позначається точності прогнозу процесу.

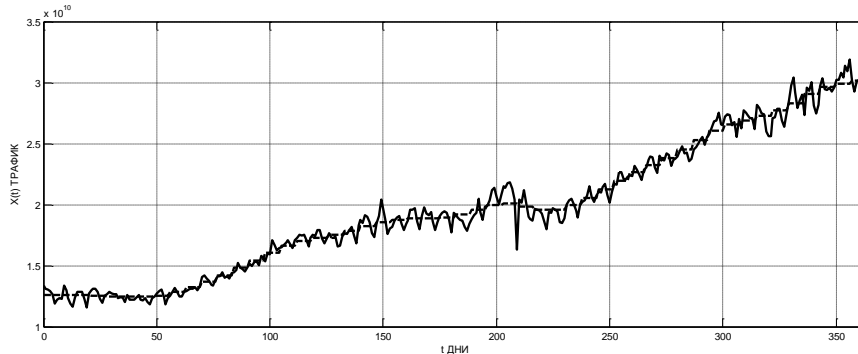


Рис. 1. Трафік передачі даних у стільниковому зв'язку та оцінка його тренду

Проаналізуємо генерацію нестационарних моделей випадкового процесу. Ця модель більше відома як декомпозиція нестационарного процесу на складові. Нестационарна модель реальних процесів сприймається як подання у вигляді адитивної суми [1]

$$\omega_1[t] = m[t] + c[t] + y[t], \quad (1)$$

де  $m[t]$  – тренд нестационарного процесу,  $c[t]$  – сезонна складова,  $y[t]$  – корельована стаціонарна складова.

Наведений приклад (рис. 1) показує, що ці процеси мають тренд, сезонна складова, і навіть стаціонарний процес. Залежно від виду нестационарного процесу роль стаціонарної складової може сильно змінюватися. Тобто, у разі нестационарного процесу, поряд зі стаціонарною частиною, важливого значення набувають сезонна складова та тренд.

Приклад моделі лінійного тренду, швидкість зміни якого стала, представлений на рис. 2.

Сезонна складова нестационарного процесу характеризує циклічні процеси. Чим точніше у них повторюється період і чим ближче у них миттєві значення через період, тим ближчі вони до детермінованих процесів. Такі складові нестационарних процесів краще описуються існуючими методами нестационарних процесів, наприклад різницевиими операторами. Залежно від властивостей тренду та сезонної складової вони можуть бути не повністю описані різницевиими операторами.

На рис. 3 представлена сезонна складова у вигляді дискретної синусоїди, що має період 7 відліків. При імітації стаціонарний процес у вигляді моделі AP може впливати на період сезонної складової.

Не враховані різницевиими операторами, залишки тренду та сезонної складової можна уявити стаціонарним процесом. Крім цього, вважається, що інший стаціонарний процес спочатку присутній у моделі декомпозиції,

як одна із складових нестационарного процесу. Тому стаціонарний процес у моделі декомпозиції, включає всі ці стаціонарні складові.

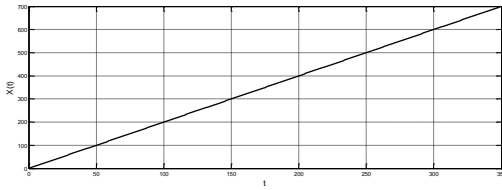


Рис.2. Лінійний тренд імітаційного процесу

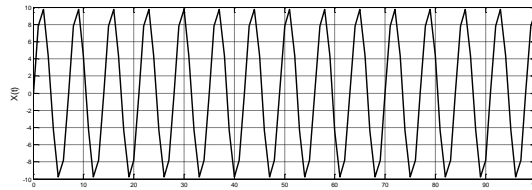


Рис. 3. Ділянка сезонної складової процесу з періодом 7 відліків

У загальному випадку, стаціонарні складові можуть мати вузькосмугову та широкосмугову частини. У такому разі вони описуються змішаною моделлю авторегресії – ковзного середнього (АРСС). Однак обчислення параметрів цієї моделі є досить не простою річю. Тому, якщо стаціонарний процес вузькосмуговий, він моделюється процесом авторегресії (АР). Якщо він широкосмуговий, то для його опису застосовується модель ковзного середнього (СС). У разі можна використовувати наближені рішення, що базуються на моделі АР високого порядку [1].

Розглянемо спосіб отримання нестационарного процесу із квадратичним трендом. Зробимо це на основі моделі авторегресії - проінтегрованого ковзного середнього (ARIMA). В операторній формі, що формує стаціонарний імітаційний процес АР, являє собою рекурсивний фільтр. БШ використовується як породжувальний процес. В операторній формі формуючий фільтр стаціонарного процесу АР має вигляд

$$x[t] = \frac{a[t]}{\Phi(z)}$$

Модель ARIMA [16] нестационарного процесу подається у вигляді мультиплікативного процесу  $\omega[t]$  з трендом та сезонною складовою

$$x[t] = \nabla^d \nabla_s \omega[t] = (1 - z)^d (1 - z^s) \omega[t]. \quad (2)$$

Оператори взяття різниці, що входять (10), враховують тренд і сезонну складову шляхом їх віднімання. Для видалення сезонної складової застосовується оператор  $\nabla_s = 1 - z^s$ , де  $z^s$  – оператор зсуву через період, дія якого визначається виразом  $z^s x[t] = x[t - s]$ . Процес видалення сезонної складової за допомогою оператора зсуву є виразом

$$x[t] = \nabla_s \omega_1[t] = (1 - z^s) \omega_1[t].$$

Нехай стаціонарна складова описується моделлю АР(2) другого порядку. Нестационарна модель з лінійним трендом та без сезонної складової  $\omega_1[t]$  представляється у вигляді

$$(1 - \Phi[1]z^{-1} - \Phi[2]z^{-2})(1 - z^{-1})\omega_1[t] = a[t],$$

де  $(1 - z^{-1})$  - оператор взяття різниці, що усуває лінійний тренд.

Модульований імітаційний нестационарний процес може мати детермінований квадратичний тренд. Для моделі нестационарного процесу

проінтегрованої авторегресії другого порядку з квадратичним трендом маємо

$$(1 - \Phi[1]z^{-1} - \Phi[2]z^{-2})(1 - z^{-1})^2 \omega_1[t] = a[t].$$

На рис. 13 наведено приклад такого процесу. Як сезонний і стаціонарний процес використовувалися імітаційні моделі. Завданням побудови моделі АРІМА є знаходження способу видалення з вихідних даних тренду та сезонної складової за допомогою відповідних операторів взяття різниці.

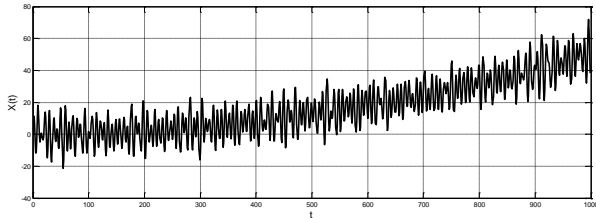


Рис. 13. Нестационарний імітаційний процес з квадратичним трендом, сезонною складовою та зі стаціонарною складовою, що описується моделлю АР(2)

Зауважимо, що шляхом взяття різниці тренд можна видалити тільки в тому випадку, коли перша або друга дискретна похідна від нього дорівнює нулю. Після цього виконується побудова моделі лінійного передбачення стаціонарного залишку. Для реальних процесів використовується модель АРСС.

**Висновки.** У роботі вирішено деякі завдання, що виникають при генерації імітаційних нестационарних моделей. Ці процеси можуть бути представлені у вигляді декомпозиції. При генерації нестационарних процесів дані містили трендову, сезонну і стаціонарну складові. Як стаціонарні складові використовувалися моделі АР першого і другого порядків. Розглянуто питання, пов'язані із генерацією стаціонарних процесів АР.

Для генерації нестационарного процесу зазвичай використовувався лінійний тренд та сезонна складова у вигляді дискретної синусоїди з періодом 7 відліків. У роботі наведено приклад отримання нестационарного процесу з квадратичним трендом.

З декомпозицією нестационарного процесу тісно пов'язана нестационарна модель АРІМА. У моделі АРІМА використовуються оператори взяття різниці, які враховують у такий спосіб складові нестационарного процесу.

#### Список використаних джерел

1. Natalija V. Chmelarova (Kudriavtseva), Vyacheslav A. Tykhonov, Valerij M. Bezruk, Pavel Chmelar, Lubos Rejfeck, "Speaker Verification Using Autoregressive Spectrum of Speech Signal in Composite Vector Stochastic Processes Model Representation". Journal of Mechanics of Continua and Mathematical Sciences (Jmcms) Sp. Issue 4 November 2019. <https://doi.org/10.26782/jmcms.spl.4/2019.11.00018>
2. Brockwell P.J., Davis R.A. Introduction to Time Series and Forecasting. – Springer, 2002. – P. 434.

---

---

## **КЕРУВАННЯ РУХОМ МАНІПУЛЯТОРА АНГУЛЯРНОГО ТИПУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ВІЗУАЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ**

професор, к.т.н., Новоселов С.П., доцент, к.т.н., Сичова О.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки,  
кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматики і  
робототехніки

e-mail: sergiy.novoselov@nure.ua, oksana.sychova@nure.ua

**Abstract.** This work proposes a software tool for visualizing the movement of the links of an angular-type manipulator using visual components. The method of calculating the position of the manipulator links, embedded in the program, allows you to determine the coordinates of the joints. In this case, no additional libraries are used, and the calculation of the nodal points of the manipulator is carried out using the selected programming language in real time.

**Ключові слова:** мікроконтролер, маніпулятор, кроковий двигун, програмне забезпечення, керування, протокол

### **Вступ.**

Програмні системи керування рухом маніпулятора призначені для створення програм управління переміщенням ланок маніпуляторів, дистанційного керування пристроєм та візуалізації поточного стану рухомих механізмів. Основна задача програмного засобу це полегшення процесу створення керуючих програм та збільшення продуктивності за рахунок візуалізації руху механічних рухомих частин маніпулятора.

Під час створення програм управління враховуються характеристики конкретного типу маніпулятора для якого вони створюються. Три базові функції перетворень даних спрямовані на вирішення трьох стандартних конфігураційних задач кінематики маніпулятора із захистом їх рішень від небезпечних рухів маніпулятора:

- перетворення кутової конфігурації ланок маніпулятора в декартові координати обраної точки на вісі захоплювача;
- перетворення цільових координат маніпулятора з цільовими параметрами захоплювача в кутову конфігурацію ланок маніпулятора в цільовій точці;
- лінійна інтерполяція руху в декартових координатах вектора цілі за заданими значеннями кутових конфігурацій у поточній та цільовій точках запланованого руху захоплювача маніпулятора.

Метою роботи є створення програмного інструменту для керування рухом та симуляції роботи маніпуляторами ангулярного типу із застосуванням візуальних компонентів.

### **Основна частина.**

В якості об'єкта керування виступає навчальний макет робота маніпулятора. Маніпулятор містить два рухомих суглоби і може

обертатись навколо вертикальної вісі. Також маніпулятор має захоплювач для переміщення деталей в межах його робочої зони.

В основі конструкції є три крокові двигуни. Кожний кроковий двигун реалізує певну ступінь вільності. Керуються двигуни модулем управління, побудованим на основі контролера Arduino Mega.

Маніпулятор має кінцеві датчики по одному на кожен ступінь вільності. На початку роботи виконується початкова ініціалізація системи керування. При цьому виконується тестовий запуск кожного крокового двигуна і відстежується спрацювання відповідного кінцевого датчика. Якщо всі датчики спрацювали, то пристрій переходить в режим очікування команд від користувача. На рис. 1 подана кінематична схема маніпулятора.

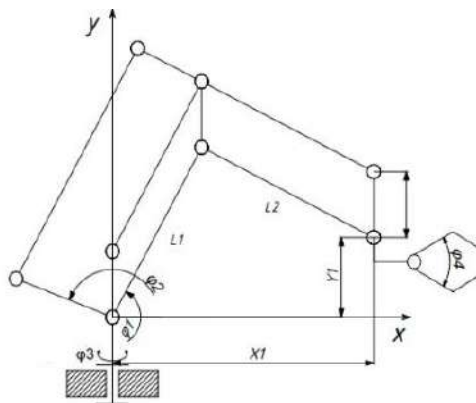


Рисунок 1 – Кінематична схема маніпулятора

Маніпулятор має дві основні ланки  $L1$  та  $L2$ , а також дві кінематичні пари обертового типу, що працюють в одній площині. Поворотом на кути  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$  здійснюється переміщення кінематичних пар. За рахунок обертання маніпулятора на кут  $\varphi_3$  відносно осі  $Y$  виконується переміщення у тривимірному просторі. Перша ланка  $L1$  закріплена на основі і обертається на кут  $\varphi_1$ , а друга ланка  $L2$  кріпиться на кінці першої і обертається відносно неї на кут  $\varphi_2$ . Робочий орган маніпулятора знаходиться на кінці другої ланки. Завдяки такій конструкції можна розмістити важкі модулі сервоприводів у нижній частині маніпулятора. Це дозволить зменшити вагу самого механізму і за рахунок цього збільшити вагу об'єктів, які можуть бути переміщені.

Структурна схема розробленого програмного засобу, подана на рис. 2. Основними модулями програми є: головний модуль `main`, модуль виконання програм, модуль передавання команд, модуль роботи з базою даних, модуль візуалізації. Також в програмі задіяно шість таймерів, що дозволяють реалізувати незалежні потоки керування ходом програми.

Модуль виконання програм організує роботу з інструкціями, що зберігаються в базі даних. Модуль візуалізації використовується в режимі емуляції роботи програми для візуального контролю положення ланок маніпулятора для полегшення налагодження керуючої програми.





Два зазначені види дають змогу оцінити рух маніпулятора не використовуючи ізометричний вигляд системи координат. Складність рішення задачі полягає в тому, що маніпулятор може обертатись навколо вертикальної вісі, тому вигляд збоку буде уявляти собою трансформований вид в вертикальній площині зору.

**Висновки.** В даній роботі пропонується програмний інструмент для візуалізації руху ланок маніпулятора ангулярного типу із застосуванням візуальних компонентів. Маніпулятор має два рухомих суглоби та захоплювач для переміщення деталей в межах його робочої зони. Метод розрахунку положення ланок маніпулятора, закладений в програмі, дозволяє визначати координати суглобів, при цьому не використовуються додаткові бібліотеки, а розрахунок вузлових точок маніпулятора проводиться засобами обраної мови програмування в реальному часі, з використанням закону інверсної кінематики.

#### **Список використаних джерел.**

1. S. Nair, A. Rajeswaran, V. Kumar, Ch. Finn, A. Gupta, "R3M: A Universal Visual Representation for Robot Manipulation", arXiv:2203.12601v2 [cs.RO], 18 Apr. 2022.
2. S. Novoselov and O. Sychova, "Using Wireless Technology for Managing Distributed Industrial Automation Objects within the Concept of Industry 4.0," 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), 2019, pp. 580-584, doi: 10.1109/PICST47496.2019.9061333.
3. S. Novoselov, O. Sychova and S. Tesliuk, "Development of the Method Local Navigation of Mobile Robot a Based on the Tags with QR Code and Wireless Sensor Network," 2019 IEEE XVth International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH), Polyana, Ukraine, 2019, pp. 46-51.
4. Ostanin, Mikhail & Mikhel, Stanislav & Evlampiev, Alexey & Skvortsova, Valeria & Klimchik, Alexandr. (2020). Human-robot interaction for robotic manipulator programming in Mixed Reality. 2805-2811.
5. K. Inoue, Y. Nishihama, T. Arai and Y. Mae, "Mobile manipulation of humanoid robots-body and leg control for dual arm manipulation," Proceedings 2002 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No.02CH37292), 2002, pp. 2259-2264 vol.3, doi: 10.1109/ROBOT.2002.1013568.
6. I. Nevliudov, S. Novoselov, O. Sychova, "Motion Control of the Angular Type Educational Manipulator Using Visual Components," International Conference "Challenges and Reality of the IT-space: Software Engineering and Cybersecurity" (SECS-2022) (online) 25-26 October, 2022. Kyiv (Ukraine), pp. 72-86.

---

---

## АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОННО-ПРОГРАМНИХ ПЛАТФОРМ МОБІЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ СТАНУ ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ

аспірант Малярчук Р.Д., к.т.н., доцент Свид І.В.

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки,  
e-mail: roman.maliarchuk.24@pnu.edu.ua, iryna.svyd@pnu.edu.ua

**Abstract.** Today, telemedicine technologies are developing rapidly due to the rapid progress of information and communication technologies and the direct growth in such services due to globalized changes in society. The market for telemedicine electronic software platforms is actively developing, but has not yet reached universal solutions that can meet the needs of most consumers. There are large gaps in the quality-price direction regarding electronic software platforms. It is also necessary to pay great attention to cyber protection of sensitive data on human health in electronic software platforms.

**Ключові слова:** аналіз, моніторинг, платформа, стан здоров'я.

**Вступ.** Актуальність дослідження електронно-програмної платформи для мобільного моніторингу стану здоров'я людини обумовлена тим, що перебування під наглядом сімейного та спеціальних лікарів, дозволяє не лише зменшити навантаження на існуючі заклади лікування/реабілітації, а й зменшити пагубний вплив людського фактору на пацієнта й запобігти втраті даних, виникненню непередбачуваних ситуацій, що несуть за собою негативний вплив на базу даних стану пацієнта [1-3].

**Основна частина.** Невпинний розвиток сучасних інформаційних технологій докорінно змінив якість життя кожної людини, а пандемія COVID-19 у 2019 - 2020 роках суттєво вплинула на наше ставлення до комунікацій та сервісних послуг на відстані, зокрема і до медичних. Введення карантинних заходів та самоізоляції в Україні та світі змусили задуматися про розширення можливостей «дистанційної взаємодії пацієнтів та медичних працівників» і таким чином дали якісно новий поштовх до розвитку телемедицини та телездоров'я, які слугують ефективним інструментом для забезпечення доступу до медичної допомоги, відновлення здоров'я, реабілітації, профілактики, професійної комунікації, науки та освіти. Повномасштабне вторгнення росії в Україну в лютому 2022 року поставило перед сферою охорони здоров'я країни безпрецедентні виклики. Значне руйнування медичної інфраструктури та закладів охорони здоров'я через бойові дії критично обмежило доступ населення до медичних послуг. Масове переміщення населення, в тому числі медичних працівників, значно ускладнює процес надання і отримання медичної допомоги через географічні та логістичні перешкоди.

Електронно-програмна платформа для стану здоров'я людини – це апаратно-програмне забезпечення моніторингу стану здоров'я людини із

використанням інфокомунікаційної складової та баз даних. Електронно-програмна платформа є складовою комплексу телемедичних методів, які в комплексній взаємодії забезпечують надання медичної та/або реабілітаційної допомоги із застосуванням телемедицини [4, 5].

Загалом у світі розвиваються три напрями телемедицини [1]:

- телемедичний напрям - надання медичної або реабілітаційної допомоги (при телемедичному консультуванні), необхідні лише засоби зв'язку для комунікації;

- напрям дистанційного вимірювання - обробка та передача показників здоров'я пацієнта, а також їх інтерпретації з використанням телеметрії, в основі якої лежить Інтернет медичних речей – це сучасний напрям розвитку цифрових технологій, який дозволяє різним пристроям передавати в мережу дані, що можуть оброблятися іншими пристроями або в інших системах. Прикладом може слугувати досить розповсюджений під час пандемії метод – віддалений моніторинг, коли необхідне обладнання знаходиться вдома у пацієнта і такі показники як температура, сатурація киснем крові чи рівень цукру в крові передаються лікарю дистанційно;

- телерадіологічний напрям - охоплює сферу роботи з медичними зображеннями, як от рентгенологічні методи діагностики, комп'ютерну томографію, магнітно-резонансну томографію, ультразвукові методи діагностики тощо, передаючи такі діагностичні зображення в дистанційний спосіб і даючи спеціалісту змогу інтерпретувати їх через різні засоби комунікації.

На сьогодні в Україні часто використовуються телемедичний напрям при консультації щодо: призначення ліків, лікуванні симптомів втоми та проведенні загальних консультацій тощо. Також часто застосовуються елементи телерадіографічного напрямку через різноманітні мобільні застосунки, які дозволяють лікарю аналізувати результати лабораторних досліджень, життєвих показників, рентгенівських знімків, сканувань тощо. Напрямок дистанційного вимірювання також набуває стрімкого поширення, приміром сімейним лікарем, передбачається наявність портативного телемедичного діагностичного комплексу в пацієнта – системи, що забезпечує діагностику функцій та періодичний нагляд за пацієнтом у процесі лікування або реабілітації, та призначений для збору, передачі та зберігання інформації про фізіологічні параметри організму пацієнта. Сюди входять такі засоби як цифровий кардіограф, спірограф, пульсоксиметр, тонометр, термометр, глюкометр, цифровий стетоскоп тощо, а також планшет або ноутбук для збору інформації та організації телеконсультування, обладнання для відеозв'язку. Функціональність таких систем можна розширити, додаючи до них апаратно-програмні засоби, що дозволяють досліджувати отримані показники здоров'я людини. Дистанційно зібрані дані завантажуються в хмарне сховище, з якого передаються у телемедичну мережу для зберігання та подальшого

використання.

Основним аспектом розвитку телемедицини в світі є процеси глобальної цифрової трансформації. Телемедичні технології сьогодні активно інтегруються у сферу охорони здоров'я, надаючи змогу підвищити доступність медицини, спростити роботу лікарям, покращити якість і швидкість надання лікарських консультацій [1].

Розробка і впровадження якісних, доступних, надійних електронно-програмних платформ – є основою розвитку телемедицини.

**Висновки.** Сьогодні телемедичні технології стрімко розвиваються завдяки швидкому прогресу інформаційно-комунікаційних технологій та безпосередньому зросту на такі послуги через глобалізовані зміни у суспільстві. Ринок телемедичних електронно-програмних платформ активно розвивається, але ще не досяг універсальних рішень, які можуть задовольнити потреби більшості споживачів. Є великі прогалини у напрямку якість-ціна щодо електронно-програмних платформ. Також необхідно в електронно-програмних платформах приділяти велику увагу до кіберзахисту чутливих даних про стан здоров'я людини.

#### **Список використаних джерел.**

1. Сучасний стан розвитку телездоров'я та телемедицини в світі. МОЗ України. URL: <https://moz.gov.ua/uk/suchasnij-stan-rozvitku-telezdorov-ya-ta-telemedicini-v-sviti> (дата звернення: 14.11.2024).
2. Закон України “Основи законодавства України про охорону здоров'я”.
3. Розпорядження КМУ від 14 липня 2023 р. № 625 “Про схвалення Стратегії розбудови телемедицини в Україні”.
4. В.С. Чумак, О.Г. Аврунін, Є.А. Чугуй, І.В. Свид. Аналіз принципів побудови телемедичних комплексів широкого призначення. // Автоматизовані системи та прилади автоматики : Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2021. Вип. 177. С. 80-85. doi: <https://doi.org/10.30837/0135-7110.2021.177.080>.
5. V. Semenets, V. Chumak, I. Svyd, O. Zubkov, O. Vorgul, N. Boiko. Features of the Design of a Telemedicine Complex of a Wide Profile Based on FPGA. // III International Scientific and Practical Conference Theoretical and Applied Aspects of Device Development on Microcontrollers and FPGAs (MC&FPGA), Kharkiv, Ukraine, 2021, pp. 41-42, doi: 10.35598/mcfpga.2021.014.

## **АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОННО-ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ ДІАГНОСТИКИ ДВИГУНІВ ТИПУ COMMON RAIL**

аспірант Єненко В.В., к.т.н., доцент Свид І.В.

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки,  
e-mail: valerii.yenenko.24@pnu.edu.ua, iryna.svyd@pnu.edu.ua

**Abstract.** With the introduction of the Common Rail system, the diesel engine has significantly improved its performance - fuel consumption, engine noise and exhaust gas toxicity have decreased. The main advantage of this system is a wide range of adjustment of fuel pressure and injection start time, which are achieved by separating the pressure creation and injection processes. The study showed that despite the advantages, there are a number of issues that need improvement.

**Ключові слова:** аналіз, моніторинг, діагностика, платформа, електронно-програмних система, дизельний двигун, common rail.

**Вступ.** Актуальність дослідження методів та засобів діагностики дизельних двигунів типу Common Rail зростає через кілька ключових факторів, які пов'язані з розвитком технологій, екологічними вимогами та економічними чинниками. Дизельні двигуни з системою Common Rail є одними з найбільш поширених у сучасних автомобілях і комерційному транспорті завдяки їхній високій потужності, ефективності та економічності. Однак ці двигуни також мають ряд специфічних особливостей, що потребують точного моніторингу та діагностики [1].

**Основна частина.** Common Rail є сучасною системою впорскування палива дизельних двигунів. Відмінність його від традиційних дизелів з низьким тиском подачі палива, в наявності рампи, куди під великим тиском (понад 1000 бар) подається дизельне паливо, яке далі розподіляється між електричними форсунками з соленоїдними клапанами. Третє покоління систем Common Rail відрізняється застосуванням п'єзоелектричних інжекторів для збільшення точності впорскування, кількісне збільшення фаз впорскування, а також підвищення тиску подачі палива в рампу (до 1800 бар). Масове поширення система common rail набула в середині 1990-х років, коли німецька компанія Bosch налагодила виробництво оптимальних за співвідношенням характеристик та вартості електронних форсунок та інших компонентів для дизельних двигунів.

При розробці даної системи було взято за основу систему, із безпосереднім впорскуванням палива у циліндри двигуна. Одним з основних елементів системи є магістральний паливний насос високого тиску (ПНВТ), який нагнітає паливо в паливний акумулятор. ПНВТ сучасних двигунів з системою Common Rail створюють тиск в рампі понад 180-200 МПа(1800-2000 бар).

Електронна система керування складається з таких компонентів: електронний блок керування; паливний насос низького тиску; датчик положення (швидкості обертання) колінчастого валу; датчик положення розподільного валу; датчик положення педалі акселератора; датчик масової витрати повітря; датчик температури повітря; датчик температури палива в рампі; датчик температури охолоджуваної рідини; датчик тиску наддуву; датчик тиску палива; паливні форсунки; клапан-регулятор тиску палива; коло керування свічками розжарення. Сучасні технології все більше інтегрують телеметричні та інтелектуальні системи моніторингу для збирання та обробки даних про стан двигуна в реальному часі [1, 2].

Дизельні двигуни з системою Common Rail мають складні електронні системи управління, які здійснюють моніторинг та регулювання роботи двигуна. Це включає роботу з датчиками тиску, температури, позиції педалі акселератора та інші. Діагностика таких двигунів потребує спеціальних сканерів та комп'ютерних систем для виявлення помилок та аналізу параметрів роботи, що робить дослідження в цій області особливо важливим.

**Висновки.** Із початком застосування системи Common Rail дизельний двигун суттєво покращив свої характеристики – зменшилися витрата палива, рівень шуму двигуна і токсичність відпрацьованих газів. Головною перевагою даної системи є широкий діапазон регулювання тиску палива і моменту початку впорскування, які досягаються завдяки розділенню процесів створення тиску і впорскування. Проведене дослідження показало, що не зважаючи на переваги, існує ряд питань, які потребують удосконалення: система Common Rail дуже вимоглива до якості пального, поганий дизель шкодить форсункам і насосу Common Rail; будь-яка несправність в контурі високого тиску призводить до виходу з експлуатації всієї паливної системи; двигуни із системою Common Rail вимогливі до обладнання для обслуговування/ремонту та кваліфікації спеціалістів сервісу. Проведений аналіз показує актуальність завдання щодо розробка і удосконалення електронно-апаратних систем діагностики двигунів типу Common Rail.

#### **Список використаних джерел.**

1. Система Common Rail. Дизель-сервіс. <https://diesel-service.volyn.ua/menyu/%D1%96nformacz%D1%96ya/dyzelnyi-dvyhun/common-rail.html> (дата звернення: 15.11.2024).
2. Програмування мікроконтролерів STM32 в середовищі STM32CubeIDE в прикладах і задачах: Навч. посіб. / О. В. Зубков, І. В. Свид, О. В. Воргуль, В. В. Семенець. Дніпро : ЛІРА ЛТД, 2022. 144 с.

## **ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ДЛЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ В ТЕРМОЕЛЕКТРИЦІ**

д.т.н., с.н.с Дзундза Б.С., аспірант Домбровський С.В.

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника

e-mail: stanislav.dombrovskyi.22@pnu.edu.ua

**Abstract.** Розглянуто особливості проектування автоматизованих систем для дослідження термоелектричних властивостей напівпровідникових плівок. Розроблено апаратно-програмні засоби, що дають можливість неруйнівними методами отримати всі необхідні параметри досліджуваного зразка, такі як, питому електропровідність, коефіцієнт Зеебека, концентрацію та рухливість носіїв струму, термоелектричну добротність та теплопровідність.

**Ключові слова:** автоматизація, проектування; термоелектричні властивості; вимірювання.

### **Вступ.**

Дослідження термоелектричних властивостей напівпровідників є досить трудомістким процесом, що викликає науковий інтерес щодо автоматизації як самого процесу дослідження так і подальшої обробки експериментальних результатів. Найчастіше, для дослідження термоелектричних властивостей використовують прямі методи вимірювань, які потребують точного підтримування і вимірювання невеликого градієнту температури, що вносить значну похибку у оцінку термоелектричних параметрів, зокрема добротності [1]. Враховуючи можливості сучасної елементної бази, зокрема 32 розрядних мікроконтролерів, перспективним є реалізація комплексного підходу досліджень в термоелектриці, зокрема, поєднання прямих методів дослідження з сучасними непрямими методами на основі модифікованого методу Хармана та імпедансної спектроскопії.

**Основна частина.** Дослідження термоелектричних властивостей напівпровідникових плівок потребує застосування великої кількості методів, але їх можна розділити на групи: методи дослідження гальвано-магнітних властивостей, прямі методи вимірювання коефіцієнта Зеебека та теплопровідності, непрямі методи експрес дослідження термоелектричних елементів, методи імпедансної спектроскопії. Керуючись принципами модульної структуризації реалізацію цих груп методів у автоматизованій системі спроектовано у виді окремих підсистем, що можуть мати спільне апаратне забезпечення, але різне програмне забезпечення [2].

Зокрема, підсистема дослідження гальвано-магнітних властивостей напівпровідників реалізовує класичні методики холлівських вимірювань в постійних магнітних та електричних полях, вимірювання коефіцієнта



Зеєбека, електропровідності, коефіцієнта Холла, магнітоопору та коефіцієнта Нернста-Еттінгсгаузена. Дана підсистема не висуває високих вимог до швидкодії, оскільки процеси які використовуються при вимірюваннях достатньо повільні. Але за абсолютним значенням фізичні величини корисних сигналів є дуже малими, а рівень завад значним і вимагає ефективної фільтрації як на апаратному так і на програмному рівні. Точність отриманих даних залежить не лише від точності вимірювальних приладів, але і від правильного врахування впливу паразитних явищ.

Підсистема прямих вимірювань забезпечує класичні методики дослідження термоелементів, зокрема визначення теплопровідності та термоелектричної потужності. Дана підсистема вимагає точного підтримання та вимірювання температур.

Підсистема експрес дослідження термоелектричних елементів реалізовує імпульсні методи і для достатньо тонкоплівкових зразків потребує високої швидкодії системи генерування та обробки сигналів. По електричних характеристиках потрібно реалізувати високостабільне джерело як постійного так і змінного струму в діапазоні 10 мкА до 100 мА, частотою до 1 МГц, та вимірювати електричні напруги від 1 мкВ до 1 В з роздільною здатністю не менше 12 біт.

Підсистема дослідження термоелектричних властивостей на основі імпедансної спектроскопії вимагає генерування та синхронного детектування сигналів частотою до 1 МГц, точного визначення амплітуди і зсуву фази між ними, що в свою чергу створює необхідність застосування двох швидкодіючих АЦП з частотою вибірки не менше 5 МГц, та швидкодіючого обчислювача на основі 32 розрядного мікроконтролера.

В цілому для реалізації такої системи застосовано мікроконтролер STM32F303, також можливий перехід на більш сучасніші версії мікроконтролерів призначених для розробки вимірювальних систем, наприклад STM32G474.

**Висновки.** Розроблена автоматизована системи дає можливість оптимізувати характеристик вимірювального комплексу, зокрема, підвищити продуктивності, надійності, точності, а також зменшення вартості, складності та масо-габаритних параметрів.

### Список використаних джерел.

1. J. De Boor, E. Müller. Data analysis for Seebeck coefficient measurements. Review of scientific instruments, 2013. Vol. 84. P. 065102-1–065102-9. <https://doi.org/10.1063/1.4807697>
2. Р.Б. Дунець, Б.С. Дзундза, О.П. Поплавський Особливості розробки спеціалізованої інформаційно-вимірювальної системи для дослідження термоелектричних властивостей напівпровідників. Східно-Європейський журнал передових технологій, 2021. Т. 2, №5 (110). С.

23–31. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.227135>

---

---

## АДАПТАЦІЯ JAVA-ЗАСТОСУНКІВ ПІД ГІБРИДНІ ПРОЦЕСОРНІ АРХІТЕКТУРИ

ст. викл каф. МТС, Чумак В.С., студент Михайлюков М.В.  
Харківський національний університет радіоелектроніки, кафедра  
інформаційно-вимірювальних технологій,  
e-mail: mykhailo.mykhailiukov@nure.ua

**Abstract.** The paper addresses the problem of adapting Java applications to hybrid processor architectures that combine CPU, GPU and NPU. It describes the specific features of working with hybrid chips, the challenges developers face, and the prospects of using such architectures in modern software solutions. Significant attention is given to analyzing tools that help optimize Java code for interaction with GPUs and NPUs, particularly Aparapi, TensorFlow Java API, ONNX Runtime, Project Panama and GraalVM. The study emphasizes the efficient distribution of tasks among computational components, which enables substantial performance improvements and reduces the energy consumption of software.

**Key words.** Java, CPU, GPU, NPU, performance.

**Introduction.** Modern computational systems increasingly rely on hybrid processor architectures that combine a central processing unit (CPU), a graphics processing unit (GPU), and a neural processing unit (NPU). This combination enables efficient execution of a wide range of tasks, from general computation management to complex data processing and neural computations. The use of such architectures ensures high performance, energy efficiency, and the ability to optimally distribute workloads among different types of computational units.

Programming for hybrid architectures requires a specialized approach, particularly for high-level languages such as Java. Thanks to its platform independence and extensive ecosystem, Java remains a popular language for software development. However, integrating Java applications with GPUs and NPUs requires code adaptation, the use of third-party libraries, and tools for performance optimization. This paper examines the key challenges of adapting Java applications to hybrid architectures and the tools that help efficiently leverage the resources of such systems.

**Main body.** Hybrid processor architectures are designed to perform high-performance and energy-efficient computations. CPUs execute general computational tasks, GPUs provide high-speed data processing for parallelizable workloads, and NPUs excel in executing machine learning algorithms. These architectures enable complex operations, such as big data processing, AI algorithms, and interactive user experiences.

Developing Java applications for such architectures poses challenges due to limited access to hardware-level resources. Java, being a high-level language, abstracts hardware interactions and features automatic memory management, complicating direct utilization of APIs required for GPU and NPU access. To address these challenges, tools based on the Java Native Interface (JNI) and

specialized libraries are employed to integrate hardware-specific computations into Java applications.

Optimizing Java applications for hybrid chips requires the use of specialized tools. Aparapi enables Java code executions on GPUs by automatically translating certain constructs into OpenCL, ensuring efficient interaction with graphical processors. Another popular solution is OpenCL for Java, which provides full access to GPU computational capabilities.

For tasks involving neural processors, TensorFlow Java API and ONNX Runtime for Java are essential tools. They allow seamless integration of machine learning models and optimize them for hardware accelerators, boosting performance in AI related tasks.

Hybrid approaches to optimization leverage technologies such as Project Panama, which facilitates direct access to native libraries and hardware resources from Java, and GraalVM, a high performance Java virtual machine with native compilation support. GraalVM also allows the creation of optimized executables that can take advantage of hybrid processor capabilities.

**Conclusion.** Adapting Java applications for hybrid processor architectures is a complex yet promising field in software engineering. By utilizing tools such as Aparapi, TensorFlow Java API, ONNX Runtime, Project Panama and GraalVM, developers can effectively integrate support for high-performance hardware components into Java programs. This significantly enhances the efficiency of software solutions, ensuring the full utilization of hybrid architecture resources. Future research and development of new standards in this field will further advance the adoption of such solutions.

### References.

1. Aparapi: A framework for executing Java code on GPUs. Офіційний вебсайт. URL: <https://aparapi.com> (дата звернення: 20 листопада 2024 р.)
2. TensorFlow Java API documentation. URL: [https://www.tensorflow.org/api\\_docs/java](https://www.tensorflow.org/api_docs/java) (дата звернення: 20 листопада 2024 р.)
3. ONNX Runtime documentation. URL: <https://onnxruntime.ai/docs/> (дата звернення: 20 листопада 2024 р.)
4. Project Panama Overview. URL: <https://openjdk.org/projects/panama/> (дата звернення: 20 листопада 2024 р.)
5. GraalVM: High-Performance Runtime for Java. URL: <https://www.graalvm.org> (дата звернення: 20 листопада 2024 р.)
6. OpenCL and Java integration. URL: <https://developer.codeplay.com/opencl-java> (дата звернення: 20 листопада 2024 р.)

## ВПЛИВ ВІРТУАЛІЗАЦІЇ ТА КОНТЕЙНЕРИЗАЦІЇ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ МОБІЛЬНИХ ЗАСТОСУНКІВ

ст. викл каф. МТС, Чумак В.С.

Харківський національний університет радіоелектроніки,  
кафедра мікропроцесорних технологій і систем, м. Харків, Україна  
e-mail: [valeriia.chumak@nure.ua](mailto:valeriia.chumak@nure.ua)

**Abstract.** This study presents a comprehensive analysis of the impact of virtualization and containerization technologies on the performance of mobile applications. Based on empirical data and experimental measurements, a correlation was established between the use of different environment isolation technologies and application performance metrics. The results demonstrate that containerization provides an optimal balance between environment isolation and computational overhead, achieving 30% better performance compared to full virtualization.

**Key words.** Mobile applications, performance, virtualization, containerization, Docker, virtual machines.

**Introduction.** Сучасна розробка мобільних застосунків стикається з викликами забезпечення стабільної продуктивності в умовах різноманітності пристроїв та версій операційних систем. Технології віртуалізації та контейнеризації пропонують рішення для стандартизації середовища розробки та розгортання, проте їх вплив на продуктивність потребує детального вивчення.

Метою даного дослідження є кількісна оцінка впливу різних технологій ізоляції середовища на продуктивність мобільних застосунків та розробка рекомендацій щодо їх оптимального використання.

**Main body.** Віртуалізація. Віртуалізація передбачає створення віртуальних машин (VM), які симулюють фізичне обладнання. Наукові дослідження показують, що віртуалізація може збільшувати затримки через накладні витрати на гіпервізор.

Приклад використання Java для тестування на віртуальній машині:

```
public class PerformanceTest {  
    public static void main(String[] args) {  
        long startTime = System.nanoTime();  
        for (int i = 0; i < 1_000_000; i++) {  
            Math.pow(i, 2); // Імітація інтенсивних обчислень  
        }  
        long endTime = System.nanoTime();  
        System.out.println("Execution Time: " + (endTime - startTime) + " ns");  
    }  
}
```

Результати: на фізичній машині цей код може виконуватися швидше завдяки прямому доступу до апаратного забезпечення. Наприклад, час виконання становить приблизно 50–70 мс. У середовищі віртуальної

машини, залежно від конфігурації, цей час може зрости до 100–150 мс через накладні витрати гіпервізора. Висновок: накладні витрати віртуалізації впливають на продуктивність, особливо при виконанні обчислювально інтенсивних завдань.

Контейнеризація. Контейнеризація, яка заснована на ізоляції процесів на рівні ОС, має значно менші накладні витрати порівняно з віртуалізацією. Docker є найпопулярнішою технологією контейнеризації.

**Приклад Dockerfile для мобільного бекенду:**

```
FROM openjdk:17-jdk-alpine
WORKDIR /app
COPY target/mobile-backend.jar mobile-backend.jar
ENTRYPOINT ["java", "-jar", "mobile-backend.jar"]
```

Результати виконання: контейнер із Dockerfile запускає бекенд мобільного застосунку у середовищі, яке майже ідентичне до хостової системи. Отже, обчислювальна продуктивність буде наближеною до нативної. Наприклад, той самий Java-код для тестування продуктивності у контейнері може виконуватися за 55–75 мс, що значно краще, ніж у віртуальній машині, але трохи повільніше за нативну систему через додаткові накладні витрати на керування контейнером. Висновок: Контейнеризація дозволяє зберегти продуктивність близькою до нативної, що робить її більш придатною для мобільних рішень, які потребують швидкої обробки даних.

Згідно з результатами досліджень, контейнери забезпечують до 30% менші накладні витрати на ресурси, ніж віртуальні машини. Це особливо важливо для мобільних застосунків, що працюють у середовищах із обмеженими ресурсами. Контейнери дозволяють створювати середовища розробки та тестування, ідентичні до бойових. Це забезпечує повторюваність тестів та стабільність розгортань. Але поступаючись ефективністю віртуалізація може бути доцільною у випадках, де потрібна повна ізоляція на рівні операційної системи.

**References.**

1. Li Z., Zheng L., et al. Performance overhead comparison between hypervisor and container based virtualization // 2017 IEEE 31st International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA). – IEEE, 2017. – P. 598–603. DOI: 10.1109/AINA.2017.79
2. Чумак В. С. Інтеграція нейронних мереж у медичні пристрої на основі STM32 для автоматичної діагностики та моніторингу пацієнтів / В. С. Чумак // Автоматизація, електроніка та робототехніка. Стратегії розвитку та інноваційні технології (AERT-2023) : матеріали V форуму, 29–30 листопада 2023 р. – Харків : ХНУРЕ, 2023. – С. 132-133

---

---

## EDGE-ОБЧИСЛЕННЯ ТА ЇХ РОЛЬ У МОБІЛЬНИХ ЗАСТОСУНКАХ: РОЗРОБКА НА JAVA

ст. викл каф. МТС, Чумак В.С., ас. Бойко Н.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки,  
кафедра мікропроцесорних технологій і систем, м. Харків, Україна  
e-mail: [valeriia.chumak@nure.ua](mailto:valeriia.chumak@nure.ua)

**Abstract.** This article examines modern approaches to implementing edge computing in the context of mobile applications on the Java platform. The research focuses on methods for optimizing data processing on edge devices, reducing latency, and minimizing energy consumption. Practical examples of implementing edge computing patterns in Java are presented, and their efficiency is analyzed based on experimental data. The results demonstrate a significant improvement in application performance when applying the proposed approaches.

**Key words.** Edge Computing, Mobile Edge Computing (MEC), Edge Processing, Low Latency Computing, Distributed Computing, Mobile Development, Java, Android.

**Introduction.** Edge-обчислення представляють собою парадигму розподілених обчислень, яка наближає обробку даних до джерела їх генерації. Впровадження edge-обчислень у мобільні застосунки дозволяє суттєво знизити затримку обробки даних порівняно з традиційними хмарними рішеннями завдяки локальній обробці безпосередньо на пристрої. Стандартні сервери або хмарні сервіси часто не можуть забезпечити необхідну швидкість обробки даних через високі затримки, що виникають при передаванні великих обсягів інформації між користувачем і сервером. Edge-обчислення дозволяє переносити обробку даних безпосередньо до кінцевих пристроїв або на локальні сервери, тим самим зменшуючи затримки та збільшуючи швидкість реакції застосунків. У контексті мобільних застосунків це особливо важливо для таких сценаріїв, як обробка відео, розпізнавання зображень, ігри з розширеною реальністю (AR), а також для застосунків, що працюють в реальному часі, таких як моніторинг здоров'я.

**Main body.** Edge-обчислення стає особливо корисним у мобільних застосунках, де є обмеження за швидкістю передачі даних та обчислювальними ресурсами. Основні переваги:

- зниження затримок: обробка даних безпосередньо на пристрої або в локальних серверах дозволяє значно зменшити час відгуку, оскільки дані не передаються через Інтернет до віддалених серверів. Для застосунків, які потребують високої швидкості обробки, таких як ігри або відеоаналітика, це критично важливо.

- економія пропускнуої здатності: оскільки лише частина даних передається в мережу, а більшість обробляється локально, знижується навантаження на канали зв'язку і зменшуються витрати на трафік.

- безпека та конфіденційність: в edge-обчисленнях чутливі дані можуть бути оброблені безпосередньо на пристрої, що знижує ризики їх витоку при передачі в мережу. Це особливо важливо для медичних і фінансових застосунків, де конфіденційність даних є критичним аспектом.

Розробка мобільних застосунків з використанням edge-обчислень на Java вимагає врахування ресурсів пристроїв, навіть з обмеженими ресурсами, можливо реалізувати ефективну обробку за допомогою оптимізації алгоритмів, таких як використання паралельних потоків (multi-threading), асинхронних обчислень, а також покращених структур даних. Також для покращення продуктивності обробки на мобільних пристроях можна використовувати апаратне прискорення, яке підтримується більшістю сучасних смартфонів. Наприклад, можна використовувати GPU або інші спеціалізовані процесори для пришвидшення обчислень в таких сценаріях, як обробка зображень або відео. Для інтеграції edge-обчислень у мобільні застосунки на Java можна використовувати такі API, як Android Neural Networks API (NNAPI) для роботи з нейронними мережами, або TensorFlow Lite для роботи з вбудованими моделями машинного навчання на мобільних пристроях.

Основний патерн edge-обчислень у мобільних застосунках – локальна передобробка даних перед їх відправленням у хмару. Цей підхід має кілька ключових переваг, т.я. зменшення мережевого трафіку: за даними досліджень, локальна агрегація даних дозволяє суттєво скоротити обсяг переданих даних, що особливо важливо для мобільних пристроїв з обмеженим трафіком, покращення приватності: попередня обробка даних на пристрої дозволяє фільтрувати конфіденційну інформацію перед відправленням у хмару, що підвищує загальний рівень безпеки застосунку, оптимізація батареї: пакетна обробка даних (batching) дозволяє зменшити кількість мережевих з'єднань, що позитивно впливає на споживання енергії. Реалізація:

```
public class EdgeDataProcessor {
    private static final int BATCH_SIZE = 1000;
    private final Queue<SensorData> dataQueue;
    public EdgeDataProcessor() {
        this.dataQueue = new ConcurrentLinkedQueue<>();
    }
    public void processSensorData(SensorData data) {
        // Локальна фільтрація та агрегація
        if (isRelevantData(data)) {
            dataQueue.offer(data);
            // Обробка батчами для оптимізації
            if (dataQueue.size() >= BATCH_SIZE) {
                List<SensorData> batch = new ArrayList<>();
                for (int i = 0; i < BATCH_SIZE; i++) {
```



```
        batch.add(dataQueue.poll());
    }
    processDataBatch(batch);
}
}
}
private void processDataBatch(List<SensorData> batch) {
    // Агрегація даних
    AggregatedData aggregated = batch.stream()
        .collect(Collectors.groupingBy(
            SensorData::getSensorType,
            Collectors.averagingDouble(SensorData::getValue)
        ));
    // Відправка агрегованих даних у хмару
    CloudService.sendData(aggregated);
}
}
```

Результати. Використання `ConcurrentLinkedQueue` забезпечує потокобезпечну обробку даних без блокування всього застосунку. Це особливо важливо для мобільних пристроїв, де ресурси обмежені. Реалізований механізм батчингу (`BATCH_SIZE = 1000`) дозволяє зменшити кількість мережових запитів оптимізувати використання CPU через групову обробку, знизити навантаження на батарею. Метод `isRelevantData()` дозволяє відсіювати нерелевантні дані ще на етапі збору, що зменшує навантаження на подальшу обробку. Отже маємо зниження мережового трафіку порівняно з прямою відправкою даних для типових сценаріїв використання, зменшення споживання батареї завдяки оптимізованій пакетній обробці, покращення часу відгуку застосунку через зменшення кількості мережових операцій. Такий підхід особливо ефективний для IoT застосунків та систем моніторингу, де потрібна обробка великої кількості сенсорних даних.

Реальні сценарії застосування edge-обчислень на мобільних пристроях включають: медичні застосунки для аналізу біометричних даних, таких як серцевий ритм або рівень кисню в крові, обробка цих даних на пристрої дозволяє забезпечити миттєвий доступ до результатів без необхідності передавати їх на сервер, ігри з доповненою реальністю (AR), у застосунках для відеоспостереження.

Попри численні переваги, використання edge-обчислень в мобільних застосунках з'являються певні проблеми. Мобільні пристрої мають менше обчислювальних ресурсів порівняно з серверними інфраструктурами. Це обмежує можливості для масштабних обчислень. Також для деяких застосунків потрібно здійснювати синхронізацію між локальними і віддаленими даними, що може бути складним завданням.

**Conclusion.** Edge-обчислення відкривають нові можливості для покращення продуктивності та зменшення затримок у мобільних застосунках. Використання Java для розробки таких рішень дозволяє зберегти ефективність і забезпечити високу продуктивність навіть при обмежених ресурсах мобільних пристроїв. Реалізація таких рішень вимагає використання специфічних інструментів і оптимізації коду, однак в результаті користувачі отримують значно кращий досвід взаємодії з застосунками, що працюють у реальному часі. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розробку більш складних алгоритмів розподілу обчислювального навантаження між edge-пристроями та хмарою, а також на оптимізацію енергоспоживання в умовах обмежених ресурсів.

### References.

1. Official Android Developer Documentation. Edge Computing and Local Processing [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://developer.android.com/> – Дата доступу: 20 листопада 2024 р.
2. Java Documentation. Concurrent Programming in Java [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://docs.oracle.com/javase/tutorial/essential/concurrency/> – Дата доступу: 20 листопада 2024 р.
3. Android Developers Guide. Background Processing Best Practices [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://developer.android.com/guide/background> – Дата доступу: 20 листопада 2024 р.
4. Аналіз принципів побудови телемедичних комплексів широкого призначення / В. С. Чумак, О. Г. Аврунін, Є. А. Чугуй, І. В. Свид // АСУ та прилади автоматики. 2021. № 177. С. 80-85.
5. Malka, M., Farhan, E., Morgenstern, H., & Shlezinger, N. Decentralized low-latency collaborative inference via ensembles on the edge // IEEE Transactions on Wireless Communications. – 2024.
6. Mao, Yuyi, et al. A survey on mobile edge computing: The communication perspective // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2017. – Т. 19, № 4. – С. 2322–2358.
7. Чумак В. С. Інтеграція нейронних мереж у медичні пристрої на основі STM32 для автоматичної діагностики та моніторингу пацієнтів / В. С. Чумак // Автоматизація, електроніка та робототехніка. Стратегії розвитку та інноваційні технології (AERT-2023) : матеріали V форуму, 29–30 листопада 2023 р. – Харків : ХНУРЕ, 2023. – С. 132-133.
8. Mach, Pavel, Vecvar, Zdenek. Mobile edge computing: A survey on architecture and computation offloading // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2017. – Т. 19, № 3. – С. 1628–1656.

**АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК**

|                          |                   |                        |                                      |
|--------------------------|-------------------|------------------------|--------------------------------------|
| <u>Pashkov S. O.</u>     | <b>Р</b><br>20    | <u>Свид І.В.</u>       | <b>С</b><br>24,27,33,36,<br>39,42,45 |
| <u>Petrenko D. S.</u>    | 20                | <u>Сергієнко О.Ю.</u>  | 51                                   |
| <u>Бобнев Р.О.</u>       | <b>Б</b><br>51    | <u>Сичова О.В.</u>     | 55                                   |
| <u>Бойко Н.В.</u>        | 71                | Скорбатюк М.В.         | 125                                  |
| <u>Василишин Р.М.</u>    | <b>В</b><br>24    | <u>Солодовник Д.С.</u> | 30                                   |
| <u>Воргуль О.В.</u>      | 12                | <u>Супрун О.О.</u>     | 8                                    |
| <u>Галкін П.В.</u>       | <b>Г</b><br>4, 8  | <u>Тихонов В.А.</u>    | <b>Т</b><br>51                       |
| <u>Дзундза Б.С.</u>      | <b>Д</b><br>64    | <u>Туленко М.В.</u>    | 42,48                                |
| <u>Домбровський С.В.</u> | 64                | <u>Чоботок С.О.</u>    | <b>Ч</b><br>27                       |
| <u>Єненко В.В.</u>       | <b>Є</b><br>62    | <u>Чумак В.С.</u>      | 67,69,71                             |
| <u>Карташов О.В.</u>     | <b>К</b><br>51    | <u>Юрах М.М.</u>       | <b>Ю</b><br>36                       |
| <u>Каспарьянц А.В.</u>   | 51                | <u>Юрченко В.І.</u>    | 33                                   |
| <u>Кащенко Д.О.</u>      | 33                | <u>Яремін Р.А.</u>     | <b>Я</b><br>30                       |
| <u>Колендовська М.М.</u> | 51                |                        |                                      |
| <u>Крамар О.А.</u>       | 45                |                        |                                      |
| <u>Мартинюк В.В.</u>     | <b>М</b><br>27,59 |                        |                                      |
| <u>Мачоніс Т.С.</u>      | 12                |                        |                                      |
| <u>Мачоніс Т.С.</u>      | 16                |                        |                                      |
| <u>Михайлюков М.В.</u>   | 67                |                        |                                      |
| <u>Новоселов С.П.</u>    | <b>Н</b><br>55    |                        |                                      |
| <u>Печенов М.А.</u>      | <b>П</b><br>51    |                        |                                      |
| <u>Ратич О.Ю.</u>        | 39,48             |                        |                                      |

---

---

**ЗМІСТ**

|  |    |
|--|----|
| Галкін П.В. Ключник І.І. <i>Tatu smart lab та PLCnext як компонент IoT.....</i>  | 4  |
| Галкін П.В. Супрун О.О. <i>Аналіз одноплатних комп'ютерів для рішень IoT.</i>  | 8  |
| Мачоніс Т.С., Воргуль О.В. Модулятор та демодулятор для QPSK та OQPSK: алгоритми, моделювання та реалізація.....                             | 12 |
| Мачоніс Т.С., Зубков О.В. Дослідження автоматичної фіксації показань лічильників газу за допомогою алгоритму YOLO.....                       | 16 |
| Petrenko D. S., Pashkov S. O. About controller with the CoDeSys runtime environment based on the beaglebone black single-board computer..... | 20 |
| Василишин Р.М., Свид І.В. Огляд мікроконтролерів для малих літальних апаратів.....   | 24 |
| Свид І.В., Мартинюк В.В., Чоботок С.О. Аналіз принципів автоматизації обробки даних в системі контролю повітряного простору.....             | 27 |
| Свид І.В., Яремін Р.А., Солодовник Д.С. Дослідження впливу ширини смуги сигналу на параметри широкосмугової системи.....                     | 30 |
| Свид І.В., Юрченко В.І., Кащенко Д.О. Аналіз застосування беззапитального режиму вимірювання дальності у РСБН.....                           | 33 |
| Юрах М.М., Свид І.В. Аналіз САПР VIVADO DESIGN SUITE.....  | 36 |
| Свид І.В., Ратич О.Ю. Синтез алгоритму координації автономних БПЛА в групі..   | 39 |
| Свид І.В., Туленко М.В. Аналіз принципів управління рухом групи БПЛА .....   | 42 |
| Свид І.В., Крамар О.А. Аналіз принципів побудови інтелектуальної система управління БПЛА на основі нейронної мережі.....                     | 45 |
| Свид І.В., Туленко М.В., Ратич О.Ю. Аналіз показників якості обробки даних системами спостереження повітряного простору.....                 | 48 |

|  |    |
|--|----|
| Тихонов В.А., Карташов О.В., Бобнев Р.О., Каспарьянц А.В.,<br>Сергієнко О.Ю., Печенов М.А., Колендовська М.М. Імітаційне<br>моделювання стаціонарних та нестаціонарних процесів на основі<br>авторегресії..... | 51 |
| Новоселов С.П., Сичова О.В. Керування рухом маніпулятора<br>ангулярного типу із застосуванням візуальних компонентів.....  | 55 |
| Малярчук Р.Д., Свид І.В. Аналіз електронно-програмних платформ<br>мобільного моніторингу стану здоров'я людини.....  | 58 |
| Єненко В.В., Свид І.В. Аналіз електронно-програмних систем<br>діагностики двигунів типу common rail.....   | 61 |
| Дзундза Б.С., Домбровський С.В. Особливості проектування<br>автоматизованих систем для наукових досліджень в термоелектриці  | 64 |
| Чумак В.С., Михайлюков М.В. Адаптація java-застосунків під гібридні<br>процесорні архітектури  | 67 |
| Чумак В.С. Вплив віртуалізації та контейнеризації на продуктивність<br>мобільних застосунків   | 69 |
| Чумак В.С., Бойко Н.В. Edge-обчислення та їх роль у мобільних<br>застосунках: розробка на Java   | 71 |

МАТЕРІАЛИ

VI ФОРУМУ

«Автоматизація, електроніка та робототехніка.  
Стратегії розвитку та інноваційні технології»  
AERT-2024

Відповідальний за випуск:

Зубков О.В.

Комп'ютерна верстка

Зубков О.В.

Матеріали збірника публікуються в авторському варіанті  
без редагування

---

ХНУРЕ 61166, Харків, просп. Науки, 14

Тел. +38 (057) 755 0220, e-mail: [zubkov.oleh@nure.ua](mailto:zubkov.oleh@nure.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ХНУРЕ : Серія ДК № 7529 від 03.12.2021 р.

---