

ISSN 2786-5460 (Print)
ISSN 2786-5479 (Online)

МІЖРЕГІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ УПРАВЛІННЯ ПЕРСОНАЛОМ
INTERREGIONAL ACADEMY OF PERSONNEL MANAGEMENT



ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СУСПІЛЬСТВО

INFORMATION TECHNOLOGY AND SOCIETY

Випуск 4 (15), 2024
Issue 4 (15), 2024



Видавничий дім
«Гельветика»
2024

*Рекомендовано до друку Вченою радою
Міжрегіональної Академії управління персоналом
(протокол № 12 від 26 грудня 2024 року)*

Інформаційні технології та суспільство / [головний редактор О. Попов]. – Київ : Міжрегіональна Академія управління персоналом, 2024. – Випуск 4 (15). – 130 с.

Журнал «Інформаційні технології та суспільство» є науковим рецензованим виданням, в якому здійснюється публікація матеріалів науковців різних рівнів у вигляді наукових статей з метою їх поширення як серед вітчизняних дослідників, так і за кордоном.

Редакційна колегія не обов'язково поділяє позицію, висловлену авторами у статтях, та не несе відповідальності за достовірність наведених даних і посилань.

Головний редактор: Попов О. О. – член-кор. НАН України, д-р техн. наук, професор, в.о. директора Центру інформаційно-аналітичного та технічного забезпечення моніторингу об'єктів атомної енергетики Національної академії наук України.

Редакційна колегія:

Василенко М. Д. – д-р фіз.-мат. наук, проф., професор кафедри кібербезпеки, Національний університет «Одеська юридична академія»; **Горбов І. В.** – канд. техн. наук, с.н.с., старший науковий співробітник, Інститут проблем реєстрації інформації НАН України; **Дуднік А. С.** – д-р техн. наук, доц., доцент кафедри мережевих та інтернет технологій, Київський національний університет імені Тараса Шевченка; **Євсєєв С. П.** – д-р техн. наук, професор кафедри кібербезпеки та інформаційних технологій, Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця; **Зибін С. В.** – д-р техн. наук, доц., завідувач кафедри інженерії програмного забезпечення, Національний авіаційний університет; **Кавун С. В.** – д-р екон. наук, канд. техн. наук, проф., завідувач кафедри комп'ютерних інформаційних систем та технологій, Міжрегіональна Академія управління персоналом; **Комарова Л. О.** – д-р техн. наук, с.н.с., директор Навчально-наукового інституту інформаційної безпеки та стратегічних комунікацій, Національна академія Служби безпеки України; **Мілов О. В.** – д-р техн. наук, професор кафедри кібербезпеки та інформаційних технологій, Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця; **Охріменко Т. О.** – канд. техн. наук, старший науковий співробітник науково-дослідної лабораторії протидії кіберзагрозам в авіаційній галузі, Національний авіаційний університет; **Рудніченко М. Д.** – канд. техн. наук, доц., доцент кафедри інформаційних технологій, Державний університет «Одеська політехніка»; **Скुरатовський Р. В.** – канд. фіз.-мат. наук, доц., доцент кафедри обчислювальної математики та комп'ютерного моделювання, Міжрегіональна Академія управління персоналом; **Супрун О. М.** – канд. фіз.-мат. наук, доц., доцент кафедри програмних систем і технологій, Київський національний університет імені Тараса Шевченка; **Табунщик Г. В.** – канд. техн. наук, проф., професор кафедри програмних засобів, Національний університет «Запорізька політехніка»; **Фомін О. О.** – д-р техн. наук, доц., професор кафедри комп'ютеризованих систем управління, професор кафедри прикладної математики та інформаційних технологій, Державний університет «Одеська політехніка»; **Хохлячова Ю. Є.** – канд. техн. наук, доц., доцент кафедри безпеки інформаційних технологій, Національний авіаційний університет; **Чолишкіна О. Г.** – канд. техн. наук, доц., директор Інституту комп'ютерно-інформаційних технологій та дизайну, Міжрегіональна Академія управління персоналом; **Чорний О. П.** – доктор технічних наук, професор, директор Навчально-наукового інституту електричної інженерії та інформаційних технологій, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського; **Юдін О. К.** – д-р техн. наук, проф., директор центру кібербезпеки Навчально-наукового інституту інформаційної безпеки та стратегічних комунікацій, Національна академія Служби безпеки України; **Гопєєнко Віктор** – dr. sc. ing., проф., проректор з наукової роботи, директор навчальної програми магістратури «Комп'ютерні системи», Університет прикладних наук ISMA (Латвійська Республіка); **Leszczyna Rafal** – dr hab. inż., професор кафедри комп'ютерних наук у менеджменті, Гданський технологічний університет (Республіка Польща).

Реєстрація суб'єкта у сфері друкованих медіа:

Рішення Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення № 1173 від 11.04.2024 року.

Відповідно до Наказу МОН України № 1290 від 30 листопада 2021 року (додаток 3) журнал включено до Переліку наукових фахових видань України (категорія Б) зі спеціальностей 121 – Інженерія програмного забезпечення, 122 – Комп'ютерні науки, 123 – Комп'ютерна інженерія, 124 – Системний аналіз, 125 – Кібербезпека, 126 – Інформаційні системи та технології.

Усі електронні версії статей журналу оприлюднюються на офіційній сторінці видання
<http://journals.maup.com.ua/index.php/it>

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою програмного забезпечення
StrikePlagiarism.com від польської компанії Plagiat.pl.

*Recommended for publication
by Interregional Academy of Personnel Management
(Minutes No. 12 dated 26 December 2024)*

Information Technology and Society / [chief editor Oleksandr Popov]. – Kyiv : Interregional Academy of Personnel Management, 2024. – Issue 4 (15). – 130 p.

Journal «Information Technology and Society» is a peer-reviewed scientific edition, which publishes materials of scientists of various levels in the form of scientific articles for the purpose of their dissemination both among domestic researchers and abroad.

Editorial board do not necessarily reflect the position expressed by the authors of articles, and are not responsible for the accuracy of the data and references.

Chief editor: Oleksandr Popov – Corresponding Member of NAS of Ukraine, Doctor of Engineering, Professor, Acting Director of the Center for Information-Analytical and Technical Support of Nuclear Power Facilities Monitoring of the National Academy of Sciences of Ukraine.

Editorial Board:

Mykola Vasylenko – Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Professor at the Department of Cybersecurity, National University «Odesa Law Academy»; **Ivan Horbov** – PhD in Engineering, Senior Research Associate, Senior Research Fellow, Institute for Information Recording of NAS of Ukraine; **Andrii Dudnik** – Doctor of Engineering, Associate Professor, Senior Lecturer at the Department of Networking and Internet Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv; **Serhii Yevseiev** – Doctor of Engineering, Professor at the Department of Cybersecurity and Information Technologies, Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics; **Serhii Zybin** – Doctor of Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Software Engineering, National Aviation University; **Serhii Kavun** – Doctor of Economics, PhD in Engineering, Professor, Head of the Department of Computer Information Systems and Technologies Interregional Academy of Personnel Management; **Larysa Komarova** – Doctor of Engineering, Senior Research Scientist, Laureate of State Prize, Director of Educational-Scientific Institute of Information Security and Strategic Communications, National Academy of the Security Service of Ukraine; **Oleksandr Milov** – Doctor of Engineering, Professor at the Department of Cybersecurity and Information Technologies, Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics; **Tetiana Okhrimenko** – PhD in Engineering, Senior Research Scientist at the Scientific Research Laboratory for Countering Aviation Cyberthreats, National Aviation University; **Mykola Rudnichenko** – PhD in Engineering, Associate Professor, Senior Lecturer at the Department of Information Technologies, Odessa Polytechnic State University; **Ruslan Skuratovskiy** – PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor, Senior Lecturer at the Department of Computational Mathematics and Computer Modeling, Interregional Academy of Personnel Management; **Olha Suprun** – PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor, Senior Lecturer at the Department of Software Systems and Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv; **Halyna Tabunshchuk** – PhD in Engineering, Professor, Professor at the Department of Software Tools, “Zaporizhzhia Polytechnic” National university; **Oleksandr Fomin** – Doctor of Engineering, Associate Professor, Professor at the Department of Computerized Control Systems, Professor at the Department of Applied Mathematics and Information Technologies, Odessa Polytechnic State University; **Yuliia Khokhlachova** – PhD in Engineering, Associate Professor, Senior Lecturer at the Department of Information Technology Security, National Aviation University; **Olha Cholyshkina** – PhD in Engineering, Associate Professor, Director of the Institute of Computer Information Technologies and Design, Interregional Academy of Personnel Management; **Oleksii Chorny** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Educational and Scientific Institute of Electrical Engineering and Information Technologies, Kremenchuk National University named after Mykhailo Ostrogradskiy; **Oleksandr Yudin** – Doctor of Engineering, Professor, Director of the Cybersecurity Center of the Educational-Scientific Institute of Information Security and Strategic Communications, National Academy of the Security Service of Ukraine; **Hopeienko Viktor** – dr. sc. ing., Professor, Vice Rector for Research, Director of the study programme “Computer systems”, ISMA University of Applied Sciences (Republic of Latvia); **Leszczyna Rafal** – dr hab. inż., Profesor, Katedra Informatyki w Zarządzaniu, Politechnika Gdańska (Republic of Poland).

Registration of Print media entity:

Decision of the National Council of Television and Radio Broadcasting of Ukraine: Decision No. 1173 as of 11.04.2024.

According to the Decree of MES No. 1290 (Annex 3) dated November 30, 2021, the journal was included in the List of scientific professional publications of Ukraine (category B) in specialties 121 – Software engineering, 122 – Computer sciences, 123 – Computer engineering, 124 – Systems analysis, 125 – Cybersecurity, 126 – Information systems and technologies.

All electronic versions of articles in the collection are available on the official website edition
<http://journals.maup.com.ua/index.php/it>

The articles were checked for plagiarism using the software
StrikePlagiarism.com developed by the Polish company Plagiat.pl.

© Interregional Academy of Personnel Management, 2024
© Copyright by the contributors, 2024

ЗМІСТ

Олег БОНДАРЧУК, Сергій ЗИБІН, Світлана ВАСИЛЮК-ЗАЙЦЕВА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ КВАНТОВИХ КОМП'ЮТЕРІВ У РОЗВ'ЯЗАННІ СКЛАДНИХ ЗАВДАНЬ	6
Олександр БОРИСОВ, Марія ТЯГУНОВА ПІДХІД ДО АВТОМАТИЗАЦІЇ ЗАМОВЛЕНЬ У РЕСТОРАНІ З ВИКОРИСТАННЯМ ІТ-ТЕХНОЛОГІЙ	14
Тетяна ВАВРИК, Ліда ГОБИР ОПТИМІЗАЦІЯ ЗАХИСТУ ДАНИХ: ПРЕВЕНТИВНІ ТА РЕАКТИВНІ СТРАТЕГІЇ.....	21
Олександр ГОРДІЄНКО, Аліна КОВАЛЬ ПРОБЛЕМИ КОНФІДЕНЦІЙНОСТІ ТА ЕТИКИ У ВИКОРИСТАННІ ВІДКРИТИХ ДАНИХ ДЛЯ РОЗРОБКИ ДОДАТКІВ	26
Олександр ГОРДІЄНКО, Аліна КОВАЛЬ КОНЦЕПЦІЯ ПІДКЛЮЧЕННЯ ФІЗИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ У РОЗУМНОМУ БУДИНКУ: ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТА ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ.....	30
Олександр ГОРДІЄНКО, Аліна КОВАЛЬ ВИКОРИСТАННЯ КРИПТОГРАФІЇ ЯК СЕРВІСУ У ВЕБ ПРОГРАМУВАННІ	35
Олександр ГОРДІЄНКО, Аліна КОВАЛЬ МАЙБУТНЄ ПРОГРАМУВАННЯ: ЯК ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ ЗМІНЮЄ РОЗРОБКУ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	40
Андрій ДУДНІК, Олег ТИЩЕНКО, Дарина ЯРЕМЕНКО ОГЛЯД СУЧАСНИХ ТЕХНІЧНИХ ТА ПРОГРАМНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ БПЛА.....	44
Максим ДЬЯЧЕНКО, Андрій РОСКЛАДКА ВПРОВАДЖЕННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ПРОЦЕС МЕНЕДЖМЕНТУ ІНЦИДЕНТІВ.....	51
Денис ЄФІМОВ, Роман ТИМОШЕНКО, Катерина ВОЙТЕХ ВПЛИВ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА СУЧАСНІ БОЙОВІ СТРАТЕГІЇ.....	58
Олексій КЛИМЕНКО СТВОРЕННЯ SELF-HEALING МЕРЕЖІ	63
Владислав КОЗУБ ІНФОРМАЦІЙНА ПІДТРИМКА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ РОЗПОДІЛЕННОГО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ	71
Богдан КОРНІЄНКО, Леся ЛАДІЄВА, Ксенія УЛЬЯНИЦЬКА, Лілія ГАЛАТА Андрій НЕСТЕРУК ЗАХИСТ КРИТИЧНИХ РЕСУРСІВ ВЕБ-ЗАСТОСУНКУ З ОРЕНДИ НЕРУХОМОСТІ.....	80
Максим КУНДОС, Людмила СОЛОВЕЙ ВЕБ ДОДАТКИ У ЕКОСИСТЕМІ ІОТ.....	88
Сергій ЛУК'ЯНЕНКО, Павло ВДОВІН, Валентин ГРОМИКО, Роман ТИМОШЕНКО РОЛЬ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В СУЧАСНІЙ УКРАЇНСЬКІЙ ВІЙСЬКОВІЙ СПРАВІ.....	94
Геннадій МОГИЛЬНИЙ, Володимир ДОНЧЕНКО, Світлана ДОНЧЕНКО ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІНСТРУМЕНТІВ СТВОРЕННЯ КОРПОРАТИВНОГО СЕРЕДОВИЩА.....	99
Олександр ПСАРЬОВ, Євген ДРУЖИНІН AGILE-ФРЕЙМВОРК ЯК КАТАЛІЗАТОР ЕФЕКТИВНОГО ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ІНФОРМАЦІЄЮ.....	108
Денис РЕДЬКО, Альона ДЕСЯТКО, Байтума БІСАРІНОВ, Айгуль БІСАРІАНОВА ОГЛЯД МЕТОДІВ АНАЛІЗУ ТРАФІКУ КОМПАНІЇ НА ОСНОВІ АНСАМБЛЕВОЇ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ	115
Олександр СТОРОЖУК, Квітослава-Ольга ЯЦИНА ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ AR У ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТА АНАЛІЗІ АНАТОМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕВКЛІДОВОЇ МЕТРИКИ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ ПІДГОТОВКИ МЕДИЧНИХ ФАХІВЦІВ	125

УДК 004.94

DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2024.4.8>

Андрій ДУДНІК

доктор технічних наук, доцент,
професор кафедри комп'ютерних інформаційних систем і технологій,
ПрАТ «ВНЗ «Міжрегіональна Академія управління персоналом», a.s.dudnik@gmail.com
ORCID: 0000-0001-5725-5942

Олег ТИЩЕНКО

аспірант кафедри комп'ютерно-інформаційних систем і технологій,
ПрАТ «ВНЗ «Міжрегіональна Академія управління персоналом», 0987651234um@gmail.com
ORCID: 0009-0001-2763-579X

Дарина ЯРЕМЕНКО

аспірант кафедри комп'ютерно-інформаційних систем і технологій,
ПрАТ «ВНЗ «Міжрегіональна Академія управління персоналом»
dashayaremenko17@gmail.com
ORCID: 0000-0002-6294-9698

ОГЛЯД СУЧАСНИХ ТЕХНІЧНИХ ТА ПРОГРАМНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ БПЛА

Анотація. Швидкий розвиток безпілотних літальних апаратів (БПЛА) ставить нові виклики перед інженерами та розробниками систем управління. БПЛА знайшли широке застосування в різних сферах, включаючи сільське господарство, логістику, моніторинг навколишнього середовища, пошуково-рятувальні операції та військові потреби. Ефективність цих систем значною мірою залежить від поєднання апаратних і програмних рішень, які забезпечують точне позиціонування, автономність, стабільність польоту та безпечне виконання завдань.

У статті зосереджено увагу на ключових технічних компонентах, таких як контролери польотів, сенсори та системи зв'язку, а також на програмних платформах, які дозволяють автоматизувати процес управління польотами. Окрім того, розглянуто інноваційні підходи до інтеграції даних із різних джерел і використання алгоритмів машинного навчання для оптимізації роботи БПЛА.

Метою статті є висвітлення сучасних технічних і програмних рішень, які сприяють підвищенню ефективності, надійності та автономності безпілотних літальних апаратів, а також аналіз їхнього впливу на подальший розвиток галузі.

Методологія, викладена в цій статті, базується на огляді сучасних технічних та програмних рішень для управління безпілотними літальними апаратами (БПЛА), зосереджуючи увагу на апаратних платформах, сенсорах, комунікаційних системах і програмному забезпеченні. Порівняльному аналізу апаратних платформ (FPGA, ARM, Atmel, Raspberry Pi) за ключовими параметрами: продуктивність, гнучкість, енергоспоживання, складність та вартість. Оцінці програмного забезпечення, яке включає відкриті платформи (ArduPilot, PX4, LibrePilot) та високорівневі системи управління (Aerostack2, GAAS). Інтеграції сенсорних даних із застосуванням алгоритмів машинного навчання, наприклад, фільтра Калмана, для підвищення точності навігації та стабільності польотів. Моделюванні енергоспоживання БПЛА з урахуванням ваги вантажу, довжини маршруту і квадратичного зростання через аеродинамічний опір. Аналізі багатоагентних систем для координації груп дронів, включаючи моделювання траєкторій та синхронізацію руху. Графічному поданні даних, яке демонструє порівняння платформ, траєкторій руху та моделі енергоспоживання.

Наукова новизна. Запропоновано підхід до інтеграції сенсорних даних із використанням алгоритмів машинного навчання, зокрема фільтра Калмана, для підвищення точності навігації та стабільності польотів у складних умовах.

Висновки. Проаналізовано сучасні апаратні і програмні платформи для управління безпілотними літальними апаратами (БПЛА) з урахуванням їх продуктивності, енергоспоживання, гнучкості та складності.

Проаналізовано багатоагентні системи та їх потенціал для синхронізації дій груп БПЛА у різних завданнях, включаючи моніторинг і пошуково-рятувальні операції. Деталізовано енергетичні моделі БПЛА, що враховують вагу вантажу, маршрут і вплив аеродинамічного опору на загальне споживання енергії, що дозволяє оптимізувати тривалі місії.

Оцінено перспективи інтеграції хмарних технологій із апаратними платформами, що спрямовані на обробку великих масивів даних у реальному часі, що покращує автономність та адаптивність систем.

Визначено переваги і недоліки сучасних високорівневих систем управління, таких як Aerostack2, GAAS, і їх придатності для розробки інноваційних рішень у сфері управління БПЛА.

Ключові слова: безпілотні літальні апарати (БПЛА), технічні засоби, програмні платформи, контролери польоту, автопілот, системи стабілізації, сенсори, комунікаційні системи, багатоагентні системи управління, автономний політ, інтеграція даних, багатоагентність.

Andrii DUDNIK, Oleh TYSHCHENKO, Daryna YAREMENKO. OVERVIEW OF MODERN TECHNICAL AND SOFTWARE SOLUTIONS FOR UAV CONTROL

Abstract. The rapid development of unmanned aerial vehicles (UAVs) poses new challenges for engineers and developers of control systems. UAVs have found wide application in various fields, including agriculture, logistics, environmental monitoring, search and rescue operations and military needs. The effectiveness of these systems largely depends on a combination of hardware and software solutions that ensure accurate positioning, autonomy, flight stability and safe task performance.

The article focuses on key technical components, such as flight controllers, sensors and communication systems, as well as on software platforms that allow for the automation of the flight control process. In addition, innovative approaches to integrating data from various sources and using machine learning algorithms to optimize UAV operation are considered.

The aim of the article is to highlight modern technical and software solutions that contribute to increasing the efficiency, reliability and autonomy of unmanned aerial vehicles, as well as to analyze their impact on the further development of the industry.

The methodology presented in this article is based on a review of current technical and software solutions for controlling unmanned aerial vehicles (UAVs), focusing on hardware platforms, sensors, communication systems and software. Comparative analysis of hardware platforms (FPGA, ARM, Atmel, Raspberry Pi) on key parameters: performance, flexibility, power consumption, complexity and cost. Evaluation of software, which includes open platforms (ArduPilot, PX4, LibrePilot) and high-level control systems (Aerostack2, GAAS). Integration of sensor data using machine learning algorithms, such as the Kalman filter, to improve navigation accuracy and flight stability. Modeling of UAV energy consumption taking into account cargo weight, route length and quadratic growth due to aerodynamic drag. Analysis of multi-agent systems for coordinating drone groups, including trajectory modeling and motion synchronization. A graphical representation of data that demonstrates a comparison of platforms, trajectories, and energy consumption models.

Scientific novelty. An approach to integrating sensor data using machine learning algorithms, in particular the Kalman filter, is proposed to improve navigation accuracy and flight stability in difficult conditions.

Conclusions. Modern hardware and software platforms for controlling unmanned aerial vehicles (UAVs) are analyzed, taking into account their performance, energy consumption, flexibility, and complexity.

Multi-agent systems and their potential for synchronizing the actions of UAV groups in various tasks, including monitoring and search and rescue operations, are analyzed. UAV energy models are detailed, taking into account the weight of the cargo, the route, and the impact of aerodynamic drag on the total energy consumption, which allows optimizing long missions.

The prospects for integrating cloud technologies with hardware platforms aimed at processing large data sets in real time, which improves the autonomy and adaptability of systems, are assessed.

The advantages and disadvantages of modern high-level control systems, such as Aerostack2, GAAS, and their suitability for developing innovative solutions in the field of UAV control are identified.

Key words: unmanned aerial vehicles (UAVs), hardware, software platforms, flight controllers, autopilot, stabilization systems, sensors, communication systems, multi-level control systems, autonomous flight, data integration, multi-agency.

Вступ. Постановка проблеми. Сучасний розвиток безпілотних літальних апаратів обумовлює необхідність впровадження ефективних систем керування, які забезпечують автономність, точність і надійність виконання завдань у різних умовах експлуатації. Різноманітність сфер застосування БПЛА, таких як аерофотозйомка, моніторинг, агрономія та пошуково-рятувальні операції, вимагає адаптації технічних і програмних засобів до специфічних завдань. Основними викликами залишаються відсутність універсальних рішень, що поєднують апаратні та програмні компоненти для задоволення потреб різних галузей, високі вимоги до точності навігації та стабільності польотів, а також недостатня уніфікація програмних платформ, яка ускладнює їх сумісність із різними контролерами польоту. Крім того, недостатня кількість досліджень щодо енергоспоживання та оптимізації програмно-апаратних платформ, а також потреба в інтеграції сучасних технологій, таких як штучний інтелект, комп'ютерний зір і хмарні обчислення, є суттєвими перешкодами для подальшого розвитку цієї галузі. Усе це створює актуальну потребу у вдосконаленні існуючих систем керування БПЛА, що дозволить не лише подолати зазначені виклики, але й забезпечити ефективність та функціональність цих систем у різних секторах економіки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останні дослідження в галузі керування безпілотними літальними апаратами (БПЛА) зосереджені на розробці та вдосконаленні технічних і програмних засобів, що забезпечують ефективне та автономне функціонування цих систем. Зокрема, значна увага приділяється створенню універсальних рішень, які поєднують апаратні та програмні компоненти для задоволення потреб різних галузей. У статті [5] проаналізовано існуючі методи керування БПЛА, включаючи пілотажні, навігаційні та автоматичні підходи. Автори підкреслюють важливість стандартизації методів контролю для наземних комплексів та літальних апаратів, що сприяє підвищенню надійності та безпеки експлуатації БПЛА. Дослідження [10] акцентує увагу на необхідності впровадження нових методів автономної навігації та утворення групових мереж для БПЛА. Автори зазначають, що збільшення кількості літальних апаратів вимагає пошуку ефективних рішень для забезпечення координації та безпеки польотів.

Виклад основного матеріалу. Система керування безпілотними літальними апаратами (БПЛА) складається з апаратних і програмних компонентів, які забезпечують навігацію, стабільність польоту, обробку даних та виконання конкретних завдань. Основними елементами є контролери польоту,

сенсори, комунікаційні системи, а також програмне забезпечення, яке дозволяє інтегрувати ці компоненти в єдину функціональну систему.

Контролери польоту виконують ключову роль у забезпеченні стабільності та навігації БПЛА. Для їх побудови використовуються мікроконтролери на базі архітектур FPGA, ARM, Atmel і Raspberry Pi [4]. Наприклад, контролер Pixhawk підтримує багатоплатформенність і використовується для різноманітних завдань, від аерофотозйомки до сільського господарства. Navio2, створений на основі Raspberry Pi, інтегрує вбудований GPS і сенсори, що забезпечують високу точність позиціонування [6].

Для оцінки платформ використовувалися параметри: продуктивність, гнучкість, енергоспоживання, складність. Кожен параметр нормалізується за шкалою 0–10.

Модель оцінки:

$$S=\{P,F,E,C\}$$

де P – продуктивність, F – гнучкість, $E=10$ – енергоспоживання, $C=10$ – складність.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика технічних платформ для керування БПЛА

Платформа	Продуктивність	Гнучкість	Енергоспоживання	Вартість	Складність
FPGA	Висока	Дуже висока	Низька	Висока	Висока
ARM	Середня	Висока	Низька	Середня	Низька
Atmel	Низька	Середня	Дуже низька	Низька	Низька
Raspberry Pi	Висока	Висока	Висока	Середня	Середня

Графік, що порівнює технічні платформи (FPGA, ARM, Atmel, Raspberry Pi) за чотирма основними параметрами: продуктивність, гнучкість, енергоспоживання (у вигляді енергоефективності) та складність використання (легкість), представлено на рис. 1.

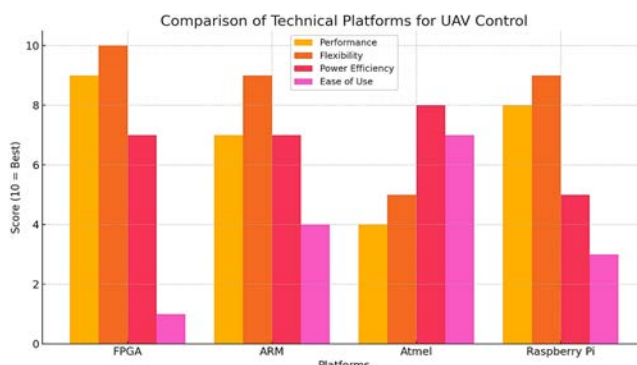


Рис. 1. Порівняльна характеристика технічних платформ для керування БПЛА

Сенсори є невід’ємною частиною системи керування БПЛА. Вони забезпечують збір даних про навколишнє середовище та дозволяють апарату адаптуватися до умов польоту. До найпоширеніших сенсорів належать інерційні вимірювальні блоки (IMU), барометри та GPS-модулі. Комбінація цих сенсорів дозволяє забезпечити точність навігації навіть у складних умовах.

Комунікаційні системи забезпечують зв’язок між БПЛА та наземними станціями управління або іншими безпілотними апаратами. Наприклад, протокол MAVLink, який підтримується програмними платформами ArduPilot та QGroundControl, забезпечує передачу телеметрії та команд управління в реальному часі [1].

Програмне забезпечення є ключовим елементом для інтеграції та управління всіма компонентами системи. Сучасні платформи, такі як ArduPilot, LibrePilot, Multiwii, забезпечують як базове управління польотом, так і можливість реалізації автономних місій [7]. Високорівневі системи, такі як Aerostack2 та GAAS, дозволяють розробникам створювати власні додатки та інтегрувати додаткові функції, наприклад, машинний зір або групове управління апаратами.

Відкриті програмні платформи. ArduPilot – одна з найбільш популярних платформ з відкритим кодом, яка підтримує мультикоптери, літаки з фіксованим крилом, наземні та навіть підводні апарати.

ArduPilot пропонує широку функціональність для автономного управління, включаючи побудову маршрутів, уникнення перешкод та взаємодію з іншими апаратами. Переваги: гнучкість, велика спільнота розробників, підтримка різних типів апаратів. Недоліки: висока вимога до обчислювальних ресурсів.

Платформа PX4 створена для високопродуктивних систем і забезпечує підтримку великих обсягів даних з сенсорів. PX4 інтегрується з протоколами MAVLink та підтримує платформи Pixhawk і Raspberry Pi [2]. Переваги: стабільність, гнучкість у налаштуванні, сумісність з сучасними апаратними платформами. Недоліки: складність конфігурації для новачків.

Платформа LibrePilot розроблена для стабілізації та керування польотами. Вона має простий інтерфейс і орієнтована на користувачів із базовими знаннями. Переваги: простота у використанні, ідеальна для початківців. Недоліки: обмежена функціональність порівняно з іншими платформами.

Спільнота Dronecode створює відкриті програмні рішення для БПЛА, включаючи інтеграцію з хмарними платформами, що дозволяє керувати великими обсягами даних у реальному часі. Переваги: підтримка інновацій, адаптація до нових умов, багатоплатформенність. Недоліки: залежність від якості хмарного зв'язку.

Високорівневі системи управління. Aerostack2 – система з модульною архітектурою, яка підтримує багатоагентність, планування польотів і інтеграцію з ROS2 [8]. Вона забезпечує високий рівень автономності та адаптації для виконання складних завдань. Переваги: модульність, підтримка групового управління, відкритий код. Недоліки: потреба у значних обчислювальних ресурсах.

GAAS спрямована на створення повністю автономних систем, які інтегрують лідар, HD-карти та траєкторне планування для складних польотів. Переваги: висока автономність, інтеграція сучасних технологій. Недоліки: складність реалізації у практичних умовах.

Agilicious – платформа, яка підтримує керування на основі моделей і нейронних мереж, що забезпечує маневреність і швидкість реагування. Переваги: гнучкість, використання штучного інтелекту. Недоліки: висока складність налаштування, потреба у спеціалізованому обладнанні.

Апаратні платформи також активно інтегруються з хмарними технологіями для обробки великих обсягів даних. Наприклад, платформи AuterionOS та Dronecode Community забезпечують синхронізацію з хмарними обчисленнями для аналізу даних у реальному часі, що дозволяє підвищити автономність і ефективність БПЛА [9].

Приклади використання систем

1. Аерофотозйомка та геодезія: використання GPS та фотограмметричних сенсорів для створення високоточної карти місцевості.

2. Сільське господарство: мультиспектральні сенсори для аналізу стану рослинності та прогнозування врожайності.

3. Пошуково-рятувальні операції: тепловізори та лідари для виявлення об'єктів у складних умовах, наприклад, уночі або у лісистій місцевості.

Інтеграція сенсорних даних та застосування машинного навчання для оптимізації роботи БПЛА. Управління БПЛА вимагає обробки великого обсягу інформації, яка надходить від численних сенсорів, таких як інерційні вимірювальні блоки, барометри, GPS, GNSS, лідари та камери. Поєднання цих даних за допомогою сучасних алгоритмів, зокрема фільтра Калмана, дозволяє зменшити похибки і забезпечити високу точність навігації навіть у складних умовах, наприклад, у міських середовищах або за обмеженого сигналу GPS.

Фільтр Калмана є потужним інструментом для оптимізації навігаційних систем, що є ключовою частиною систем управління безпілотними літальними апаратами (БПЛА). У контексті статті, його роль зосереджена на забезпеченні точності та надійності навігації, зменшенні похибок у вимірюваннях і підвищенні стабільності польоту.

Фільтр Калмана забезпечує оптимізацію прогнозування траєкторії на основі вимірювань з шумом.

Математична модель:

1. Передбачення:

$$x_{k|k-1} = x_{k-1|k-1}, P_{k|k-1} = P_{k-1|k-1} + Q$$

2. Оновлення:

$$k_k = \frac{P_{k|k-1}}{P_{k|k-1} + R}, x_{k|k} = x_{k|k-1} + K_k (z_k - x_{k|k-1}),$$

$$P_{k|k} = (1 - K_k) P_{k|k-1},$$

де $x_{k|k}$ – оцінка, $P_{k|k}$ – похибка, Q – шум процесу, R – шум вимірювання, z_k – вимірювання.

На графіку (Рис. 2) представлено модель прогнозування траєкторії руху БПЛА за допомогою фільтра Калмана.

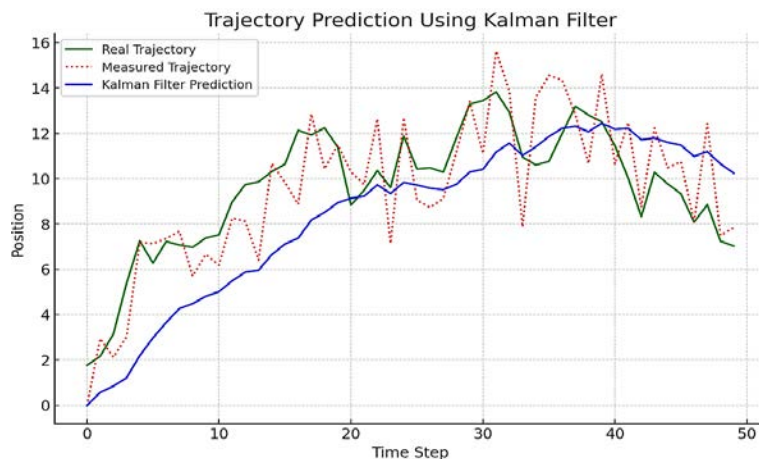


Рис. 2. Модель прогнозування траєкторії руху БПЛА за допомогою фільтра Калмана

На графіку представлено модель прогнозування траєкторії руху БПЛА за допомогою фільтра Калмана.

- Зелена лінія: реальна траєкторія.
- Червона пунктирна лінія: виміряна траєкторія з шумом.
- Синя лінія: траєкторія, спрогнозована фільтром Калмана.

Алгоритми машинного навчання відіграють ключову роль в оптимізації роботи БПЛА. Вони забезпечують розпізнавання об'єктів і місцевості, прогнозування траєкторій руху, адаптивне управління та оптимізацію енергоспоживання. Енергоспоживання залежить від ваги вантажу w , відстані маршруту d та квадратичного приросту через аеродинамічний опір.

Модель:

$$E(d, w) = E_0 + \alpha wd + \beta d^2$$

де E_0 – базове енергоспоживання, α – коефіцієнт залежності від ваги, β – коефіцієнт квадратичного приросту.

На графіку (Рис. 3) показано залежність енергоспоживання БПЛА від довжини маршруту для різних ваг вантажу (0.5 кг, 1 кг, 1.5 кг).

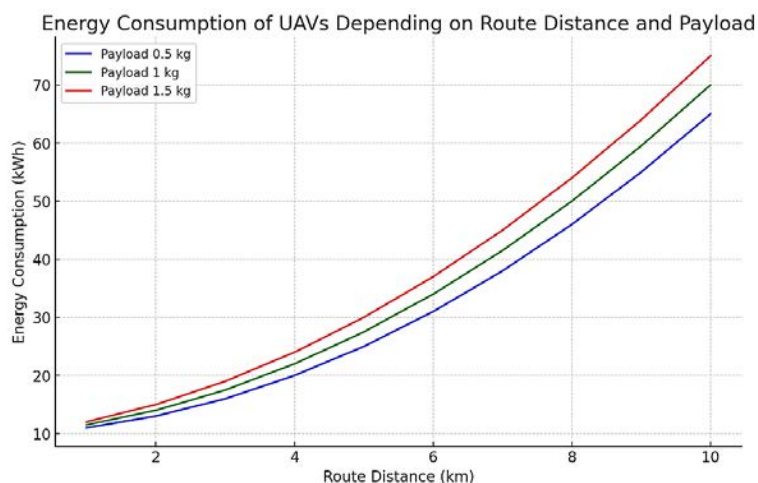


Рис. 3. Моделювання енергоспоживання

Модель враховує базове енергоспоживання, збільшення через вагу вантажу і квадратичний ріст, пов'язаний з довжиною маршруту. Це ілюструє, як підвищення ваги і тривалості польоту впливають на витрати енергії.

Завдяки машинному навчанню апарати можуть аналізувати великі масиви даних, ухвалювати оптимальні рішення в реальному часі та автоматично адаптувати свої дії до змінних умов, таких як погода чи наявність перешкод. Комп'ютерний зір, що базується на глибокому навчанні, дозволяє БПЛА

ідентифікувати об'єкти або цілі під час місій, наприклад, у пошуково-рятувальних операціях або сільському господарстві. В агрономії такі системи застосовуються для аналізу зображень рослинності, що допомагає виявляти ділянки, які потребують додаткового зрошення або обробки.

Інноваційним рішенням є багатоагентні системи, які використовують алгоритми координації для забезпечення ефективної роботи групи БПЛА. Однак впровадження таких технологій супроводжується низкою викликів, зокрема потребою у великій кількості даних для навчання моделей, високих обчислювальних потужностях і забезпеченні обробки інформації в реальному часі. Проте сучасні апаратні платформи, такі як NVIDIA Jetson або Raspberry Pi із підтримкою GPU, вже сьогодні роблять реалізацію цих рішень більш доступною.

Використання алгоритмів машинного навчання та інтеграція даних із сенсорів дають змогу досягти високого рівня автономності БПЛА у виконанні складних завдань. Наприклад, системи комп'ютерного зору на основі глибоких нейронних мереж забезпечують ефективне розпізнавання об'єктів у реальному часі. У пошуково-рятувальних операціях це дозволяє ідентифікувати людей або транспортні засоби у важкодоступних місцях, наприклад, у лісистій місцевості чи під завалами. В агрономії такі системи використовуються для аналізу стану рослинності, що дозволяє визначити ділянки з дефіцитом вологи або ураженням хворобами, оптимізуючи внесення добрив або пестицидів.

Сенсорні системи, які комбінують дані з IMU, GPS і лідарів, забезпечують точне позиціонування навіть у складних умовах. Наприклад, у міських середовищах із перешкодами для GPS-сигналу об'єднання даних із цих джерел дозволяє уникнути втрати координат і забезпечити стабільність польоту. У транспортній логістиці це дає змогу БПЛА ефективно виконувати доставку вантажів у щільно забудованих зонах [3].

Машинне навчання також активно використовується для прогнозування траєкторій руху об'єктів. У контексті управління дорожнім рухом БПЛА можуть використовувати нейронні мережі для аналізу поведінки транспортних засобів та прогнозування їхнього місця розташування в майбутні моменти часу. Це дозволяє уникати зіткнень і ефективно планувати маршрути для безпілотників, які виконують моніторинг або доставку.

Багатоагентні системи, побудовані на основі алгоритмів координації, є іншим прикладом конкретного застосування. Наприклад, у лісовому господарстві група БПЛА може проводити одночасний моніторинг великих територій, виявляючи осередки пожеж чи незаконну вирубку лісу. У таких системах алгоритми дозволяють синхронізувати рух дронів, забезпечуючи максимальне покриття території без перетинів чи прогалів.

На графіку (Рис. 4) представлено траєкторії п'яти дронів у багатоагентній системі управління на 2D площині.

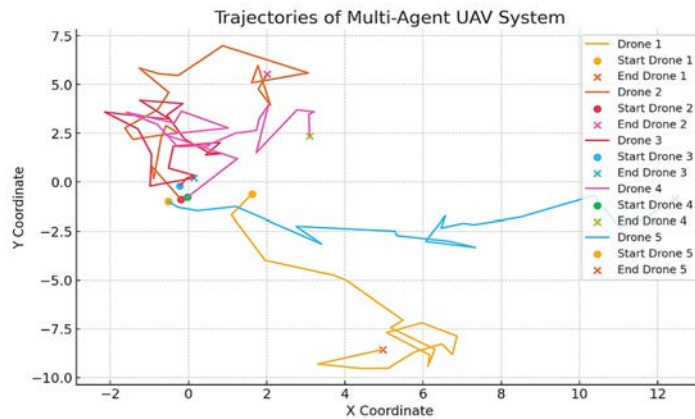


Рис. 4. Моделювання траєкторії польоту дронів

- Лінії: шляхи руху кожного дрона.
- Кружки: стартові точки дронів.
- Хрестики: кінцеві точки дронів.

Для траєкторій дронів використовувалися випадкові прогулянки:

$$T_i(t) = T_i(t - 1) + \Delta x, \Delta x \sim N(0, \sigma^2),$$

де $T_i(t)$ – координати i -го дрона в момент часу t , Δx – зміна координат, яка моделюється нормальним розподілом, σ^2 – дисперсія, яка визначає варіацію або розкид значень.

У контексті оптимізації енергоспоживання алгоритми машинного навчання аналізують поточний стан батареї, характеристики маршруту та умови польоту. Це дозволяє вибирати найбільш енергоєфективні траєкторії, що є критично важливим для тривалих місій, наприклад, у пошуково-рятувальних операціях чи моніторингу екологічного стану.

Висновки. Отже, у ході дослідження було розглянуто основні логічні та конструктивні блоки для створення систем керування БПЛА, включаючи компоненти автопілота, апаратні платформи різних архітектур та програмні рішення. Було проведено аналіз 16 апаратних і програмних платформ, які мають потенціал для використання як у практичних завданнях, так і в академічних дослідженнях. Здійснено детальне порівняння функціональних можливостей платформ, їхньої сумісності, гнучкості та відповідності до сучасних вимог галузі. Також виконано огляд дев'яти високорівневих систем управління, що дозволило виявити їхні переваги, недоліки та основні характеристики.

Особливу увагу приділено питанням інтеграції даних із різних сенсорів, використанню алгоритмів машинного навчання для оптимізації роботи БПЛА, а також перспективам впровадження інноваційних рішень, таких як багатоагентні системи та технології комп'ютерного зору. Разом із тим, виявлено низку проблем, зокрема, недостатню кількість доступної документації щодо енергоспоживання платформ та обмеженість інформації про взаємодію програмно-апаратних рішень у реальних умовах.

Подальші дослідження доцільно зосередити на детальному аналізі новітніх програмних і апаратних платформ, оцінці їхнього енергоспоживання, а також дослідженні економічної ефективності комбінованих рішень, що сприятиме розширенню можливостей використання БПЛА у різних сферах та підвищенню їхньої автономності, функціональності й ефективності.

Список використаних джерел:

1. Chengqi X., Cen Q., Yan Z. Design and research of human-computer interaction interface in autopilot system of aircrafts. 2009 IEEE 10th International Conference on Computer-Aided Industrial Design & Conceptual Design. 2009. C. 1498–1501. <https://doi.org/10.1109/CAIDCD.2009.5374997>.
2. D. Perez et al. A ground control station for a multi-UAV surveillance system: design and validation in field experiments. Journal of Intelligent & Robotic Systems. 2013. T. 69. C. 119–130. <https://doi.org/10.1007/s10846-012-9759-5>.
3. Dakhno N., Barabash O., Shevchenko H., Leshchenko O., & Dudnik A. (2021, October). Integro-differential models with a K-symmetric operator for controlling unmanned aerial vehicles using an improved gradient method. In 2021 IEEE 6th International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Development (APUAVD) (pp. 61–65). IEEE.
4. Gabriel D. L., Meyer J., du Plessis F. Brushless DC motor characterisation and selection for a fixed wing UAV. AFRICON 2011, Victoria Falls, Livingstone, Zambia, 13–15 sept. 2011 p. 2011. <https://doi.org/10.1109/afrcon.2011.6072087>.
5. Ivanenko Yuliia «Огляд методів керування безпілотними літальними апаратами» / Yuliia Ivanenko, Oleksii Liashenko, Tetiana Filimonchuk. Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. Полтава: ПНТУ, 2023. Т. 1 (71). С. 26–30. doi:<https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.1.026>.
6. L. Meier et al. PIXHAWK: A micro aerial vehicle design for autonomous flight using onboard computer vision. Autonomous Robots. 2012. T. 33, № 1-2. Pp. 21–39. <https://doi.org/10.1007/s10514-012-9281-4>.
7. L. Meier et al. PIXHAWK: A system for autonomous flight using onboard computer vision. 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Shanghai, China, 9–13 May 2011. 2011. Pp. 2992–2997. <https://doi.org/10.1109/icra.2011.5980229>.
8. Sabikan S., Nawawi S. W. Open-Source Project (OSPs) Platform for Outdoor Quadcopter. Journal of Advanced Research Design. 2016. T. 24, № 1. Groves P. D. Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems, Second Edition. Artech House, 2013.
9. Trush O., Kravchenko I., Trush M., Pliushch O., Dudnik A., & Shmat K. (2021, December). Model of the sensor network based on unmanned aerial vehicle. In 2021 IEEE 3rd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT) (pp. 138–143). IEEE.
10. Микола Микійчук, Наталія Зіганшин «Аналіз методів керування безпілотними літальними апаратами». Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Інформаційні системи та технології. 2019. Т. 80, № 4. URL: <https://science.lpnu.ua/istcmtm/all-volumes-and-issues/volume-80-no4-2019/analysis-unmanned-aerial-vehicles-control-methods>