

ПОРІВНЯННЯ СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНОГО ТА АВТОНОМНОГО КЕРУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИМИ РОБОТИЗОВАНИМИ СИСТЕМАМИ

Аспірант Остроушко Б.П., науковий керівник Волошин С.М.

У сучасному світі безпілотні робототехнічні системи відіграють важливу роль у сільському господарстві, логістиці, науці, екологічному моніторингу та рятувальних операціях. Їхня ефективність значною мірою залежить від способу керування: дистанційного чи автономного. Зростаючі вимоги до точності, безпеки та швидкості виконання завдань потребують ретельного аналізу переваг обох підходів і пошуку комбінованих рішень.

Дистанційне керування ефективне у простих або короткочасних місіях, проте залежить від стабільного зв'язку та дій оператора. Перешкоди, затримки або втрата сигналу можуть знижувати надійність системи. Натомість автономні платформи, що використовують вбудовані алгоритми, сенсори та карти, здатні працювати незалежно, особливо ефективно — у складних або небезпечних середовищах.

Сучасні системи дистанційного керування, зокрема ELRS, Crossfire, Tracer та FrSky, використовують різні протоколи, що відрізняються за частотою, дальністю, затримкою та відкритістю. Вибір протоколу суттєво впливає на ефективність роботи системи в залежності від умов експлуатації. Наприклад, ELRS — відкритий, доступний та потребує налаштування, тоді як Crossfire — дорожчий, закритий, але більш стабільний. У таблиці 1 наведено коротке порівняння ключових характеристик основних протоколів.

Таблиця 1 - Порівняння систем дистанційного керування

Протокол	Частота	Дальність	Затримка	Відкритість	Особливості
ELRS	900 МГц / 2.4 ГГц	Дуже висока	Дуже низька	Відкритий	Дешева, налаштовується вручну
Crossfire	868/915 МГц	Надзвичайно висока	Низька	Закритий	Висока стабільність, дорожчий
Tracer	2.4 ГГц	Середня	Дуже низька	Закритий	Оптимізовано для швидкодії
FrSky	2.4 ГГц / 868 МГц	Середня/висока	Середня	Частково відкритий	Популярна у хобі-сегменті, доступна

Автономні системи керування безпілотними платформами базуються на програмних фреймворках, що забезпечують обробку сенсорних даних, побудову карти оточення, планування маршрутів і прийняття рішень без участі оператора. Найпоширеніші з них — ROS, ROS 2, PX4, ArduPilot, MAVLink. Вони мають модульну архітектуру, що підтримує обмін повідомленнями між компонентами, налаштування функцій, виконання задач SLAM, автономної навігації, розпізнавання об'єктів, планування місій та інтеграцію з алгоритмами ШІ.

Поряд з ROS-подібними системами існують альтернативи, орієнтовані на вузькі задачі. MOOS підходить для морських та підводних платформ завдяки стабільності; YARP — для гуманної робототехніки й досліджень завдяки підтримці реального часу; Orocos — для точного керування у промисловості з можливістю інтеграції з ROS; LCM — для легких систем обміну даними; RT-Middleware — у наукових і японських проєктах завдяки компонентному підходу. Хоча ці фреймворки поступаються ROS за універсальністю та підтримкою, вони ефективні у спеціалізованих застосуваннях.

ROS, PX4 і ArduPilot залишаються найуніверсальнішими рішеннями для широкого спектра завдань і масштабованих систем. Натомість MOOS, YARP і Orocos краще підходять для середовищ із жорсткими вимогами до часу чи умов експлуатації. У таблиці нижче представлено порівняння їх основних характеристик.

Таблиця 2 - Порівняння автономних систем

Фреймворк	Модульність	Реальний час	Складність	Документація	Відкритість коду
ROS	Висока	Обмежена	Середня	Повна	Відкрите
ROS 2	Висока	Так	Середня	Повна	Відкрите
PX4	Висока	Так	Середня	Хороша	Відкрите
ArduPilot	Висока	Так	Низька	Дуже добра	Відкрите
LCM	Низька	Обмежена	Низька	Обмежена	Відкрите
RT-Middleware	Середня	Так	Висока	Середня	Відкрите

Сучасні тенденції в керуванні безпілотними робототехнічними системами орієнтовані на гібридні підходи, що поєднують дистанційне керування та автономність. Це забезпечує гнучкість, надійність і адаптивність у складних умовах. Використання штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання (МН) підсилює можливості систем у прийнятті рішень, розпізнаванні об'єктів і прогнозуванні. Перспективними є swarm-архітектури, де кілька пристроїв діють узгоджено. Також зростає увага до етичних аспектів і безпеки автономного керування.

Отже, проведений аналіз показав, що кожен підхід має переваги залежно від умов. Дистанційні системи ефективні за стабільного зв'язку та потреби в оперативності, тоді як автономні — у важкодоступних або небезпечних середовищах. Найперспективнішими є гібридні системи, які поєднують переваги обох підходів. Серед фреймворків ROS залишається лідером завдяки відкритості та активній спільноті, хоча MOOS, Orocos та інші мають значення у спеціалізованих застосуваннях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Open Source Robotics Foundation. ROS Documentation [Електронний ресурс]. — Open Source Robotics Foundation, 2024. — Режим доступу: <https://wiki.ros.org/>, вільний. [дата звернення: 20.04.2025].
2. PX4 Development Team. PX4 autopilot user guide [Електронний ресурс]. — Dronocode Foundation, 2024. — Режим доступу: <https://docs.px4.io/main/en/>, вільний. [дата звернення: 20.04.2025].
3. MIT Marine Robotics Group. MOOS-IvP autonomy software [Електронний ресурс]. — Massachusetts Institute of Technology, 2024. — Режим доступу: <https://oceanai.mit.edu/moos-ivp/>, вільний. [дата звернення: 20.04.2025].

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**



**ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРИКЛАДНІ
АСПЕКТИ РОЗРОБКИ
КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ**

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ ЗА МАТЕРІАЛАМИ
VII ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
СТУДЕНТІВ І АСПІРАНТІВ
*24 квітня 2025 року***

Київ 2025

УДК 004

Відповідальна за випуск: М.І. Лендел

Збірник наукових праць за матеріалами VII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів і аспірантів «ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ РОЗРОБКИ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ '2025», 24 квітня 2025 року, НУБіП України, Київ. – 452 с. (електронне видання)

Відповідальність за зміст публікацій несуть автори.

Передрук матеріалів, а також використання їх будь-якій формі допускається лише з дозволу авторів