

УДК 621.396.67

Гарачук С.А.¹, Онищенко В.Ф.²

¹ старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

² канд. фіз.-мат. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЦИФРОВОЇ ПЕРЕДАЧІ ВІДЕО З ВИКОРИСТАННЯМ WIFI 6E

Сучасні безпілотні літальні апарати та мобільні роботизовані платформи все частіше використовують цифрові відеосистеми для реалізації FPV (First Person View), автоматичної навігації, управління завданнями, а також для інтелектуальної обробки даних, яка включає застосування алгоритмів штучного інтелекту та машинного навчання для аналізу відеопотоку, визначення об'єктів і перешкод, прогнозування маршрутів, а також обробки сенсорних даних для забезпечення точної навігації та орієнтації в реальному часі. Сучасні вимоги до таких систем включають необхідність забезпечення високошвидкісного каналу передачі відео з мінімальною затримкою для стабільної передачі інформації в реальному часі. Традиційно для таких завдань використовуються аналогові відеосистеми, що працюють у діапазоні 5.8 ГГц. Хоча ці системи мають хорошу дальність передачі сигналу та простоту використання, вони обмежені у якості відео, адаптивності та здатності до підтримки стабільної цифрової передачі потоку, що є критичним для сучасних дронів та роботизованих платформ. У зв'язку з цим виникає потреба в створенні нових високоякісних відеосистем, здатних працювати на великих відстанях з мінімальною затримкою та інтегруватися з іншими системами управління та моніторингу.

Використання стандарту WiFi 6E відкриває нові перспективи для створення цифрових систем передачі відео, оскільки цей стандарт підтримує

передачу даних у 6-гігагерцовому діапазоні, що дозволяє уникнути переважанню частотного спектру, який характерний для традиційних аналогових систем. Низька затримка, висока пропускна здатність і можливість стабільної роботи у складних умовах знижують обмеження аналогових систем і дозволяють досягти значно кращих показників якості. Це робить WiFi 6E ідеальним вибором для побудови сучасних цифрових FPV-систем для БПЛА, що не лише відповідають вимогам щодо стабільності передачі, але й перевершують традиційні аналоги за якістю зображення та здатністю до адаптивного управління відеопотоком.

WiFi 6E є розширенням стандарту WiFi 6, що дозволяє використовувати новий 6-гігагерцовий діапазон для бездротової передачі даних. Цей стандарт підтримує до 59 нових 20-МГц каналів, а також ширші канали 40, 80 та 160 МГц для передачі даних з високою швидкістю.

Основними технічними перевагами WiFi 6E є:

- пропускна здатність — до 9.6 Гбіт/с для всієї мережі, з можливістю досягати швидкості ~1-2 Гбіт/с на одному з'єднанні, що дає змогу передавати відео з роздільною здатністю 4K або вище без втрат якості та затримок;

- низька затримка — що дозволяє ефективно використовувати цей стандарт для реального часу, зокрема для керування дронами;

- висока щільність каналів — завдяки використанню нових каналів у діапазоні 6 ГГц, WiFi 6E здатен забезпечити менше перешкод і більше стабільних з'єднань, навіть у щільних міських умовах з великою кількістю користувачів;

- сучасні технології модуляції — використання технологій OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), MU-MIMO (Multi-User MIMO) та QAM-1024 дозволяє ефективно використовувати доступний спектр частот та передавати дані з високою надійністю.

Незважаючи на переваги, високі частоти в діапазоні 6 ГГц можуть мати більші втрати при поширенні сигналу, що зменшує ефективну дальність передачі порівняно з більш низькими частотами, такими як 5.8 ГГц або 2.4 ГГц. Тому для оптимального функціонування системи необхідно ретельно підбирати антену, враховуючи її спрямованість і потужність передавача.

Порівнюючи цифрову та аналогову передачу відео, можна зробити кілька ключових висновків. Аналогові системи працюють з безперервним електричним сигналом, що дозволяє знижувати затримку до 10 мс, однак вони мають істотні обмеження. Зокрема, аналогові системи не здатні забезпечити високу якість зображення, стійкість сигналу в умовах погіршення зв'язку та можливість адаптації до змінних умов передачі. У порівнянні з ними, цифрові системи надають низку переваг:

- адаптивне кодування — це використання сучасних алгоритмів, таких як H.264 або H.265, дозволяє значно знижувати вимоги до пропускної здатності без втрати якості зображення;

- шифрування трафіку — використовується для забезпечення безпеки даних у критичних сферах (військових чи промислових застосуваннях) цифрові системи підтримують можливість шифрування переданих даних;

- multicast — це цифрові системи, які дозволяють одночасно підключати кілька приймачів до одного джерела відеопотоку, що відкриває нові можливості для багатоцільового використання;

- інтеграція з іншими мережами — це інтегрування в більш широкі інфраструктури, що забезпечує зручність і підвищену безпеку передачі даних.

Для реалізації цифрових відеосистем з високою якістю зображення та можливістю налаштування в реальному часі одним із потужних рішень є Open IPC. Ця відкрита програмна платформа для IP-камер, побудована на базі Linux, надає широкі можливості для управління відеопотоком, кодуванням та мережевими інтерфейсами, що дозволяє адаптувати її під різноманітні умови роботи, зокрема у середовищі безпілотних літальних апаратів (БПЛА).

Open IPC підтримує:

- потокове відео через RTSP, HLS, SRT;

- кодування у форматах H.264, H.265 з можливістю налаштування бітрейту та роздільної здатності;

- вбудовані Web-інтерфейси, CLI та API для зручного керування.

Ця гнучка і масштабована платформа дозволяє інтегрувати цифрові відеосистеми в системи БПЛА, забезпечуючи високоякісну передачу відео з налаштуваннями, що відповідають вимогам реального часу та умовам роботи.

Розробка цифрової системи передачі відео на базі WiFi 6E має великий потенціал для заміни традиційних аналогових FPV-систем у безпілотних літальних апаратах. Така система забезпечує високу якість відео, надійність, безпеку, а також можливість інтеграції в широкую інфраструктуру, що відкриває нові можливості для розширення функціоналу. Платформи на зразок Open IPC сприяють спрощенню розробки таких систем, надаючи інструменти для точного налаштування параметрів відеопотоку та оптимізації його ефективності. Однак для успішної реалізації таких рішень необхідно ретельно оптимізувати апаратне забезпечення та мережеві протоколи, що дозволить досягти високої ефективності в реальних умовах експлуатації.

У зв'язку з цим, дослідження в цьому напрямку має велику актуальність, і передбачає кілька ключових напрямків:

- оптимізація антен — вивчення різних типів антен для покращення дальності та стабільності сигналу в реальних умовах;
- адаптивне кодування — вдосконалення алгоритмів динамічного коригування бітрейту в залежності від стану каналу для оптимізації використання спектру;
- зниження енергоспоживання — дослідження впливу частоти передачі на час роботи БПЛА та розробка енергоефективних рішень;
- інтеграція з телеметрією та автопілотом — розширення можливостей системи завдяки інтеграції з іншими компонентами для передачі даних навігації та автоматизації місій;
- безпека — посилення захисту даних через шифрування для забезпечення безпеки в критичних та оборонних застосуваннях;
- вплив середовища — оцінка завадостійкості та аналіз впливу міських умов і WiFi-шуму на ефективність системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Open IPC Documentation. URL: <https://openipc.org/>. (дата звернення: 12.04.2025)
2. "IEEE Standard for Information Technology–Telecommunications and Information Exchange Between Systems Local and Metropolitan Area Networks–Specific Requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 1: Enhancements for High-Efficiency WLAN Standard 802.11ax-2021", May 2021.