

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВІДПРАЦЮВАННЯ РЕТРАНСЛЯЦІЙНИХ ВУЗЛІВ СУЗІР'Я ДРОНІВ

**Кравчук С.О., Кайденко М.М., Афанасьєва Л.О., Кравчук І.М.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. І. Сікорського, Україна*

*E-mail: sakravchuk@ukr.net*

### **Experimental testing of the relay node drones constellation**

The main goal of this work is the experimental development of the basic principles of controlling a swarm (constellation) of drones and the formation of a cooperative relay system, which were theoretically justified and defined in earlier works of the authors.

Основною метою даної роботи є експериментальне відпрацювання базових принципів керування рою (сузір'я) дронів та формування кооперативної системи ретрансляції, що були теоретично обґрунтовані та визначені в ранішніх роботах [1-5].

Рій (сузір'я) дронів був сформований із 5 квадрокоптерів Syma X8 PRO, причому тільки три з них (позиції 2, 3, 4 на рис. 1) були оснащені додатковими трансиверами на базі ADALM-Pluto Radio (рис. 2) і без відеокамери, ще два дрона (позиції 1 і 5 на рис. 1) виконували функцію постановників додаткових завад в каналах керування.

Наземна система керування (НСК) складалась із: пультів керування дронів Syma, об'єднаних через Bluetooth-канали з комп'ютером керування (КК) так, що з КК можна було керувати їх польотом (кожного окремо); приймально-передавального блоку на базі ADALM-Pluto Radio, який підключений до того ж КК, основною функцією якого було забезпечення радіоканалів обміну даних з дронами та кооперація між ними.



Рис. 1. Зависання рою дронів на висоті 35...40 м (жовтень 2019 р.)

Квадрокоптер Syma X8 PRO є досить великим літальним апаратом (50x50x19 см), політ якого цілком стабільний в безвітряну погоду і при

слабкому вітрі. Бовтанка виникає при швидкості вітру в 4-5 м/с і вище. Час польоту в значній мірі залежить від погодних умов, але не перевищує 8-9 хвилин. Дальність керування досягає 200 м. Квадрокоптер укомплектований класичними колекторними двигунами, що забезпечують плавний і рівний політ. Додаткова вантажопідйомність Syma X8 Pro становить 200 г.



а)



б)

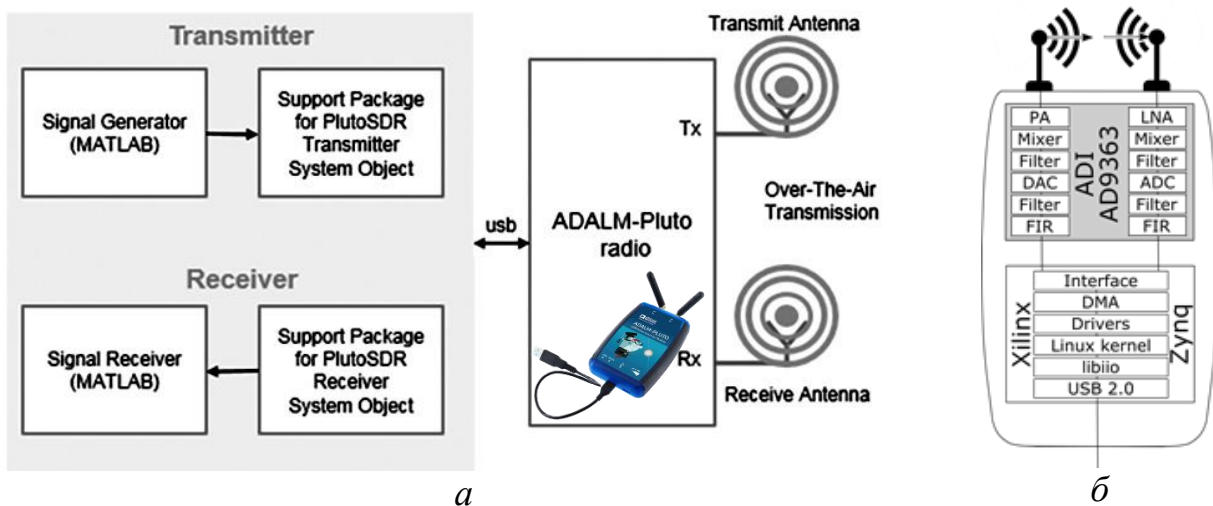
Рис. 2. Зображення квадрокоптера Syma X8 PRO із модулем ADALM-Pluto Radio.

Інтегрований датчик тиску дозволяє машині зберігати висоту, а в поєднанні з блоком GPS і 6-осевим гіроскопом - ще й утримувати позицію (функція Hover). Система безпеки польотів представлена кількома різновидами режиму автоматичного повернення (RTH) і «безголовим» режимом. Квадрокоптер Syma X8 PRO оснащений FPV (Wi-Fi) HD-камерою, яка дозволяє як записувати фото і відео на карту пам'яті, так і передавати на телефон в режимі реального часу. В ході польотів від першої особи дрон здатний летіти на 70 м. Каналом відеозв'язку є звичайний Wi-Fi, який працює в діапазоні 2,4 ГГц. Застосування для підключення квадрокоптера до смартфона можна скачати на Play Market або App Store.

Портативний автономний модуль (Design software-defined radio, SDR) радіочастотного навчання Analog Devices ADALM-Pluto Radio заснований на високо інтегрованому високочастотному приймально-передавальному чіпі AD9363 компанії Analog Devices і FPGA Zynq Z-7010 компанії Xilinx (рис. 3). Перекриває частоти в діапазоні від 325 МГц до 3,8 ГГц, миттєва ширина смуги до 20 МГц, змінна швидкість обміну даними, 12-розрядні АЦП і ЦАП, містить один передавач і один приймач, може працювати як в повнодуплексному, так і в напівдуплексному режимі, підтримка MATLAB і Simulink, блоки приймача і передавача GNU Radio.

Для керування модулем було використано програмне забезпечення бібліотеки «Communications Toolbox Support Package for Analog Devices ADALM-Pluto Radio» (<https://se.mathworks.com/help/supportpkg/plutoradio/index.html>).

Послідовність роботи експериментальної системи наступна. Спершу кожен з дронів окремо був піднятий на висоту зависання за допомогою системи керування Syma. Запуск усіх дронів одразу, нажаль, із-за пересічних завад системи керування не вдался.



а

б

Рис. 3. Структурні схеми:

- а) взаємодії між Simulink, блоком передавача Pluto і радіоустаткуванням;  
 б) модуля ADALM PLUTO.

Три експериментальні дрони послідовно підключались (подавався потік даних) так, щоб сигнал на приймачі НСК був мінімальний, але при якому ще можливе підтримання радіозв'язку QPSK із допустимим рівнем бітових помилок (орієнтовно  $10^{-4}$ ). При цьому заміри відношення сигнал/шум від дронів склали 11-12 дБ. Потрібно відмітити, що головним мінусом модулів ADALM-Pluto є їх нестабільність частотної опори. Тому весь час (на початку передачі наступного барсту) проводилась синхронізація модулів. В режимі традиційної кооперативної ретрансляції цільовим приймачем був дрон 2 або 4, дрон 3 виконував функцію кооперативного ретранслятора. Джерелом сигналу і системою керування кооперативної роботи дронів виступав КК і наземний модуль ADALM-Pluto. Перехід системи в режим кооперативної ретрансляції дозволив підвищити енергетику радіолінії до дронів на 2-3 дБ.

### Література

1. Advanced in the telecommunications 2019: monograph / by edited M.Y. Pchenko, S.O. Kravchuk, Kyiv, 2019, 336 p. (ISBN 978-617-7734-12-2).
2. Kravchuk S., Afanasieva L. Formation of a wireless communication system based on a swarm of unmanned aerial vehicles // Information and Telecommunication Sciences. - 2019. - No 1. - 11-18 p. DOI: <https://doi.org/10.20535/2411-2976.12019.11-18>
3. Кравчук С.О. Безпілотний літальний апарат в якості мобільного М2М-шлюзу для безпроводових всепроникаючих мереж // Матер. 13-ї міжнар. наук.-техн. конф. "Перспективи телекомунікацій", 15–19 квітня, 2019 р. – К.: Хімджест, 2019. – С. 179–181.
4. Кравчук С.О., Кравчук І.М. Підходи та стратегії щодо колективного керування роєм дронів // Матер. 13-ї міжнар. наук.-техн. конф. "Перспективи телекомунікацій", 15–19 квітня, 2019 р. – К.: Хімджест, 2019. – С. 170–174.
5. Ільченко М.Ю., Кайдєнко М.М., Кравчук С.О. Структурно-функціональні принципи побудови системи управління та зв'язку бортового і наземної обладнання телекомунікаційної мережі на основі аероплатформ // Матер. 12-ї міжнар. наук.-техн. конф. "Проблеми телекомунікацій", 16–20 квітня, 2018 р. – К.: Хімджест, 2018. – С. 26–29.