

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДКЛЮЧЕННЯ ПУЛЬТІВ КЕРУВАННЯ FPV-ДРОНАМИ ДО ПК ДЛЯ СИМУЛЯЦІЇ ПОЛЬОТУ

Раєнко Т.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки, 14

E-mail: tymofii.raienko@nure.ua

Анотація: У статті проведено аналіз основних методів підключення пультів керування FPV-дронами до персонального комп'ютера з метою використання у програмних симуляторах польоту. Розглянуто технічні особливості пультів FlySky, FrSky, Radiolink та Jumper, а також їхню сумісність із популярними адаптерами та контролерами. Особливу увагу приділено найбільш поширеному способу підключення – через PPM/USB-адаптер, як найбільш доступному та ефективному рішення для масового впровадження у системи підготовки операторів. Оцінено переваги та недоліки альтернативних методів, зокрема використання приймачів, контролерів польоту з HID-підтримкою та Arduino-емуляторів. Показано, що обрана технологія дозволяє організувати навчальний процес із мінімальними фінансовими витратами, що є надзвичайно актуальним у військових умовах. Запропоновані рекомендації можуть бути корисними для розробників навчального обладнання, викладачів та інструкторів у сфері підготовки дрон-операторів.

Ключові слова: FPV-дрон, пульт керування, симулятор польоту, PPM-адаптер, FlySky FS-i6X, HID, USB-донгл, підготовка операторів, Arduino.

ANALYSIS OF METHODS OF CONNECTING FPV DRONE CONTROLLERS TO A PC FOR FLIGHT SIMULATION

Raienko T.

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, pr. Sciences, 14

E-mail: tymofii.raienko@nure.ua

Annotation: The article analyzes the main methods of connecting FPV drone control panels to a personal computer for use in software flight simulators. The technical features of FlySky, FrSky, Radiolink and Jumper control panels are considered, as well as their compatibility with popular adapters and controllers. Particular attention is paid to the most common connection method - via a PPM/USB adapter, as the most affordable and effective solution for mass implementation in operator training systems. The advantages and disadvantages of alternative methods are assessed, in particular the use of receivers, flight controllers with HID support and Arduino emulators. It is shown that the selected technology allows you to organize the training process with minimal financial costs, which is extremely relevant in military conditions. The proposed recommendations may be useful for developers of training equipment, teachers and instructors in the field of training drone operators.

Keywords: FPV drone, remote control, flight simulator, PPM adapter, FlySky FS-i6X, HID, USB dongle, operator training, Arduino

В умовах повномасштабної збройної агресії Російської Федерації проти України, що триває з 2022 року, надзвичайно зростає потреба у високоточних, мобільних та ефективних засобах ведення бойових дій. Одним із ключових напрямків технологічного посилення

обороздатності стали FPV-дрони, які завдяки своїй маневреності, швидкості та точності відіграють важливу роль у розвідці, коригуванні вогню та знищенні техніки противника.

Проте ефективне використання FPV-дронів напряду залежить від професійної підготовки операторів, здатних швидко реагувати в бойових умовах. Через високий ризик втрати техніки на полі бою, зростає необхідність у створенні реалістичних симуляторів польоту, які дозволяють тренувати навички управління FPV-дроном без ризику пошкодження або втрати дорогого обладнання.

У зв'язку з цим, розробка модуля підключення пульта керування FPV-дроном до симулятора польоту є надзвичайно актуальною. Такий модуль дозволяє використовувати реальний пульт дистанційного керування (який застосовується у бойових умовах) для роботи в середовищі симуляції. Це значно підвищує реалістичність тренування, дозволяє адаптуватися до особливостей керування та підготувати операторів до реальних ситуацій на фронті.

Крім того, в умовах обмежених фінансових та ресурсних можливостей воєнного часу, використання симуляторів для масової підготовки операторів дозволяє зекономити ресурси, зменшити витрати на техніку та забезпечити безперервність навчального процесу навіть в тилкових або евакуаційних умовах.

Таким чином, запропоноване дослідження є надзвичайно важливим і своєчасним, оскільки напряду сприяє посиленню оборооздатності України, підвищенню ефективності дронівих підрозділів та розвитку сучасних технологій військової підготовки. На даній час існують наступні популярні пульти керування FPV-дронами, загальний вигляд яких представлені на рисунку 1.



a) FlySky FS-i6X [1];
б) Radiolink AT9S / AT9S Pro [2];
в) Jumper T12 / T16 / T18 [3];
г) FrSky X9 Lite [4];
Рисунок 1 – Загальний вигляд пультів керування FPV-дронами

Порівняння технічних характеристик пультів керування FPV-дронами, представлено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняння технічних характеристик пультів керування FPV-дронами

Характеристика	FlySky FS-i6X	Radiolink AT9S	Jumper T12 / T16	FrSky X9 Lite
1	2	3	4	5
Кількість каналів	6	10	12	24
Радіочастота	2.4 ГГц			
Протоколи	AFHDS / AFHDS 2A	PPM / SBUS / PWM / S.PORT	FlySky, FrSky, DSMX,	FrSky ACCST / ACCESS
Операційна система	Пропріетарна (FlySky)	Пропріетарна (Radiolink)	OpenTX / EdgeTX	OpenTX / EdgeTX
USB підключення (симулятор)	Через USB-адаптер	Через mini-USB або адаптер	Пряме USB-підключення	Пряме USB-підключення
Підтримка модулів	Ні	Ні	Так (JR-модуль, багатопроTOCOLний)	Так (Lite модульний слот)
Цінова категорія	~ 50 \$	~ 80-100 \$	~ 100-180 \$	~ 100-130 \$

Розробка модуля-адаптера для підключення пульта керування FlySky FS-i6X до ПК є актуальною через зростаючу потребу в ефективній підготовці операторів FPV-дронів у безпечному симуляційному середовищі. Пульт FS-i6X є одним із найпоширеніших і найдоступніших варіантів серед українських військових та волонтерів, проте він не має прямого USB-з'єднання для роботи з комп'ютером. Створення адаптера дозволить використовувати цей пульт у популярних симуляторах польоту, що значно підвищить якість тренувань без потреби у дорогому обладнанні. Це особливо важливо в умовах воєнного стану, коли економія ресурсів та оперативність підготовки кадрів є критично важливими. Таке рішення також сприятиме стандартизації навчання та забезпеченню сумісності між бойовим обладнанням та тренувальними комплексами. Адаптер зробить можливим використання вже наявних пультів у нових задачах без необхідності закупівлі додаткових пристроїв. У результаті, впровадження такого модуля підвищить ефективність і доступність підготовки операторів, що напряду вплине на обороноздатність України.

Проведемо аналіз існуючих методів підключення пульта керування FlySky FS-i6X до ПК для використання в симуляторах польоту, порівняльний результат даних методів приведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Порівняння переваг та недоліків методів підключення пульта керування FlySky FS-i6X до ПК

Метод	Опис	Переваги	Недоліки
1	2	3	4
Через кабель-адаптер PPM/USB (USB-донгл)	Підключення здійснюється через тренувальний порт (PPM) пульта FS-i6X (на верхній частині пульта). Використовується спеціальний USB-адаптер (наприклад, на базі мікроконтролера STM32 або Arduino), який зчитує сигнали з пульта і передає їх на ПК як HID-геймпад	Працює у більшості симуляторів, не потребує перепрошивки пульта	Вотрібно самостійно виготовити або купити адаптер (~ 10–20 \$)
Через підключення приймача iA6B (або іншого) до USB-контролера	Використовувати приймач (RX), підключений до Arduino/STM32/Flight Controller (наприклад, на базі Betaflight). Приймач з'єднується з платою (наприклад, через SBUS/IBUS), а плата через USB – до комп'ютера. Система імітує сигнал джойстика	Підходить для власноручних DIY-проектів, де вже є контролер	Вимагає навичок пайки та налаштування Betaflight/Arduino
Використання Flight Controller з підтримкою симуляторів (Betaflight, iNav)	Цей метод передбачає підключення пульта до звичайного дрон-контролера (наприклад, Matek, Omnibus, тощо), а потім – контролера через USB до ПК. У Betaflight є спеціальна функція "Joystick HID", яка дозволяє використовувати контролер як вхідний пристрій	Універсальне рішення для симуляторів і реальних дронів	Не всі контролери підтримують HID; складніше налаштування
Через зовнішній емулятор (VJoy + Arduino)	Цей підхід полягає у створенні віртуального джойстика за допомогою програмного забезпечення VJoy і мікроконтролера Arduino, який перетворює сигнали IBUS/PPM з пульта у сигнали джойстика	Гнучке рішення для експериментів	Потребує більше програмного та апаратного налаштування

Використання методу підключення пульта керування FlySky FS-i6X до ПК через кабель-адаптер PPM/USB (USB-донгл) є найбільш доцільним і практичним рішенням для створення тренажерної системи управління FPV-дроном. Цей підхід дозволяє безпосередньо зчитувати сигнали з тренувального порту пульта й передавати їх до комп'ютера у вигляді стандартного ігрового контролера (HID), що забезпечує сумісність з більшістю популярних симуляторів польоту без складних налаштувань або додаткового програмного забезпечення. На відміну від варіантів з використанням приймачів чи контролерів польоту, цей метод є більш бюджетним, простим у реалізації та не потребує втручання в прошивку чи конфігурацію пульта. Крім того, це дає змогу задіяти широкий парк наявних пультів FlySky, які вже активно використовуються

у навчанні та польових умовах. Простота підключення та стабільність передачі сигналу роблять цей метод оптимальним вибором для масового впровадження у тренувальні комплекси. У воєнний час це дозволяє швидко розгортати симуляційні платформи для підготовки операторів без значних фінансових витрат. Такий підхід значно прискорює процес навчання, підвищуючи рівень підготовки та впевненості операторів при реальному використанні FPV-дронів на фронті.

ВИСНОВКИ. У результаті проведеного аналізу встановлено, що існує кілька ефективних методів підключення пультів керування FPV-дронами до персонального комп'ютера для використання у тренувальних симуляторах польоту. Серед розглянутих способів найбільш оптимальним з точки зору вартості, простоти реалізації та сумісності з програмним забезпеченням є метод підключення через кабель-адаптер PPM/USB. Він дозволяє швидко інтегрувати пульт FlySky FS-i6X та подібні моделі до ПК без потреби в додаткових прошивках або складних налаштуваннях. Альтернативні варіанти, такі як підключення через приймачі або контролери з HID-підтримкою, також є працездатними, однак вимагають більше технічних знань та ресурсів. У сучасних умовах воєнного стану та зростаючої потреби у швидкій підготовці операторів FPV-дронів для виконання бойових завдань, обраний метод дозволяє максимально ефективно організувати навчальний процес навіть у польових умовах. Впровадження недорогих рішень для тренувань із використанням вже наявного обладнання значно розширює доступ до якісної симуляції польотів і сприяє підвищенню рівня бойової підготовки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. FlySky FS-I6X 10Ch - радіоапаратура з приймачем FS-IA6B та телеметрією. URL: <https://dron-shop.com.ua/fpv/flysky-fs-i6x-10ch> (час доступу 19.04.2025)
2. Radiolink at9s. URL: <https://prom.ua/ua/Radiolink-at9s.html> (час доступу 19.04.2025)
3. Jumper t16. URL: <https://prom.ua/ua/Jumper-t16.html> (час доступу 19.04.2025)
4. Frsky Taranis X9 Lite - радіоапаратура для FPV керування з операційною системою OpenTX. URL: https://dron-shop.com.ua/fpv/fpv_remote_control/frsky-taranis-x9-lite (час доступу 19.04.2025)
5. Šilić, M., Sužnjević, M., Skorin-Kapov, L., Skorin-Kapov, N., & Lorenzana, M. I. (2024). The impact of video encoding parameters on QoE of simulated FPV drone control. *Multimedia tools and applications*, 83(28), 71525-71557.
6. Xiao, H., Krishna Kumar, P., Pothuri, J. P., Soni, P., Butcher, E., & Chowdhury, S. (2024). An Open-source Hardware/Software Architecture and Supporting Simulation Environment to Perform Human FPV Flight Demonstrations for Unmanned Aerial Vehicle Autonomy. In *AIAA AVIATION FORUM AND ASCEND 2024* (p. 4458).
7. Gokul, S. P., Sayooj, M. J., Yunus, A. A., Suresh, A., & Vinoy, P. G. (2024, November). Optimizing firefighting performance with FPV drones. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3134, No. 1). AIP Publishing.
8. Šilić, M., Sužnjević, M., Skorin-Kapov, L., Skorin-Kapov, N., & Lorenzana, M. I. (2024). The impact of video encoding parameters on QoE of simulated FPV drone control. *Multimedia tools and applications*, 83(28), 71525-71557.
9. Górski, M., Prykhodzenko, V., Karamon, T., & Caban, J. (2025). Technical and Economic Analysis of a Robotic Station for Assembling the FPV Drone Body. *LOGI: Scientific Journal on Transport and Logistics*, 16(1), 37-48.

10. Attar, H., Abu-Jassar, A. T., Yevsieiev, V., Lyashenko, V., Nevliudov, I., & Luhach, A. K. (2022). Zoomorphic mobile robot development for vertical movement based on the geometrical family caterpillar. *Computational intelligence and neuroscience*, 2022(1), 3046116.
11. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2022, September). Object Recognition for a Humanoid Robot Based on a Microcontroller. In 2022 IEEE XVIII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH) (pp. 61-64). IEEE.
12. Attar, H., Abu-Jassar, A. T., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Khosravi, M. R. (2022). Control system development and implementation of a CNC laser engraver for environmental use with remote imaging. *Computational intelligence and neuroscience*, 2022(1), 9140156.
13. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Baker, J. H., Ahmad, M. A., & Lyashenko, V. (2020). Development of a cyber design modeling declarative Language for cyber physical production systems. *J. Math. Comput. Sci.*, 11(1), 520-542.
14. Yevsieiev, V. Comparative Analysis of the Characteristics of Mobile Robots and Collaboration Robots Within INDUSTRY 5.0. / V. Yevsieiev, D. Gurin // Sectoral research XXI: characteristics and features: collection of scientific papers "SCIENTIA" with proceedings of the VI International Scientific and Theoretical Conference, September 8, 2023. - Chicago: European Scientific Platform, 2023. - P. 92-94.
15. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2025). Development and Investigation of Vision System for a Small-Sized Mobile Humanoid Robot in a Smart Environment. *International Journal of Crowd Science*, 9(1), 29-43.
16. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2023, September). Mobile Robot Navigation System Based on Ultrasonic Sensors. In 2023 IEEE XXVIII International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED) (Vol. 1, pp. 247-251). IEEE.
17. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2024). Remote Monitoring System of Patient Status in Social IoT Environments Using Amazon Web Services (AWS) Technologies and Smart Health Care. *International Journal of Crowd Science*, 8.
18. Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., & Maksymova, S. (2024). Calculation of the Distance to Objects in Collaborative Robots Workspace Using Computer Vision. *Journal of universal science research*, 2(11), 240-255.
19. Yevsieiev, V., Maksymova, S., Gurin, D., & Alkhalailah, A. (2024). Data Fusion Research for Collaborative Robots-Manipulators within Industry 5.0. *ACUMEN: International journal of multidisciplinary research*, 1(4), 125-137.
20. Yevsieiev, V., Alkhalailah, A., Maksymova, S., & Gurin, D. (2024). Research of Existing Methods of Representing a Collaborative Robot-Manipulator Environment within the Framework of Cyber-Physical Production Systems. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 112-120.
21. Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., Maksymova, S., & Gurin, D. (2024). Human Operator Identification in a Collaborative Robot Workspace within the Industry 5.0 Concept. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 95-105

Науковий керівник: Гурін Дмитро Валерійович, старший викладач кафедри КІТАР Харківського Національного Університету Радіоелектроніки