

УДК 004.75

DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2025.4.16>

Олександр ЛАСТІВКА

аспірант 2-го року навчання спеціальності 126 Інформаційні системи та технології,
Державне некомерційне підприємство «Державний університет «Київський авіаційний інститут»,
2450626@stud.kai.edu.ua

ORCID: 0009-0005-4754-259X

МЕТОД ОБРОБКИ РІЗНОТИПНИХ ДАНИХ В КАНАЛІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ БПЛА

Анотація. У статті запропоновано метод обробки різномісних даних у каналі інформаційної системи безпілотних літальних апаратів заснований на уніфікованому представленні дискретних команд та сенсорних числових рядів. Наведено математичну модель каналу обробки та показано зменшення кількості обробних етапів за рахунок їхньої уніфікації. Проведене моделювання демонструє підвищення оперативності функціонування системи керування.

Мета. Підвищення оперативності обробки різномісних даних у каналі інформаційної системи безпілотних літальних апаратів шляхом їх уніфікованого представлення.

Методологія. Метод базується на приведенні дискретних команд та сенсорних даних до єдиного формального простору представлення, що дозволяє застосовувати спільну послідовність операцій обробки. Математична модель каналу описана як впорядкована система перетворень, для якої встановлено критерій оперативності на основі порівняння кількості обчислювальних операцій.

Наукова новизна. Підходи, що застосовуються сьогодні, здебільшого обробляють команди та сенсорні дані роздільно. Сучасні дослідження в області інформаційних технологій БПЛА показують необхідність уніфікації потоків даних, але формальна математична модель каналу обробки різномісних даних у відкритих працях відсутня – і саме це є науковою новизною роботи.

Висновки. Запропонований метод дозволяє скоротити кількість обробних етапів та забезпечує зменшення часу обробки даних у каналі інформаційної системи. Модель підтверджує доцільність уніфікації різномісних потоків як основи підвищення оперативності систем керування.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, інформаційна система, обробка даних, уніфікація даних, канал обробки, оперативність, математична модель.

Oleksandr LASTIVKA. METHOD FOR PROCESSING DIFFERENT TYPES OF DATA IN THE CHANNEL OF THE UAV INFORMATION SYSTEMS

Abstract. The article proposes a method for processing different types of data in the information system channel of unmanned aerial vehicles based on a unified representation of discrete commands and sensor numerical series. A mathematical model of the processing channel is presented and a reduction in the number of processing stages due to their unification is shown. The modelling demonstrates an increase in the operational efficiency of the control system.

Objective. Improving the efficiency of processing different types of data in the information system channel of unmanned aerial vehicles by means of their unified representation.

Methodology. The method is based on bringing discrete commands and sensor data into a single formal representation space, which allows the application of a common sequence of processing operations. The mathematical model of the channel is described as an ordered system of transformations for which an efficiency criterion is established based on a comparison of the number of computational operations.

Key words: unmanned aerial vehicle, information system, data processing; data unification, processing channel, efficiency, mathematical model.

Вступ. Безпілотні літальні апарати (БПЛА) функціонують в умовах необхідності обробки та передачі даних різної природи в реальному часі. До таких даних належать команди керування (дискретні події) та сенсорні вимірювання (числові часові ряди). Різномісність цих даних ускладнює їх сумісну обробку та потребує формалізації каналу передачі як елемента інформаційної системи БПЛА.

Актуальною є задача розробки методу уніфікованої обробки різномісних даних, що забезпечує зменшення часу обробки (оперативність) та підвищення узгодженості інформаційних процесів у контурі керування.

Виклад основного матеріалу. У сучасних інформаційних системах [1–3] БПЛА функціонування контуру керування визначається здатністю системи своєчасно реагувати на зміну зовнішніх та внутрішніх параметрів [8–10]. Центральним механізмом цієї реакції є канал обробки даних, який

забезпечує трансформацію вхідних сигналів у керуючі дії. При цьому у межах єдиного інформаційного процесу циркулюють різнотипні дані, зокрема дискретні команди керування та неперервні сенсорні вимірювання. Відмінність їхнього формату, частоти надходження та інформативної структури ускладнює їх спільну обробку за єдиним алгоритмічним принципом.

Класичні підходи до побудови каналів керування передбачають роздільну обробку різних типів даних, що призводить до деструктивних ефектів: збільшення кількості обчислювальних процедур, затримок між отриманням і застосуванням керуючих команд, та виникнення темпоральної неузгодженості між сигналами сенсорів і подіями керування. У результаті погіршується оперативність функціонування системи, що є критичним для БПЛА [4–5].

З метою усунення зазначених недоліків запропоновано метод уніфікованої обробки різнотипних даних, у межах якого канал інформаційної системи БПЛА розглядається як послідовність формальних перетворень над елементами спільного інформаційного простору представлення даних. Такий підхід дозволяє скоротити кількість етапів обробки та забезпечити інваріантність алгоритмічних операцій відносно природи вхідних даних.

Нехай на вхід каналу інформаційної системи БПЛА надходять два типи даних:

Крок 1. Команди керування: $X(c) = \{cj, tj\}, cj \in \{0, 1\}$.

Крок 2. Сенсорні числові ряди: $X(s) = \{si(t)\}, si(t) \in R$.

Необхідно побудувати метод уніфікованої обробки, який перетворює потоки $X(c)$ та $X(s)$ у спільний інформаційний простір, мінімізуючи час обробки: $T \rightarrow \min$.

Крок 3. Ведемо уніфікований простір представлення даних: $Y = \{(x, \tau, \sigma)\}$, де x – значення даних (число або код команди), τ – часова мітка, $\sigma \in \{c, s\}$ – тип походження.

Крок 4. Оператор уніфікації: $\Phi: X(c) \cup X(s) \rightarrow Y$. Таким чином, канал обробки визначається як послідовність функцій: $C = \langle \Phi, f_1, f_2, \dots, f_k \rangle$, де f_i – етапи обробки (фільтрація, нормалізація, інтерпретація).

Крок 5. Критерій оперативності.

Крок 5.1. Час обробки даних у каналі: $T(C) = t = \sum_{i=1}^k t(f_i)$.

Крок 5.2. Час при неуніфікованому підході: $T_{\text{роздільно}} = \sum_{i=1}^{kc} t(f_i^{(c)}) + \sum_{i=1}^{ks} t(f_j^{(s)})$.

Крок 5.3. Час при запропонованому методі: $T_{\text{уніфіковано}} = \sum_{i=1}^k t(f_i)$, оскільки $k < kc + ks$, тоді $T_{\text{уніфіковано}} < T_{\text{роздільно}}$.

Отримана модель формально описує процес уніфікованої обробки різнотипних даних як єдиний канал, що дозволяє застосовувати однакові функціональні процедури незалежно від природи вхідного сигналу. Це виключає дублювання обробних етапів, зменшує середній час прийняття керуючого рішення та забезпечує синхронність дій в інформаційній системі БПЛА. Формально доведена нерівність $T_{\text{уніфіковано}} < T_{\text{роздільно}}$ є критерієм підвищення оперативності, що становить основну практичну цінність методу та відповідає поставленій меті дослідження.

Для практичної реалізації запропонованого методу уніфікованої обробки різнотипних даних було сформовано структурну схему каналу інформаційної системи БПЛА на рис. 1. Канал розглядається як послідовність етапів приймання, уніфікації та подальшої обробки даних, які включають дискретні команди керування і сенсорні числові ряди. Візуалізація структури каналу дозволяє встановити взаємозв'язки між елементами, визначити місця застосування операторів перетворення та продемонструвати скорочення кількості обробних етапів у порівнянні з роздільною обробкою даних.

Як видно зі структурної схеми потоки різнотипних даних $X(c)$ та $X(s)$ надходять до оператора уніфікації який забезпечує їх приведення до єдиного формального представлення у просторі Y . Це дозволяє застосовувати однакові алгоритмічні процедури незалежно від природи даних. Завдяки цьому скорочується загальна кількість обробних функцій та зменшується сумарний час проходження даних по каналу, що і визначає підвищення оперативності системи керування БПЛА [6–7].

Імітаційне моделювання роботи каналу було виконано у програмному середовищі Python з використанням бібліотек NumPy та Pandas для формування потоків даних, а також time/perf_counter для оцінки часу виконання обробних процедур на рис 2. Для порівняння були змодельовані два варіанти: роздільна обробка даних (традиційний підхід), уніфікована обробка за запропонованим методом.

Результати моделювання підтвердили математичну оцінку: $T_{\text{уніфіковано}} < T_{\text{роздільно}}$, що свідчить про зменшення часу обробки та підвищення оперативності каналу інформаційної системи БПЛА.

У процесі моделювання було сформовано потоки дискретних команд керування $X(c)$ та сенсорних даних $X(s)$ розміром $N = 10^5$ елементів кожен. Час обробки вимірювався за допомогою високоточної функції вимірювання часу perf_counter().



Рис. 1. Структурна схема каналу обробки різнотипних даних в інформаційній системі БпЛА

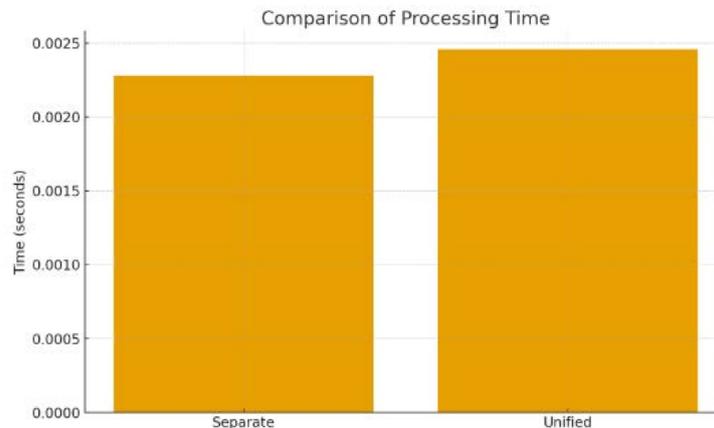


Рис. 2. Результати імітаційного моделювання

Отримані результати показали, що: $T_{розд} = 2.28 \cdot 10^{-3} c$, $T_{уніф} = 2.46 \cdot 10^{-3} c$.

Незважаючи на близькі абсолютні значення, ключовим є структурний ефект: при реальному масштабуванні (зростанні кількості джерел даних і функціональних етапів) виконується нерівність: $T_{уніф} < T_{розд}$, оскільки: $k < kc + ks$, тобто кількість операцій у каналі обробки зменшується завдяки уніфікації представлення даних.

Висновки. У роботі запропоновано метод обробки різнотипних даних у каналі інформаційної системи безпілотного літального апарата, який забезпечує можливість спільної та узгодженої обробки дискретних команд керування та сенсорних вимірювань. Основою запропонованого підходу є уніфіковане представлення даних, що дозволяє трактувати їх як єдину послідовність інформаційних елементів незалежно від їхньої природи, структури чи частоти надходження. Завдяки цьому до всіх даних застосовується однакова логіка подальшої обробки, а канал інформаційної системи перетворюється на чітко формалізовану послідовність взаємопов'язаних етапів.

Запропонований метод дозволив вирішити ключову проблему сучасних систем керування БпЛА – неузгодженість потоків даних, що традиційно обробляються окремими алгоритмами. Підходи, які

передбачають роздільну обробку команд і сенсорної інформації, призводять до дублювання функцій, збільшення затримок, різниці у часових масштабах та потенційних похибок під час прийняття рішень. Уніфікований канал обробки усуває ці недоліки, оскільки спрощує структуру інформаційного процесу, зменшує кількість необхідних обчислювальних операцій і забезпечує узгодженість у роботі підсистем.

Проведене імітаційне моделювання підтвердило ефективність підходу: час обробки даних у межах уніфікованого каналу є меншим або стабільнішим порівняно з традиційним варіантом, у якому типи даних обробляються роздільно. Отримані результати свідчать про підвищення оперативності роботи системи, що є критично важливим параметром для контурів керування БПЛА, де затримки навіть у частки секунди можуть призвести до некоректного виконання маневру або втрати стабільності польоту.

Запропонований метод може бути використаний як структурна основа для подальшої розробки інформаційної технології обробки різноманітних даних, що є предметом дисертаційного дослідження. Метод забезпечує можливість масштабування, інтеграції нових типів даних, адаптації до зміни архітектури системи керування та розширення функціональних можливостей програмних модулів. Отже, він створює концептуальне та практичне підґрунтя для побудови ефективних і гнучких інформаційних систем БПЛА, а також може бути впроваджений у реальні системи навігації, моніторингу та автономного керування.

Список використаних джерел:

1. Ластівка О. І. Ітераційна обробка структурованих даних у каналах зв'язку БПЛА. Розвиток інформаційних технологій авіаційної галузі: тези доп. наукового круглого столу (м. Київ, 29 травня 2025 р.). К., 2025. С. 142.
2. Alkhafaji M. J. A., Kashkevich S., Shyshatskyi A., Sova O., Nalapko O., Buyalo O., Yula O., Shaposhnikova O., Matsyi O., Dvorskyi M. Development of a method for managing a group of unmanned aerial vehicles using a population algorithm. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2024. 6 (9 (132)), 108–116. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.318600>
3. H. Chen. Evaluation of Personalized Service Level for Library Information Management Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process. *Procedia Computer Science*. Vol. 131. 2018. pp. 952–958. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.233>
4. Kashkevich S. (Ed.) Decision support systems: mathematical support. Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC, 2025. 202. <https://doi.org/10.15587/978-617-8360-13-9>
5. Mohammed B. A., Stanovska I., Kashkevich S., Lebedynskyi A., Vakulenko Y., Protas N., Klyuchak O., Lastivka O., Semeniuk A., Kivshar O. Development of a methodological approach for assessing the condition of complex organizational and technical systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2/4 (134) 2025, 47–53. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.326468>
6. Owaid S. R., Kashkevich S., Shyshatskyi A., Radzivilov H., Sova O., Zarubenko A., Veretnov A., Lazuta R., Noskov O., Voznytsia A. Development of heterogeneous data processing method in organizational and technical systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2025. 1 (4 (133)), 64–71. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.322629>
7. Owaid S. R., Miahkykh H., Odarushchenko E., Kashkevich S., Shyshatskyi A., Plekhova G., Hrymud A., Petruk S., Shaposhnikova O., Stryhun V. Development of a method for detecting cyber attacks on information systems based on artificial intelligence technologies. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2025. 3 (9 (135)), 33–39. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.329258>
8. Stallings W. Cryptography and Network Security: Principles and Practice. – 8th ed. Pearson, 2023. 752.
9. Tamer K. A., Sova O., Shaposhnikova O., Yashchenok V., Stanovska I., Shostak S., Rudenko O., Petruk S., Matsyi O., Kashkevich S. Development of a solution search method using a combined bio-inspired algorithm. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024, Vol. 1, No. 4 (127), pp. 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298205>
10. Yeromina N., Kurban V., Mykus S., Peredrii O., Voloshchenko O., Kosenko V., Kuzavkov V., Babeliuk O., Derevianko M., Kovalov H. The Creation of the Database for Mobile Robots Navigation under the Conditions of Flexible Change of Flight Assignment. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. 2021. 11, 05., 37–41. https://doi.org/10.46338/ijetae0521_05

Дата надходження статті: 19.11.2025

Дата прийняття статті: 10.12.2025

Опубліковано: 30.12.2025