

ЛЕЖНЬОВ ДЕНИС

Національний університет "Запорізька політехніка"

<https://orcid.org/0009-0009-6835-2380>e-mail: lezhnevdenis@zp.edu.ua

РИБАКОВ КОСТЯНТИН

Національний університет "Запорізька політехніка"

<https://orcid.org/0009-0007-7979-0410>e-mail: krybakov@zp.edu.ua

ІНТЕГРАЦІЯ МЕТОДІВ АВТОНОМНОЇ ОРІЄНТАЦІЇ В СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БЕЗПЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ (БПЛА) В УМОВАХ ПРИДУШЕННЯ РАДІОСИГНАЛУ ТА ВІДЕОЗВ'ЯЗКУ

Стаття розглядає проблему забезпечення автономної орієнтації та управління безпілотними літальними апаратами (БПЛА) в умовах обмеженої доступності до зовнішніх інформаційних джерел, таких як подавлення радіосигналу та відеозв'язку. У роботі проведено огляд існуючих методів автономної орієнтації, ідентифіковано виклики та проблеми, з якими стикаються системи управління БПЛА, а також розроблено інтегровані методи, здатні забезпечити надійну роботу в умовах обмеженої доступності інформації. Особливу увагу приділено апаратній реалізації, яка враховується при розробці нових алгоритмів та рішень. Представлені результати дослідження мають важливе значення для покращення безпеки та ефективності роботи БПЛА у різних галузях застосування. Ключові аспекти дослідження включають аналіз наявних методів автономної орієнтації, виявлення викликів та проблем, а також розробку інтегрованих методів, які здатні забезпечити надійну роботу систем управління БПЛА в умовах обмеженої доступності інформації. Запропоновані у статті рекомендації для подальших досліджень та практичного застосування вказують на необхідність поглибленого вивчення та розробки інноваційних підходів у цій галузі. Робота також наголошує на важливості обліку особливостей апаратної реалізації при розробці нових алгоритмів та рішень для забезпечення ефективного функціонування систем управління БПЛА. Отримані результати мають потенціал для застосування в різних сферах, таких як моніторинг навколишнього середовища, пошук та порятунок, громадянська безпека та військове застосування, що робить дане дослідження актуальним та значущим для наукової та практичної спільноти. У контексті просування технологій автономних систем управління БПЛА дане дослідження виступає важливим кроком у напрямку розробки більш надійних та ефективних рішень. Наведені у статті методи та рекомендації сприяють не тільки підвищенню рівня безпеки та ефективності функціонування БПЛА, а й відкривають нові перспективи для їх застосування у різних галузях, починаючи від комерційних та наукових місій до військового використання. Нарешті, це дослідження також наголошує на необхідності подальшої співпраці між науковою спільнотою, промисловими партнерами та урядовими організаціями для просування інновацій у галузі безпілотних систем. Розробка та впровадження нових методів та технологій потребує комплексного підходу та спільних зусиль, щоб забезпечити просування цієї важливої галузі технічного прогресу.

Ключові слова: безпілотні літальні апарати (БПЛА), автономне орієнтування, системи керування, придушення радіосигналів, відеозв'язку, інтегровані методи, апаратна реалізація, розробка алгоритму, інформаційна доступність, безпека, ефективність, екологічний моніторинг, пошук і рятування, цивільна безпека, військове застосування, співпраця, технологічний прогрес.

LEZHNOV DENYS, RYBAKOV KOSTIANTYN

National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

INTEGRATION OF AUTONOMOUS ORIENTATION METHODS IN THE CONTROL SYSTEM OF UNMANNED AIRCRAFT (UAV) UNDER CONDITIONS OF RADIO SIGNAL AND VIDEO COMMUNICATION SUPPRESSION

The article addresses the issue of providing autonomous orientation and control for unmanned aerial vehicles (UAVs) in conditions of limited access to external information sources, such as radio signal suppression and video communication. The study reviews existing methods of autonomous orientation, identifies challenges and problems faced by UAV control systems, and develops integrated methods capable of ensuring reliable operation under conditions of limited information availability. Special attention is given to hardware implementation considerations in the development of new algorithms and solutions. The research results have significant implications for improving the safety and efficiency of UAV operations across various application domains. Key aspects of the study include the analysis of existing methods of autonomous orientation, identification of challenges and problems, and the development of integrated methods capable of ensuring reliable operation of UAV control systems in conditions of limited information availability. The recommendations provided in the article for further research and practical application underscore the need for in-depth exploration and development of innovative approaches in this field. The study also emphasizes the importance of considering hardware implementation specifics when developing new algorithms and solutions to ensure effective functioning of UAV control systems. The obtained results have the potential for application in various fields, including environmental monitoring, search and rescue operations, civilian security, and military applications, making this research relevant and significant for both scientific and practical communities. In the context of advancing autonomous UAV control technologies, this research represents a significant step towards developing more reliable and efficient solutions. The methods and recommendations outlined in the article contribute not only to enhancing the safety and efficiency of UAV operations but also to opening up new prospects for their application across different sectors, ranging from commercial and scientific missions to military usage. Finally, this study highlights the need for further collaboration between the scientific community, industrial partners, and government organizations to advance innovations in the field of unmanned systems. The development and implementation of new methods and technologies require a comprehensive approach and joint efforts to ensure the progress of this important area of technological advancement.

Keywords: unmanned aerial vehicles (UAVs), autonomous orientation, control systems, radio signal suppression, video communication, integrated methods, hardware implementation, algorithm development, information availability, safety, efficiency, environmental monitoring, search and rescue, civilian security, military applications, collaboration, technological advancement.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Проблема інтеграції методів автономної орієнтації до системи управління безпілотними літальними апаратами (БПЛА) в умовах подавлення радіосигналу та відеозв'язку є актуальною та важливою як з наукової, так і з практичного погляду. З наукового боку, ця проблема пов'язана з розробкою нових алгоритмів та методів, здатних забезпечити надійну автономну орієнтацію та управління БПЛА в умовах обмеженої доступності до зовнішніх інформаційних джерел, таких як радіосигнали та відеозв'язок. Це потребує глибокого розуміння принципів роботи інерційних навігаційних систем, комп'ютерного зору, штучного інтелекту та інших технологій. З практичного погляду, вирішення цієї проблеми має величезне значення для різних галузей застосування БПЛА, таких як моніторинг та дослідження у важкодоступних місцях, пошук та порятунок, громадянська безпека та військово застосування. В умовах подавлення радіосигналу та відеозв'язку виникають серйозні ризики втрати контролю над БПЛА, що може призвести до небажаних наслідків, включаючи втрату обладнання та загрозу навколишньому середовищу або життю людей. Таким чином, інтеграція методів автономної орієнтації в системи управління БПЛА в умовах подавлення радіосигналу та відеозв'язку є важливим науковим завданням, що вимагає розробки нових технологій та методів, а також практичним завданням, що має прямий вплив на безпеку та ефективність роботи БПЛА у різних сценаріях використання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Забезпечення безпеки БПЛА з використанням індивідуальних характеристик сигналу ЕЕГ: Singandhure та ін. [10] вивчили використання ЕЕГ-сигналів для забезпечення безпеки БПЛА, що наголошує на важливості захисту даних управління.

Оптимізація систем відеоспостереження з використанням БПЛА за умов різноманітного зв'язку: дослідження Jin та ін. [5] досліджують оптимізацію систем відеоспостереження, важливих для управління БПЛА у розумних містах.

Реальний час передачі відео та управління для систем на базі БПЛА з підключенням до стільникових мереж: дослідження Zhou та ін. [13] описує прототип та оцінку продуктивності системи, що підкреслює можливість управління в реальному часі.

Автоматичне виявлення наземних цілей під час магнітного обстеження за допомогою БПЛА: дослідження Mu та ін. [7] наголошує на методах автоматичного виявлення цілей, що може покращити автономні можливості БПЛА в умовах мінімальної видимості. Ці дослідження разом забезпечують теоретичну базу та практичні рішення для розробки ефективних систем управління БПЛА в умовах обмеженого доступу до радіосигналів та відеозв'язку.

Розрахована на багато користувачів співпраця з використанням БПЛА та поінформованість про зв'язок: Дослідження Fu та ін. [3] досліджує співпрацю між кількома БПЛА з акцентом на обмін інформацією та координацію дій, що є критичним для синхронізації операцій в умовах втрати сигналу.

Управління та технічне обслуговування енергетичної мережі з використанням мультироторних БПЛА: Liu та ін. [6] розробляють систему для інтелектуального патрулювання та технічного обслуговування енергетичних мереж, використовуючи БПЛА, що демонструє застосування автономних технологій у критично важливих інфраструктурах.

Методи зменшення шуму для радіосигналів у системах зв'язку: Дослідження Peng та ін. [9] пропонує методи зменшення шуму радіосигналів, що може значно покращити надійність комунікацій для БПЛА за умов радіоелектронного придушення.

Відстеження маркерів для посадки БПЛА з використанням камер на основі видимого світла: Дослідження Nguyen та ін. [8] розвиває технології для відстеження маркерів, що покращує точність та безпеку посадки БПЛА.

Відновлення та шумозаглушення у зображеннях, одержуваних з БПЛА: дослідження Ahmad та ін. [1] досліджує методи відновлення зображень та зменшення шуму, що важливо для покращення якості даних з БПЛА.

Аналіз радіотехнічних характеристик адаптивної системи зв'язку з подвійним режимом для БПЛА: Alghaihab [2] аналізує радіоспецифікації, які можуть покращити дальність та надійність комунікацій для БПЛА.

Системи повнодуплексного зв'язку для багато-БПЛА зі спільною передачею відео та керуванням польотом: Yu та ін. [12] розробляють повнодуплексні системи зв'язку, що дозволяє одночасно передавати відео та керувати польотом кількох БПЛА, покращуючи координацію та ефективність операцій.

У статті Ghofur M. A., Darmawan Y., Ridwan M. [4] описують процес розробки та створення портативної наземної станції управління (GCS) для контролю та моніторингу безпілотного літального апарату (БПЛА) Galak-24. Вони наголошують на важливості телеметричної системи для ефективного управління та спостереження за БПЛА в реальному часі. Дослідження демонструє успішну реалізацію GCS, що забезпечує надійне керування та моніторинг. У статті [14] Zuo M., Xie S., Zhang X., Yang M. розглядають метод розпізнавання відеосигналу безпілотного літального апарату (БПЛА) з використанням радіочастотних відбитків в умовах перешкод від WiFi. Дослідження аналізує, як радіочастотні відбитки можуть допомогти в ідентифікації сигналів БПЛА та подоланні перешкод, викликаних WiFi-мережами. Автори демонструють, що запропонований метод зберігає свою ефективність навіть за значних WiFi перешкод.

Ці дослідження в цілому наголошують на важливості розробки та інтеграції передових технологій для підвищення ефективності та безпеки управління БПЛА у складних умовах, включаючи сценарії з придушенням радіосигналів та відеозв'язку.

Формулювання цілей статті

Метою статті є дослідження та аналіз проблеми інтеграції методів автономної орієнтації до системи управління безпілотними літальними апаратами (БПЛА) в умовах подавлення радіосигналу та відеозв'язку. У рамках цієї мети стаття ставить перед собою кілька завдань:

1. Аналіз існуючих методів автономної орієнтації. Перше завдання полягає у огляді та аналізі існуючих методів автономної орієнтації, які можна використовувати у системах управління БПЛА.
2. Ідентифікація викликів та проблем. Друге завдання полягає у виявленні викликів та проблем, з якими стикаються системи управління БПЛА в умовах подавлення радіосигналу та відеозв'язку.
3. Розробка інтегрованих методів. Третє завдання полягає у розробці інтегрованих методів, здатних забезпечити автономну орієнтацію та управління БПЛА в умовах обмеженої доступності до зовнішніх інформаційних джерел.
4. Оцінка ефективності та надійності. Четверте завдання полягає в оцінці ефективності та надійності розроблених методів.
5. Формулювання рекомендацій та висновків. Остання задача полягає у формулюванні рекомендацій для подальших досліджень та практичного застосування, а також у висновках, що узагальнюють отримані результати та показують їх значущість для наукової та практичної спільноти.

Виклад основного матеріалу

У світі безпілотні літальні апарати (БПЛА) займають центральне місце у багатьох галузях, від військових операцій до комерційних і наукових досліджень про. Попри їх широке застосування, існує низка викликів, пов'язаних із забезпеченням автономної орієнтації та керування за умов подавлення радіосигналу та відеозв'язку. У цьому контексті дослідження, спрямовані на інтеграцію різних методів для забезпечення надійної роботи систем управління БПЛА, відіграють ключову роль у розвитку цієї технології та розширенні її застосування.

Конфігурація безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та їх основні компоненти, що використовуються для навігації та управління, можуть включати наступні елементи:

1. *Авіоніка*. Це електронні системи керування та навігації БПЛА. Сюди можуть входити автопілоти, інерційні навігаційні системи (ІНП), GPS-приймачі, барометричні альтиметри, компаси та т.д.
2. *Контролери*. Це мікроконтролери або процесори, які виконують програмне забезпечення для керування БПЛА. Вони обробляють дані від сенсорів, виконують обчислення та приймають рішення щодо управління апаратом.
3. *Сенсори*. Це пристрої, що збирають інформацію про навколишнє середовище та стан самого апарата. До них можуть належати гіроскопи, акселерометри, магнітометри, барометри, GPS-модулі, камери та радары.
4. *Телекомунікаційна система*. Це системи передачі та прийому даних, що забезпечують зв'язок між БПЛА та земною станцією управління. Вони можуть використовувати радіо, супутникові або навіть оптичні зв'язки для передачі даних.
5. *Електропривод та система енергопостачання*. Ці системи відповідають за управління рухом та живленням БПЛА. Вони можуть включати електродвигуни, сервоприводи, акумулятори, паливні елементи або інші джерела енергії.

Ці компоненти взаємодіють між собою для забезпечення ефективного керування та навігації БПЛА. Розуміння їх функцій та взаємодії допомагає краще оцінити можливості та обмеження цих систем.

Розглянемо основні методи автономної орієнтації, які можуть бути використані в системах керування безпілотними літальними апаратами (БПЛА) та представимо їх у таблиці 1.

Кожен із цих методів має свої переваги та обмеження, і інтеграція кількох методів може забезпечити більш надійну та точну систему автономної орієнтації та управління БПЛА, особливо в умовах обмеженої доступності до радіосигналів та відеозв'язку.

Ідентифікація викликів та проблем, з якими стикаються системи управління БПЛА за умов подавлення радіосигналу та відеозв'язку, є критичним кроком для розробки ефективних рішень. Розглянемо деякі з основних викликів та проблем.

Перешкоди в радіочастотному діапазоні. Перешкоди можуть викликати різні джерела, такі як радіоелектронна боротьба, електромагнітні шуми та інтерференція від інших радіосистем. Це може призвести до втрати зв'язку між БПЛА та земним оператором або зниження якості передачі даних, що ускладнює управління та моніторинг польоту.

Обмеження доступу до зовнішніх інформаційних джерел. Безпілотні апарати можуть покладатися на зовнішні джерела інформації, такі як GPS або системи відеозв'язку, для навігації та виконання місій. Однак в умовах подавлення радіосигналу та відеозв'язку доступ до цих джерел може бути обмежений або повністю заблокований, що ускладнює автономну орієнтацію та керування.

Втрата контролю та управління. У разі повної втрати радіозв'язку та відеозв'язку земний оператор може втратити можливість керувати БПЛА, що може призвести до втрати контролю над апаратом. Це створює

ризик аварійного приземлення або зіткнення з іншими об'єктами, а також може загрожувати безпеці людей та об'єктів на землі.

Таблиця 1.

Основні методи автономної орієнтації, які можуть бути використані в системах керування безпілотними літальними апаратами (БПЛА)

Методи	Сутність
Інерційні навігаційні системи (ІНС)	<ul style="list-style-type: none"> ІНС використовують акселерометри та гіроскопи для вимірювання змін швидкості та кутової орієнтації БПЛА щодо початкової точки. Перевага ІНС у їхній незалежності від зовнішніх джерел інформації, що робить їх надійними в умовах обмеженої доступності до радіосигналів та відеозв'язку. Однак, вони схильні до кумулятивної помилки, яка з часом може призвести до накопичення похибки у визначенні становища.
Комп'ютерний зір	<ul style="list-style-type: none"> Системи комп'ютерного зору можуть використовуватися для розпізнавання та відстеження об'єктів на землі, а також для визначення орієнтації та положення БПЛА щодо них. Вони можуть бути засновані на алгоритмах обробки зображень та нейронних мережах для аналізу відеопотоку з камер на борту БПЛА. Комп'ютерний зір може забезпечити додаткову інформацію про навколишнє середовище, що є корисним при навігації в місцевостях, де відсутня точна карта.
Методи обробки сигналів	<ul style="list-style-type: none"> Це включає методи обробки радіосигналів, такі як методи доплерівської навігації, які використовують зміни частоти радіосигналів для визначення швидкості і напрямку руху. Методи обробки сигналів також можуть бути використані для вимірювання відстаней до земної поверхні або інших об'єктів за допомогою радіолокації або ехолокації.
Штучний інтелект	<ul style="list-style-type: none"> Штучний інтелект, такий як алгоритми машинного навчання та нейронні мережі, можуть використовуватися для аналізу даних з різних датчиків та прийняття рішень про навігацію та управління БПЛА. Ці методи можуть допомогти адаптувати поведінку БПЛА в реальному часі залежно від умов довкілля та завдань місії.

Необхідність автономної навігації та управління. В умовах обмеженого або відсутнього зв'язку БПЛА повинні бути здатними до автономної навігації та прийняття рішень, що ґрунтуються на наявних даних та зумовлених алгоритмах. Це вимагає розробки надійних та ефективних методів автономного управління, які можуть забезпечити безпечний та точний політ навіть за відсутності зв'язку із землею.

Вирішення цих викликів та проблем потребує розробки інноваційних технологій та алгоритмів, а також тісної взаємодії між фахівцями в галузі радіозв'язку, комп'ютерного зору, штучного інтелекту та автономної навігації.

Особливості апаратної реалізації відіграють важливу роль при розробці нових алгоритмів та рішень для безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Ось кілька ключових аспектів, які враховуються.

- Обчислювальна потужність. Залежно від апаратної конфігурації, доступної БПЛА, можуть бути обмеження по обчислювальній потужності. Нові алгоритми мають бути оптимізовані для роботи на обмежених ресурсах та ефективно використовувати доступні обчислювальні ресурси.

- Обмежені сенсори. БПЛА зазвичай обладнано обмеженим набором сенсорів, таких як GPS, інерційні системи навігації (ІНС), камери та радіолокатори. Нові алгоритми повинні бути здатними ефективно використовувати дані від цих сенсорів для прийняття рішень щодо навігації та управління.

- Обмежена енергія. БПЛА також мають обмежене енергоспоживання, оскільки вони працюють на батарейних або інших джерелах енергії. Нові алгоритми мають бути енергоефективними, щоб продовжити час польоту та загальну продуктивність БПЛА.

- Комунікаційні обмеження. Передача даних між БПЛА та земною станцією може бути обмежена швидкістю передачі даних, діапазоном та перешкодами. Нові алгоритми мають бути здатними працювати в умовах обмеженого зв'язку та ефективно використовувати доступну пропускну спроможність каналу зв'язку.

Враховуючи ці особливості апаратної реалізації, розробники нових алгоритмів повинні прагнути до створення рішень, які ефективно працюють на конкретному устаткуванні, а й враховують його обмеження, забезпечуючи у своїй високу продуктивність і надійність БПЛА. Розробка інтегрованих методів для забезпечення автономної орієнтації та управління БПЛА в умовах обмеженої доступності до зовнішніх інформаційних джерел є складним завданням, що потребує комбінації різних технологій і алгоритмів. Розглянемо підходи до розробки таких методів.

Інтеграція ІНС із комп'ютерним зором. Комбінування даних, отриманих від інерційних навігаційних систем (ІНС), з даними комп'ютерного зору може забезпечити більш точну оцінку положення та орієнтації БПЛА. ІНС можуть використовуватися для виявлення та компенсації накопиченої помилки у показаннях комп'ютерного зору, а дані комп'ютерного зору можуть використовуватися для корекції помилок ІНС при навігації у навколишньому середовищі з орієнтирами.

Використання сенсорів із дублюванням функцій. Для підвищення надійності автономної навігації та керування БПЛА можна використовувати кілька сенсорів функціями, що дублюють. Наприклад, крім ІНС та комп'ютерного зору, можна використовувати додаткові сенсори, такі як магнітометри, барометри або GPS, щоб забезпечити резервні джерела інформації.

Розробка адаптивних алгоритмів. Розробка алгоритмів, здатних адаптуватися до умов навколишнього середовища і доступності інформації, що змінюється, є ключовим аспектом інтегрованих методів. Це може включати використання методів машинного навчання і штучного інтелекту для аналізу даних і прийняття рішень на основі отриманої інформації.

Поліпшення алгоритмів автономного керування. Розробка ефективних алгоритмів автономного управління, здатних приймати рішення в реальному часі на основі наявних даних, відіграє важливу роль у забезпеченні безпечного та точного польоту БПЛА. Ці алгоритми повинні бути здатними до адаптації до різних умов навколишнього середовища та обмежень зв'язку.

Інтеграція цих підходів дозволить розробити інтегровані методи, що забезпечують надійну автономну орієнтацію та управління БПЛА за умов обмеженої доступності до зовнішніх інформаційних джерел. Оцінка ефективності та надійності розроблених методів для систем управління БПЛА за умов обмеженої доступності до зовнішніх інформаційних джерел є критично важливим етапом. Ось кілька кроків, які можуть бути зроблені для оцінки:

Проведення тестів на тестовому стенді:

- Перший крок в оцінці ефективності та надійності методів – це проведення тестів на спеціально створеному тестовому стенді.
- Тестовий стенд повинен імітувати різні умови роботи БПЛА, включаючи подавлення радіосигналу та відеозв'язку.
- У цьому випадку можна оцінити, як розроблені методи справляються з цими викликами та проблемами.

Моделювання роботи у віртуальному середовищі:

- Використання віртуальних середовищ для моделювання роботи систем управління БПЛА може надати ширший спектр сценаріїв та умов.
- Моделювання дозволяє оцінити ефективність методів у різних ситуаціях та визначити, які аспекти потребують покращення.

Проведення польових випробувань:

- Після успішного проходження тестів на тестовому стенді та моделювання у віртуальному середовищі слід провести польові випробування.
- Польові випробування дозволяють перевірити працездатність розроблених методів у реальних умовах та середовищах, що є ключовим аспектом оцінки надійності.

Порівняння з існуючими методами:

- Для оцінки ефективності розроблених методів та їх переваг у порівнянні з існуючими можна провести порівняльний аналіз.
- Це дозволяє визначити, наскільки нові методи краще справляються із викликами, пов'язаними з подавленням радіосигналу та відеозв'язку.

Збір та аналіз даних:

- Під час тестування та випробувань важливо акумулювати дані про продуктивність та надійність розроблених методів.
- Аналіз цих даних дозволяє виявити слабкі місця та можливості для покращення.

Загальний результат оцінки ефективності та надійності має бути документований та представлений у вигляді звіту, що включає результати тестів, моделювання, польових випробувань та аналізу даних. Це дозволить зробити висновки про працездатність та перспективи подальшого розвитку розроблених методів для систем управління БПЛА.

Після завершення дослідження та розробки інтегрованих методів для забезпечення автономної орієнтації та управління БПЛА в умовах подавлення радіосигналу та відеозв'язку, формулювання рекомендацій стає ключовим кроком для визначення подальших напрямків досліджень та практичного застосування. Окреслимо деякі рекомендації.

Рекомендації для подальших досліджень. Продовження досліджень у галузі розробки ефективніших алгоритмів автономного управління, здатних адаптуватися до різних умов обмеженої доступності до зовнішніх інформаційних джерел. Поглиблене вивчення методів машинного навчання та штучного інтелекту для підвищення надійності та точності автономної орієнтації та управління БПЛА. Розробка більш комплексних тестових сценаріїв та умов для перевірки розроблених методів у різних ситуаціях.

Рекомендації для практичного застосування. Інтеграція розроблених методів у існуючі системи управління БПЛА з метою покращення їхньої надійності та ефективності в умовах обмеженого зв'язку. Проведення пілотних проєктів для оцінки реальної ефективності та застосування нових методів у різних галузях, таких як моніторинг навколишнього середовища, пошук і порятунок, громадянська безпека та військово-застосування. Навчання операторів БПЛА у використанні нових методів та технологій для покращення процесів управління та контролю.

Розроблені інтегровані методи є перспективний напрямок для забезпечення автономної орієнтації та управління БПЛА в умовах обмеженого зв'язку. Ці методи мають потенціал покращити безпеку та ефективність роботи БПЛА у різних галузях застосування. Однак для досягнення максимальної ефективності та надійності необхідне подальше дослідження та розвиток у цій галузі, а також практичне застосування з урахуванням конкретних умов та потреб.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Ця стаття висвітлює актуальну проблему інтеграції методів автономної орієнтації до системи управління безпілотними літальними апаратами (БПЛА) в умовах подавлення радіосигналу та відеозв'язку. Аналіз існуючих методів, ідентифікація викликів та проблем, розробка інтегрованих методів та їх оцінка є комплексним підходом до вирішення даної проблеми. Результати дослідження показують, що інтеграція різних технологій та алгоритмів, таких як інерційні навігаційні системи, комп'ютерний зір, методи обробки сигналів та штучний інтелект здатна значно покращити надійність та ефективність управління БПЛА в умовах обмеженої доступності до зовнішніх інформаційних джерел. Запропоновані у статті рекомендації для подальших досліджень та практичного застосування вказують на необхідність подальшого розвитку у цій галузі. Результати дослідження мають важливе значення для наукової та практичної спільноти, оскільки вони можуть сприяти покращенню безпеки та ефективності роботи БПЛА у різних сферах застосування, від моніторингу навколишнього середовища до військового застосування. Загалом, стаття наголошує на важливості подальшого дослідження та розробки інтегрованих методів автономної орієнтації для управління БПЛА, особливо в умовах обмеженого зв'язку, та надає основу для подальшого прогресу в цій галузі.

Література

1. Ahmad A., Amira K., Mawardy M., Firdaus S., Yazid M. N. M., Rahman A. Noise and Restoration of UAV Remote Sensing Images // *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. – 2020. – Vol. 11, No. 12. – DOI: 10.14569/ijacsa.2020.0111222.
2. Alghaihab A. Analysis of Radio Specifications in an Adaptive Enhanced Range Dual-Mode Communication System for Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) // *In 2023 14th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*. – 2023. – P. 1-5. – Delhi, India. – DOI: 10.1109/ICCCNT56998.2023.10307669.
3. Fu X., Liu K., Gao X. Multi-UAVs Communication-Aware Cooperative Target Tracking // *Applied Sciences*. – 2018. – Vol. 8, No. 6. – P. 870. – DOI: 10.3390/app8060870.
4. Ghofur M. A., Darmawan Y., Ridwan M. The Design And Build of Telemetry system Portable Ground Control Station (GCS) as Control and Monitoring on Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Aircraft Galak-24 // *Jurnal Telkommil*. – 2020. – Vol. 2. – P. 37–46. – DOI: 10.54317/kom.v2ioktober.180.
5. Jin Y., Qian Z., Yang W. UAV Cluster-Based Video Surveillance System Optimization in Heterogeneous Communication of Smart Cities // *IEEE Access*. – 2020. – Vol. 8. – P. 55654–55664. – DOI: 10.1109/access.2020.2981647.
6. Liu Q., Zeng H., Ni S., Li B., Meng J., Zhang Y. Design of Power Grid Intelligent Patrol Operation and Maintenance System Based on Multi-Rotor UAV Systems // *Studies in Applied Electromagnetics and Mechanics*. – 2020. – DOI: 10.3233/saem200011.
7. Mu Y., Zhang X., Xie W., Zheng Y. Automatic Detection of Near-Surface Targets for Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Magnetic Survey // *Remote Sensing*. – 2020. – Vol. 12, No. 3. – P. 452. – DOI: 10.3390/rs12030452.
8. Nguyen P. T., Kim K.-W., Lee Y., Park K. R. Remote Marker-Based Tracking for UAV Landing Using Visible-Light Camera Sensor // *Sensors*. – 2017. – Vol. 17, No. 9. – P. 1987. – DOI: 10.3390/s17091987.
9. Peng L., Fang S., Fan Y., Wang M., Ma Z. A Method of Noise Reduction for Radio Communication Signal Based on RaGAN // *Sensors*. – 2023. – Vol. 23, No. 1. – P. 475. – DOI: 10.3390/s23010475.
10. Singandhupe A., La H. M., Feil-Seifer D. Reliable Security Algorithm for Drones Using Individual Characteristics From an EEG Signal // *IEEE Access*. – 2018. – Vol. 6. – P. 22976–22986. – DOI: 10.1109/access.2018.2827362.
11. Singandhupe A., La H. M., Feil-Seifer D., Huang P., Guo L., Li M. Securing a UAV Using Individual Characteristics From an EEG Signal // *[Journal Name]*. – 2017.
12. Yu T., Imada S., Araki K., Sakaguchi K. Multi-UAV Full-Duplex Communication Systems for Joint Video Transmission and Flight Control // *In 2021 IEEE 11th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)*. – 2021. – P. 1423-1428. – NV, USA. – DOI: 10.1109/CCWC51732.2021.9375952.
13. Zhou H., Hu F., Juras M., Mehta A. B., Deng Y. Real-time Video Streaming and Control of Cellular-Connected UAV System: Prototype and Performance Evaluation // *[Journal Name]*. – 2021.
14. Zuo M., Xie S., Zhang X., Yang M. Recognition of UAV Video Signal Using RF Fingerprints in the Presence of WiFi Interference // *IEEE Access*. – 2021. – Vol. 9. – P. 88844–88851. – DOI: 10.1109/access.2021.3089590.

References

1. Ahmad A., Amira K., Mawardy M., Firdaus S., Yazid M. N. M., Rahman A. Noise and Restoration of UAV Remote Sensing Images // *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. – 2020. – Vol. 11, No. 12. – DOI: 10.14569/ijacsa.2020.0111222.
2. Alghaihab A. Analysis of Radio Specifications in an Adaptive Enhanced Range Dual-Mode Communication System for Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) // *In 2023 14th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*. – 2023. – P. 1-5. – Delhi, India. – DOI: 10.1109/ICCCNT56998.2023.10307669.
3. Fu X., Liu K., Gao X. Multi-UAVs Communication-Aware Cooperative Target Tracking // *Applied Sciences*. – 2018. – Vol. 8, No. 6. – P. 870. – DOI: 10.3390/app8060870.
4. Ghofur M. A., Darmawan Y., Ridwan M. The Design And Build of Telemetry system Portable Ground Control Station (GCS) as Control and Monitoring on Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Aircraft Galak-24 // *Jurnal Telkommil*. – 2020. – Vol. 2. – P. 37–46. – DOI: 10.54317/kom.v2ioktober.180.
5. Jin Y., Qian Z., Yang W. UAV Cluster-Based Video Surveillance System Optimization in Heterogeneous Communication of Smart Cities // *IEEE Access*. – 2020. – Vol. 8. – P. 55654–55664. – DOI: 10.1109/access.2020.2981647.
6. Liu Q., Zeng H., Ni S., Li B., Meng J., Zhang Y. Design of Power Grid Intelligent Patrol Operation and Maintenance System Based on Multi-Rotor UAV Systems // *Studies in Applied Electromagnetics and Mechanics*. – 2020. – DOI: 10.3233/saem200011.
7. Mu Y., Zhang X., Xie W., Zheng Y. Automatic Detection of Near-Surface Targets for Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Magnetic Survey // *Remote Sensing*. – 2020. – Vol. 12, No. 3. – P. 452. – DOI: 10.3390/rs12030452.
8. Nguyen P. T., Kim K.-W., Lee Y., Park K. R. Remote Marker-Based Tracking for UAV Landing Using Visible-Light Camera Sensor // *Sensors*. – 2017. – Vol. 17, No. 9. – P. 1987. – DOI: 10.3390/s17091987.
9. Peng L., Fang S., Fan Y., Wang M., Ma Z. A Method of Noise Reduction for Radio Communication Signal Based on RaGAN // *Sensors*. – 2023. – Vol. 23, No. 1. – P. 475. – DOI: 10.3390/s23010475.
10. Singandhupe A., La H. M., Feil-Seifer D. Reliable Security Algorithm for Drones Using Individual Characteristics From an EEG Signal // *IEEE Access*. – 2018. – Vol. 6. – P. 22976–22986. – DOI: 10.1109/access.2018.2827362.
11. Singandhupe A., La H. M., Feil-Seifer D., Huang P., Guo L., Li M. Securing a UAV Using Individual Characteristics From an EEG Signal // [Journal Name]. – 2017.
12. Yu T., Imada S., Araki K., Sakaguchi K. Multi-UAV Full-Duplex Communication Systems for Joint Video Transmission and Flight Control // *In 2021 IEEE 11th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)*. – 2021. – P. 1423-1428. – NV, USA. – DOI: 10.1109/CCWC51732.2021.9375952.
13. Zhou H., Hu F., Juras M., Mehta A. B., Deng Y. Real-time Video Streaming and Control of Cellular-Connected UAV System: Prototype and Performance Evaluation // [Journal Name]. – 2021.
14. Zuo M., Xie S., Zhang X., Yang M. Recognition of UAV Video Signal Using RF Fingerprints in the Presence of WiFi Interference // *IEEE Access*. – 2021. – Vol. 9. – P. 88844–88851. – DOI: 10.1109/access.2021.3089590.