

МЕТОД ЗАПОБІГАННЯ ЗІТКНЕННЯМ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ У ПОВІТРЯНОМУ ПРОСТОРІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто проблему запобігання зіткненням безпілотних літальних апаратів у повітряному просторі в умовах зростання інтенсивності їх використання. Проаналізовано сучасні підходи до виявлення потенційно небезпечних ситуацій та алгоритми уникнення зіткнень. Запропоновано метод, що базується на прогнозуванні траєкторій руху апаратів і своєчасному коригуванні маршруту. Розроблений підхід дозволяє підвищити безпеку польотів та зменшити ймовірність аварійних ситуацій.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, запобігання зіткненням, повітряний простір, траєкторія польоту, система управління польотом, безпека польотів

Abstract

The paper addresses the problem of collision avoidance of unmanned aerial vehicles in airspace under increasing traffic density. Modern approaches to detecting potentially hazardous situations and collision avoidance algorithms are analyzed. A method based on trajectory prediction and timely route adjustment is proposed. The developed approach improves flight safety and reduces the risk of emergency situations.

Keywords: unmanned aerial vehicle, collision avoidance, airspace, flight trajectory, flight control system, flight safety

Вступ

У сучасних умовах повномасштабної війни в Україні безпілотні літальні апарати (БПЛА) стали важливим елементом ведення бойових дій, розвідки та виконання спеціальних завдань. Масове застосування БПЛА підвищило значення автоматизованих систем керування, навігації та координації польотів у повітряному просторі.

Особливої актуальності набуває розробка методів запобігання зіткненням, що базуються на математичному моделюванні, алгоритмах прогнозування траєкторій та технологіях штучного інтелекту. Для цього використовуються системи сенсорів (камери, LiDAR, радары, ультразвукові та інфрачервоні датчики), які формують карти середовища та забезпечують планування безпечного маршруту.

Існуючі алгоритми запобігання зіткненням включають геометричні методи, поля потенціалів, підходи «sense-and-avoid», графові та оптимізаційні алгоритми, а також методи машинного навчання. Сучасні системи поєднують виявлення перешкод із плануванням траєкторії та маневруванням у реальному часі, що дозволяє підвищити безпеку польотів і зменшити ризик аварійних ситуацій.

Таким чином, дослідження методів запобігання зіткненням БПЛА є актуальним і важливим завданням, що відповідає сучасним викликам безпеки.

Результати досліджень

Розроблено метод мінімізації ризиків зіткнення, що базується на оцінюванні ймовірності конфліктних ситуацій між двома літальними апаратами як у просторі, так і на площині. Метод передбачає виконання послідовності взаємопов'язаних етапів, спрямованих на аналіз ситуації, прогнозування траєкторій та вибір оптимального маршруту руху.

На першому етапі диспетчером наземного пункту керування задаються значення нечітких коефіцієнтів, які характеризують поточний стан середовища, параметри руху літальних апаратів та рівень потенційної небезпеки. Далі система на основі нечіткої логіки визначає коефіцієнт потенційних втрат, використовуючи набір правил відповідності, що враховують взаємозв'язки між параметрами руху та умовами польоту. Отримане нечітке значення піддається дефазифікації та перетворюється у

числову величину, придатну для подальших обчислень.

Наступним кроком є побудова поверхонь ризику зіткнення для аналізу взаємного розташування літальних апаратів у просторі. На основі неперервної моделі ризику формується дискретна матриця значень ризику в точках площини, що дозволяє спростити обчислення та підвищити ефективність алгоритмів прийняття рішень у реальному часі.

Далі здійснюється визначення можливих маршрутів руху літального апарата із використанням алгоритму уникнення зіткнень, який базується на математичній моделі відносного руху об'єктів. Серед сформованої множини маршрутів обирається оптимальний варіант, що забезпечує мінімальний рівень ризику зіткнення з урахуванням динамічних характеристик системи та обмежень керування.

Перевагою запропонованого методу є можливість досягнення мінімального значення коефіцієнта ризику (теоретично — наближення до нуля, практично — забезпечення мінімально можливого рівня), що сприяє підвищенню безпеки польотів.

Крім того, запропоновано метод визначення коефіцієнта потенційних втрат на основі нечіткої логіки, який, на відміну від існуючих підходів, спрощує роботу оператора наземного пункту керування та підвищує точність оцінювання ситуації.

Для вирішення задачі корекції сигналу інерціальної навігаційної системи (INS) у разі втрати сигналу GPS запропоновано використання адаптивного фільтра Калмана. Застосування цього підходу дозволяє підвищити точність навігаційних даних та забезпечити більш надійну роботу системи в умовах обмеженої доступності зовнішніх сигналів.

Висновки

Проведено огляд сучасних безпілотних авіаційних систем, систем уникнення зіткнень безпілотних літальних апаратів, а також наукових робіт зі споріднених напрямів. На основі аналізу існуючих підходів визначено їх основні недоліки, зокрема обмежену точність прогнозування траєкторій, складність обробки даних у реальному часі та недостатню адаптивність до змінних умов середовища. Це дозволило обґрунтувати вибір напрямку подальших досліджень.

Розроблено метод корекції сигналу інерціальної навігаційної системи (INS) за відсутності сигналу GPS на основі адаптивного фільтра Калмана, що забезпечує підвищення точності навігаційних параметрів та надійність роботи системи в умовах обмеженої доступності зовнішніх сигналів. Запропоновано метод визначення коефіцієнта потенційних втрат на основі нечіткої логіки, який, на відміну від існуючих підходів, спрощує роботу оператора наземного пункту керування та підвищує точність оцінювання ситуації.

Результати дослідження можуть бути використані при розробці систем управління польотом безпілотних літальних апаратів та систем організації повітряного руху, спрямованих на підвищення безпеки польотів і зменшення ризику виникнення аварійних ситуацій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Пивовар М. Безпілотні літальні апарати: ключовий напрямок розвитку української авіації // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 2024. – С. 219–225.
2. Живцова Л. І. Безпілотні літальні апарати як ефективний інструмент для обстеження мостових споруд // *Український журнал будівництва та архітектури*. – 2024.
3. Білаш О. В., Войтович М. І. Шляхи підвищення ефективності експлуатації безпілотних літальних апаратів в умовах сучасної війни // *Безпілотна авіація у сучасній збройній боротьбі*. – Харків, 2025. – С. 35–40.
4. Стілвелл А. Військові дрони. Безпілотні літальні апарати (БПЛА). – Київ : Знання, 2025. – 144 с.
5. Малі безпілотні літальні апарати: теорія та практика. – Київ : 3Druk & Book, 2023. – 280 с.
6. Козлов О. В., Павленко М. А. Основи проектування безпілотних літальних апаратів. – Київ : НАУ, 2021. – 240 с.
7. Лебедев С. В., Бондаренко О. І. Системи управління безпілотними літальними апаратами. – Харків : ХАІ, 2020. – 210 с.
8. Бондаренко В. М. Методи навігації та управління безпілотними літальними апаратами. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 198 с.
9. Сіренко Ю. П., Коваленко Д. С. Перспективи застосування безпілотних літальних апаратів у повітряному просторі України // *Науковий вісник ХНУПС*. – 2021. – № 3. – С. 45–52.

Кветний Роман Наумович – професор кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, e-mail: rkvetny@sprava.net

Богач Ілона Віталіївна – к.т.н., доцент, професор кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, e-mail: ilona.bogach@gmail.com

Тимчук Денис Віталійович – студент групи ІАКІТ-226, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: dentimchuk@gmail.com

Kvyetnyy Roman Naumovich – Professor at the Department of Automation and Intelligent Information Technologies, Faculty of Intelligent Information Technology and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: rkvetny@vntu.edu.ua.

Bogach Ilona Vitaliivna – PhD, Professor at the Department of Automation and Intelligent Information Technologies, Faculty of Intelligent Information Technology and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ilona.bogach@gmail.com

Tymchuk Denys Vitaliiovych – студент групи ІАКІТ-226, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: dentimchuk@gmail.com