

ОПТИМІЗАЦІЯ МАРШРУТІВ ТАКТИЧНИХ ДРОНІВ ЗАСОБАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто сучасні підходи до оптимізації маршрутів тактичних безпілотних літальних апаратів (БПЛА) із застосуванням алгоритмів штучного інтелекту. Проаналізовано методи побудови траєкторій у складних умовах, включаючи наявність перешкод, змінні параметри середовища та зони радіоелектронних впливів. Досліджено ключові переваги використання алгоритмів навігації на основі машинного навчання, а також визначено основні проблеми їх впровадження та можливі шляхи подолання.

Ключові слова: БПЛА, оптимізація маршруту, штучний інтелект, машинне навчання, навігація, алгоритми пошуку шляху.

Annotation

The paper analyzes modern approaches to optimizing the flight routes of tactical unmanned aerial vehicles (UAVs) using artificial intelligence algorithms. The study examines methods of trajectory construction in complex environments, including obstacle presence, dynamic environmental conditions, and areas of electronic interference. Key advantages of AI-based navigation systems are highlighted, along with the main challenges of their implementation and potential solutions.

Keywords: UAV, route optimization, artificial intelligence, machine learning, navigation, path-finding algorithms.

Вступ

У сучасних тактичних операціях безпілотні літальні апарати відіграють важливу роль завдяки мобільності, автономності та здатності виконувати завдання в умовах обмеженої видимості або підвищеного ризику. Ефективність роботи таких систем значною мірою залежить від правильного планування польотного маршруту. Традиційні методи навігації не завжди забезпечують необхідну адаптивність, особливо за наявності радіоперешкод, змін рельєфу або динамічних загроз. Використання алгоритмів штучного інтелекту дозволяє створювати більш гнучкі, стійкі та оптимальні рішення для прокладання траєкторій. Це відкриває можливості для підвищення точності руху, енергоефективності та безпеки польотів.

Результат розробки

Оптимізація маршрутів БПЛА із застосуванням ШІ базується на поєднанні алгоритмів пошуку найкоротшого шляху та моделей прийняття рішень у змінному середовищі. Алгоритми A*, D*, RRT та їх модифікації дозволяють ефективно знаходити траєкторії з урахуванням статичних перешкод. У свою чергу, методи машинного навчання, зокрема reinforcement learning, забезпечують адаптацію до нових умов під час польоту. Це дає змогу дрону вибирати маршрут, що мінімізує енергоспоживання та уникає небезпечних зон. Застосування ШІ також підвищує стійкість навігації у випадках радіоелектронної боротьби. Моделювання зон глушіння дозволяє алгоритмам прокладати альтернативні шляхи або змінювати маршрут у реальному часі. Крім того, штучний інтелект забезпечує швидку реакцію на динамічні загрози, наприклад появу рухомих перешкод, та здатність прогнозувати можливі ризики на основі аналізу попередніх траєкторій. Автоматизована система побудови маршрутів не тільки підвищує точність і безпечність польоту, а й оптимізує використання батареї, що є критичним фактором для тактичних дронів малої та середньої дальності. Алгоритмічні рішення дозволяють розподіляти ресурси більш раціонально та забезпечують можливість безперервного виконання місії навіть в умовах обмеженого зв'язку або часткової втрати даних.

Виклики впровадження

Висока обчислювальна складність. Алгоритми навігації та ML-моделі потребують значних ресурсів, що ускладнює їх використання на борту малих дронів. Нестабільність каналів зв'язку. У тактичних умовах можливі втрати сигналу, що знижує точність навігації. Потреба у великому обсязі навчальних даних. Ефективність AI-моделей залежить від якості та різноманітності даних. Обмеження енергоресурсів. Постійний перерахунок оптимального маршруту збільшує навантаження на бортову систему живлення.

Шляхи подолання викликів

- Використання оптимізованих моделей (quantization, pruning) для зменшення обчислювального навантаження.
- Розробка гібридних підходів, де частина обробки виконується на наземній станції.
- Застосування симуляторів для генерації навчальних даних у великому обсязі.
- Використання енергоефективних протоколів комунікації та адаптивних алгоритмів оновлення маршруту.

Висновки

Використання алгоритмів штучного інтелекту для оптимізації маршрутів тактичних дронів дозволяє значно підвищити ефективність та безпечність польотів у складних умовах. Інтелектуальні системи навігації забезпечують здатність швидко адаптуватися до змін у середовищі, обходити небезпечні ділянки та мінімізувати витрати енергії. Подальший розвиток апаратних платформ та алгоритмів машинного навчання сприятиме впровадженню більш автономних, надійних і високоточних рішень у сфері тактичних безпілотних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Russell S., Norvig P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. — Upper Saddle River: Prentice Hall, 2021.
2. LaValle S. M. *Planning Algorithms*. — Cambridge University Press, 2006.
3. Sutton R. S., Barto A. G. *Reinforcement Learning: An Introduction*. — MIT Press, 2018.
4. Waharte S., Trigoni N. “Supporting Search and Rescue Operations with UAVs: A Survey”. *Journal of Field Robotics*, 2010.
5. Lee D., Lin Y. “Autonomous UAV Path Planning Using Reinforcement Learning”. *IEEE Access*, 2021.

Кисюк Дмитро Васильович — старший викладач кафедри обчислювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, вул. Хмельницьке шосе 95, м. Вінниця, Україна, kneimad@gmail.com

Копчук Валерія Василівна — студентка групи 2KI-25б, факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, кафедри обчислювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, вул. Хмельницьке шосе 95, м. Вінниця, Україна, valeriakopchuk5@gmail.com

Kysiuk Dmytro V. - Senior Lecturer at the Department of Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, 95 Khmelnytske Shose St., Vinnytsia, Ukraine, kneimad@gmail.com

Kopchuk Valeriia V. - Student of group 2KI-25b, Faculty of Information Technologies and Computer Engineering, Department of Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, 95 Khmelnytske Shose St., Vinnytsia, Ukraine, valeriakopchuk5@gmail.com