

УДК 004.8:629.735

Онищенко В.Ф.¹, Магльованний В.А.²

¹ канд. фіз.-мат. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² асп. гр. А-172.13 НУ «Запорізька політехніка»

ОПТИМІЗАЦІЯ МАРШРУТІВ НАВЕДЕННЯ БПЛА ЗА ДОПОМОГОЮ РЕКУРЕНТНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Швидкий прогрес у сфері штучного інтелекту та автономних систем значно вплинув на проектування та розробку безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Однією з найважливіших проблем у сучасних додатках БПЛА, особливо в критично важливих сценаріях, є оптимізація маршрутів наведення та навігації в режимі реального часу. Традиційні алгоритми планування шляху часто не в змозі ефективно адаптуватися до динамічного та невизначеного середовища, особливо коли мають справу зі швидкими змінами параметрів, таких як погодні умови, перешкоди та рухомі цілі. Для

вирішення цієї проблеми багатообіцяючим рішенням стали рекурентні нейронні мережі (RNN) завдяки їхній здатності обробляти тимчасові послідовності та вивчати історичні дані. Хоча існуючі дослідження [1, 2] досягли значних успіхів у наведенні та прогнозуванні траєкторії БПЛА, залишається прогалина в інтеграції RNN для адаптивної оптимізації траєкторії в реальному часі, яка враховує енергоефективність, динаміку навколишнього середовища та системні обмеження. Наше дослідження має на меті заповнити цю прогалину шляхом розробки системи наведення на основі RNN, яка покращує можливості прийняття рішень, покращує управління енергією та адаптується до мінливих умов, тим самим просуваючи сферу автономної навігації БПЛА.

У цій роботі досліджується впровадження моделей на основі RNN для оптимізації траєкторій наведення БПЛА. На відміну від нейронних мереж прямого зв'язку, RNN зберігають інформацію про попередні стани, що робить їх особливо придатними для прогнозування майбутніх позицій і динамічного коригування маршрутів на основі даних у реальному часі. Дослідження зосереджено на розробці архітектури RNN, адаптованої до динаміки руху БПЛА та змінних середовища, таких як напрям вітру, тип рельєфу та зони втрати сигналу.

Навчальний набір даних створено за допомогою імітації польоту у віртуальному середовищі, яке включає як статичні, так і динамічні перешкоди. Стратегія навчання з підкріпленням також застосовується в поєднанні з моделлю RNN для покращення процесу прийняття рішень з часом. БПЛА вчиться вибирати оптимальні траєкторії польоту, отримуючи зворотний зв'язок на основі показників успіху місії, ефективності часу та споживання енергії.

Експериментальні результати демонструють значне покращення ефективності та адаптивності маршруту порівняно з класичними методами планування, такими як A* або алгоритм Дейкстри. Крім того, система навігації на основі RNN демонструє надійну продуктивність у раніше невідомих сценаріях, що вказує на потужні можливості узагальнення. Це відкриває двері для автономного прийняття рішень у складних середовищах, зменшуючи потребу у втручанні людини та підвищуючи загальну надійність місій БПЛА.

Підсумовуючи, інтеграція рекурентних нейронних мереж у системи наведення БПЛА пропонує трансформаційний підхід до оптимізації траєкторії. Забезпечуючи прогнозну та адаптивну навігацію, RNN сприяють більш розумній, гнучкій та орієнтованій на місію поведінці в польоті. У майбутніх роботах може бути розглянуто застосування більш просунутих архітектур, таких як довгострокова короткочасна пам'ять (LSTM) або

регульовані повторювані блоки (GRU), для подальшого підвищення продуктивності в режимі реального часу з високим ризиком.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ait Saadi, A., Bhuyan, B. P., & Ramdane-Cherif, A. (2025). Power consumption model for Unmanned Aerial Vehicles using Recurrent Neural Network techniques. *Aerospace Science and Technology*, 157, 108191. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2024.108191>

2. Wu, D. (2025). Predictor-based neural network control for unmanned aerial vehicles with input quantization: Design and application. *Artificial Intelligence Review*, 58(47). <https://doi.org/10.1007/s10462-024-11054-0>