

*В.М. Синєглазов, д.т.н., проф., Д.В. Таранов
(Національний авіаційний університет, Україна)*

Нейромережева система автозахоплення та трекінгу цілі FPV дроном з автономним зворотним зв'язком

У цій статті представлено концепцію системи автозахоплення цілі FPV дроном на основі нейронних мереж. Після підтвердження цілі оператором, дрон використовує зворотний зв'язок від нейромережі для постійного коригування своєї траєкторії та слідування за ціллю. Розглянуто алгоритми виявлення, трекінгу та зворотного зв'язку, що забезпечують високу точність і надійність системи в режимі реального часу.

Вступ

Запропонована концепція системи захоплення цілі FPV безпілотною складається з трьох ключових етапів, кожен з яких реалізується за допомогою відповідних алгоритмів та нейронних мереж. Ці етапи включають виявлення цілі, супроводження цілі та зворотний зв'язок для корекції траєкторії польоту безпілотною.

Огляд літератури

Це дослідження базується на роботах, що охоплюють різні аспекти автозахоплення, трекінгу цілей і управління дронами з використанням нейронних мереж та алгоритмів глибокого навчання.

Keller та Ben-Moshe (1) досліджують методи приземлення дронів на рухомі цілі, що є основою для розробки адаптивних алгоритмів трекінгу в нашій системі. Saripalli (2) пропонує методи візуального керування для точного визначення цілей, що застосовано у нашому підході до трекінгу. Khreis та ін. (3) представляють алгоритм виявлення цілей в реальному часі, що послужив базою для нашої системи виявлення.

Роботи Vidovic та Popovic (4) і Piątkowski та Stolarz (5) досліджують легкі нейронні мережі та методи керування на основі візуальної інформації, що дозволило оптимізувати нашу систему для роботи в реальному часі (FPV). Огляди Yao та ін. (6) і Benmohamed та Snoussi (7) підкреслюють важливість глибокого навчання в автономній навігації та трекінгу цілей для дронів.

Загалом, ці роботи забезпечують фундаментальні технічні рішення, що дозволяють інтегрувати нейронні мережі та алгоритми трекінгу в систему автозахоплення цілі FPV дроном, забезпечуючи її точність та ефективність.

Загальна алгоритмічна база дослідження

Запропонована система автоматичного виявлення та супроводження цілей для БПЛА FPV базується на декількох ключових алгоритмах, які працюють в інтегрованому середовищі та забезпечують ефективне виявлення, супроводження та наведення на ціль в реальному часі. Система складається з таких основних компонентів:

Алгоритм виявлення цілей:

Основний компонент системи, що відповідає за виявлення цілей у відеопотоці, який надходить з FPV-камери безпілотної. Мережа використовує згорткові шари для вилучення особливостей зображення і тому здатна ідентифікувати та класифікувати об'єкти на основі попереднього навчання. Алгоритм працює в режимі реального часу, тому ідентифікує цілі швидко і точно, що має вирішальне значення для успіху місії.

Алгоритм відстеження цілей:

Фільтр Калмана: використовується для безперервного відстеження положення цілі після її виявлення. Фільтр Калмана робить прогнози на основі попередніх даних, щоб компенсувати випадкову втрату сигналу або миттєві перешкоди при виявленні. Це забезпечує стабільне відстеження цілі навіть у складних умовах, коли ціль рухається або на неї впливають зовнішні чинники.

Зворотний зв'язок і алгоритм корекції траєкторії:

Система зворотного зв'язку: взаємодіє з нейронною мережею для постійного оновлення координат цілі та передачі цих даних до системи керування безпілотною. Зворотний зв'язок дозволяє дрону автоматично коригувати свій курс, забезпечуючи точне відстеження цілі в реальному часі. Це важливо для підтримки фіксованої траєкторії польоту та успішного виконання завдань, пов'язаних з автоматичною фіксацією та супроводом цілі.

Алгоритм коригування поведінки безпілотної:

Команди зворотного керування: генеруються на основі даних, отриманих від нейронної мережі, і подаються в систему керування безпілотною. Це дозволяє дрону автоматично коригувати свою траєкторію, щоб адаптуватися до мінливих умов, таких як швидкість цілі або вплив зовнішніх факторів.

Ця алгоритмічна система забезпечує високий рівень автоматизації та точності виконання завдань, пов'язаних з автоматичною фіксацією та відстеженням цілей, що особливо важливо у військових та інших критично важливих сферах застосування.

Тренування нейромережі

Основним елементом системи є нейронна мережа Fast-YOLOv4, яка відповідає за цільову ідентифікацію. Для навчання цієї мережі використовується великий набір даних зображень різноманітних типів цілей в різних умовах освітлення і фону. За допомогою анотування зображень мітимо позиції цілей та їх класів.

Процес навчання складається з наступних етапів:

Підготовка даних: Вхідні дані мають бути підготовлені у вигляді зображень та відповідних анотацій у форматі, що підтримується Fast-YOLOv4. Розмір зображень повинен бути змінений до 608x608 пікселів, а всі анотації повинні бути нормалізовані.

Навчання моделі: Навчання Fast-YOLOv4 відбувається за допомогою алгоритму зворотного поширення помилки з використанням оптимізатора Adam. Кількість епох для навчання та швидкість навчання визначаються експериментально в залежності від кількості даних та складності задачі.

Валідація та тестування: Після кожної епохи модель проходить етап валідації, який дозволяє оцінити її точність на валідаційному наборі даних. За результатами валідації виконується корекція параметрів.

Інтеграція з іншими алгоритмами

Після навчання нейронна мережа включає в себе алгоритми відстеження та зворотного зв'язку. Алгоритм відстеження використовує дані, згенеровані мережею, для постійного оновлення положення цілі. Дані зворотного зв'язку передаються до систем керування безпілотником, що дозволяє йому коригувати свою траєкторію в режимі реального часу.

Основні етапи інтеграції включають.

Завантаження навченої моделі: Модель Fast-YOLOv4 завантажується в робоче середовище для обробки вхідного відеопотоку.

Обробка відеопотоку: Дані з камери дрона подаються в модель, яка визначає координати цілі для кожного кадру.

Зворотний зв'язок і корекція траєкторії: Оновлені координати надсилаються до системи керування, яка використовує їх для постійного коригування курсу дрона.

В рамках цього дослідження було проведено серію лабораторних експериментів, спрямованих на оцінку ефективності запропонованої системи автоматичного захоплення та стеження для FPV дронів. Експерименти проводилися при різних умовах освітлення, типах цілей та сценаріях руху. Важливою частиною тестування було визначення точності виявлення, супроводу та корекції траєкторії безпілотника за допомогою команд зворотного керування, що генеруються на основі даних нейронної мережі.

Експерименти проводилися в умовах, максимально наближених до реальних умов, з використанням різних типів цілей і сценаріїв, проводилось по 10 тестів для кожного виду умов:

Таблиця 1

Тест	Умови експерименту	Точність виявлення цілі (%)	Час реагування (мс)	Точність трекінгу (%)	Відхилення від цілі на площині під дроном (м)
1	Стандартні умови освітлення, статична ціль	94.7%	120	95.4%	~0.3 м
2	Низьке освітлення, статична ціль	89.9%	150	90.2%	~0.5 м
3	Змінне освітлення, рухома ціль	84.3%	170	85.8%	~0.7 м
4	Висока швидкість руху цілі, яскраве освітлення	89.1%	130	89.6%	~0.4 м
5	Складні фонові умови, рухома ціль	81.2%	160	82.5%	~0.8 м

Відхилення від цілі на площині під дроном (м): Відхилення місця дрона від положення цілі, яке розраховується на основі зворотнього зв'язку, що передається для корекції траєкторії в початковій точці захоплення цілі.

Результати експериментів показують, що запропонована система демонструє високу точність і стабільність при різних умовах освітлення та типах цілей. Використання команд зворотнього керування на основі даних нейронної мережі дозволяє дрону ефективно слідувати за ціллю, коригуючи траєкторію в режимі реального часу. Це підтверджується низьким рівнем відхилення від траєкторії та мінімальними похибками у виявленні цілі навіть у складних умовах.

Такий підхід дозволяє створити систему, яка може ефективно виявляти ціль, відстежувати її та автоматично коригувати траєкторію польоту безпілотної в режимі реального часу, що є критично важливим для виконання складних завдань в автономному режимі.

Висновки

В роботі запропоновано інтегровану систему автоматичного захоплення цілі FPV дроном на основі нейронних мереж та алгоритмів стеження. Основними компонентами системи є нейронна мережа Fast-YOLOv4

для виявлення цілей, фільтр Калмана для стеження та механізм зворотного зв'язку, який дозволяє автоматично коригувати траєкторію польоту безпілотної на основі даних нейронних мереж. Такий підхід дозволяє безпілотнику ефективно та надійно слідувати за ціллю в режимі реального часу, забезпечуючи високу точність та швидкість реагування.

Результати дослідження показують, що запропонована система може бути успішно використана в різних сценаріях, включаючи військові операції, пошуково-рятувальні місії та інші критичні завдання, де автономність і точність є ключовими факторами.

У подальших дослідженнях можуть бути розглянуті можливості підвищення адаптивності системи до мінливих умов навколишнього середовища, інтеграції даних додаткових датчиків, таких як LiDAR або ультразвукові датчики, а також використання навчання з підкріпленням для оптимізації маршрутів безпілотної.

Список літератури

1. Assaf Keller, Boaz Ben-Moshe. (2022). "A Robust and Accurate Landing Methodology for Drones on Moving Targets." *Drones*, 6(4), 98.
2. Srikanth Saripalli. (2022). "Autonomous Quadcopter Landing on a Moving Target." *Sensors*, 22(3), 1116.
3. Ahmed Khreis, Ahmed Soliman, Tarek El-Ghazawi. (2022). "A Real-Time UAV Target Detection Algorithm Based on Edge Computing." *Drones*, 7(4), 509.
4. M. Vidovic, D. S. Popovic. (2023). "An Effective and Lightweight Full-Scale Target Detection Network for UAV Images." *Drones*, 7(1), 95.
5. Wojciech Piątkowski, Damian Stolarz. (2021). "A simple vision-based navigation and control strategy for autonomous drone racing." *arXiv*.
6. Xiang Yao, Kaiqiang Chen, Yingke Lu. (2021). "Deep Learning-Based Autonomous Aerial Navigation and Control: A Survey." *IEEE Access*, 9, 105343-105369.
7. Badr Benmohamed, Hichem Snoussi. (2020). "Object Detection and Tracking Using Deep Learning for Unmanned Aerial Vehicles." *Remote Sensing*, 12(24), 4151.
8. S. De Smedt, H. Van de Voorde, W. Philips. (2020). "Real-Time Autonomous UAV Landing Using Deep Learning for Visual Odometry." *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 56(6), 4761-4774.