УДК 62.51

Анализ современного состояния области управления БПЛА с помощью нейросетевых технологий

Титаренко Д.Ю., Рыжкова М.Н.

Одной из актуальных проблем области управления БПЛА является задача маневрирования на высокой скорости. На сегодняшний день проблема уворачивания от препятствий решается комплексно программными и аппаратными средствами БПЛА. В статье проводится анализ современного состояния отрасли, связанной с управлением БПЛА, для выявления существующих методов и разработки эффективного подхода к интеграции технологий компьютерного зрения, глубокого обучения и управления БПЛА. В качестве данных аппаратного комплекса для системы уклонения были выбраны данные с радаров и сенсоров, а для программной обработки сигналов - комбинация сверточных нейронных сетей (CNN) для восприятия окружающей среды и рекуррентных нейронных сетей (RNN) для отслеживания временных зависимостей позволяет дронам быстро принимать решения и строить оптимальные траектории в условиях, где требуется моментальное реагирование на изменения в окружении.

Ключевые слова: БПЛА, маневрирование на высокой скорости, программный комплекс, аппаратный комплекс.

Введение

Современные беспилотные летательные аппараты (БПЛА, дроны) активно применяются в самых разных сферах, включая мониторинг окружающей среды, промышленную инспекцию, спасательные операции и логистику. С развитием технологий беспилотные летательные аппараты (БПЛА) получают всё более широкое применение, становясь важным инструментом в таких областях, как картографирование, мониторинг окружающей среды, управление инфраструктурными объектами и доставка грузов. Однако успешное выполнение автономных задач в этих областях требует высокой маневренности и надежности БПЛА, особенно в условиях высокой скорости полета и наличия многочисленных препятствий.

Способность дронов выполнять автономные задачи и безопасно перемещаться в динамичной среде становится одной из ключевых задач в развитии беспилотных технологий. Тем не менее, создание системы автопилота, обеспечивающей безопасное передвижение БПЛА на высокой скорости, требует разработки эффективных алгоритмов обнаружения препятствий и маневрирования, что представляет собой технически сложную задачу.

Ключевой проблемой остаётся необходимость создания систем автономного управле-

ния, способных в реальном времени обнаруживать препятствия и строить траектории уклонения, что особенно важно при выполнении полётов в густонаселённых городских районах, лесных массивах, а также в условиях ограниченной видимости. Традиционные методы обнаружения и уклонения, такие как использование лидаров и оптических сенсоров, часто не справляются с задачей на высокой скорости, требуя использования новых подходов на основе глубокого обучения и компьютерного зрения. Глубокие нейронные сети позволяют улучшить точность и скорость распознавания объектов, но требуют серьёзных вычислительных ресурсов, что представляет дополнительную сложность для компактных дронов с ограниченными батареями и вычислительной мощностью.

Актуальность данной работы заключается в необходимости создания эффективной системы автопилота, способной обеспечить безопасное и устойчивое движение БПЛА на высокой скорости в условиях сложной и динамичной среды. Такой автопилот позволит повысить автономность и функциональность БПЛА, что расширит их возможности в различных сферах и позволит безопаснее и точнее выполнять задачи в условиях, где требуются высокая скорость и быстрая адаптация к меняющейся обстановке.

Настоящая работа направлена анализ современного состояния отрасли, связанной с управлением БПЛА, для выявления существующих методов и разработки эффективного подхода к интеграции технологий компьютерного зрения, глубокого обучения и управления БПЛА.

Аппаратные компоненты системы уклонения от препятствий БПЛА

Для эффективного уклонения от препятствий на высокой скорости необходима интеграция аппаратных и программных средств управления БПЛА.

В качестве аппаратных компонентов системы уклонения от препятствий БПЛА выступают:

- контроллеры и процессоры [1, 2]: большая часть дронов использует мощные ARM-процессоры, такие как NVIDIA Jetson TX2, которые позволяют запускать Linux и поддерживать GPU. Они обеспечивают хорошее соотношение между производительностью и потреблением энергии.

- сенсоры [3]: дроны обычно оснащены:

 - IMU с акселерометром, гироскопом и магнитометром.

 - камеры и 3D-системы (например, RGB, VGA, и стереокамеры).

 - лазерные дальнометры и ультразвуковые датчики;

- система связи [4, 5, 6]: большинство дронов используют Wi-Fi или Bluetooth для передачи данных, а также могут применять другие технологии, такие как LoRa или 5G;

- система питания: современные батареи Li-ion и Li-Po обеспечивают питание для большинства компонентов, но они ограничивают время полета из-за своего веса. Экспериментально применяются механизмы для сбора энергии из окружающей среды, такие как солнечные панели.

В итоге, основные задачи включают ограничение по энергии, вычислительные ресурсы и необходимость обеспечения безопасности данных. Использование edge/fog computing и распределенных технологий (например, блокчейна) помогает снизить

нагрузку на облако и улучшить надежность системы.

В источнике [7] описаны большинство используемых технологий в общем виде, как программных так и аппаратных, описаны их плюсы и минусы, что может помочь сделать правильный выбор при базовом проектировании. Однако все подходы описаны в общем виде, не представлены технические характеристики, необходим анализ большего количества источников.

Одним из важнейших компонентов системы автоматического уворота от препятствий являются радары. Радары, которые используются для обнаружения препятствий, а также уворота от них как в гражданской, так и в военной сфере. В работах [8, 9] представлены классификации радаров, их способностям и использование в разных условиях. Технология FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave): радары FMCW работают за счет передачи и приема частотно-модулированных сигналов, что позволяет точно измерять расстояние и относительную скорость объектов [10-12].

Преимущества радаров для БПЛА:

- Надежная работа в сложных погодных условиях (туман, дождь, плохое освещение).

- Способность измерять параметры объектов (расстояние, скорость, направление) на высокой скорости, что особенно важно для навигации на больших скоростях.

Методы обработки сигналов в радарх БПЛА:

- доплеровский процессинг: используется для вычисления скорости движения объектов на основе частотных изменений сигнала.

- оценка угла прихода (Angle of Arrival): метод для определения углового положения объекта относительно дрона.

Основные области применения радаров:

- Мониторинг и контроль препятствий: радары позволяют обнаруживать препятствия, избегать столкновений и безопасно маневрировать на высоких скоростях.

- Групповой полет: обеспечивает взаимодействие между несколькими дронами в од-

ном воздушном пространстве, помогая избежать столкновений и поддерживать безопасное расстояние.

- Навигация и SLAM (Simultaneous Localization and Mapping): радары могут участвовать в построении карт и локализации дронов в условиях ограниченной видимости.

Кроме радаров нашли свое применение и другие навигационные системы – лидары. LiDAR – это одна из разновидностей технологии дистанционного зондирования. Вместо обычных фотокамер датчики LiDAR посылают быстрые лазерные импульсы и фиксируют ответную реакцию, используя эти точки данных для составления карты местности с высокой точностью и аккуратностью [13, 14].

Для дальнейшей работы с БПЛА для решения задач маневрирования необходимо использование данных с радаров и сенсоров БПЛА, которые поступают при помощи различных технологий. При поступлении данных дальнейшая их обработка должна выполняться их программная обработка.

Программные компоненты системы уклонения от препятствий БПЛА

Одним из наиболее перспективных подходов для решения задач обнаружения препятствий и уклонения от них является использование технологий глубокого обучения (DL), которые позволяют БПЛА адаптироваться к сложным условиям, анализируя данные с сенсоров в режиме реального времени. К примеру, комбинация сверточных нейронных сетей (CNN) для восприятия окружающей среды и рекуррентных нейронных сетей (RNN) для отслеживания временных зависимостей позволяет дронам быстро принимать решения и строить оптимальные траектории в условиях, где требуется моментальное реагирование на изменения в окружении.

Тем не менее, реализация таких систем сопряжена с рядом ограничений. К ним относятся высокие требования к вычислительным ресурсам, ограниченный заряд батареи, а также необходимость в надежной передаче данных в условиях возможных помех. Сложность задачи также увеличивается в связи с

необходимостью интеграции различных датчиков, таких как лидары, стереокамеры и GPS, для получения точных данных о местоположении и скорости объектов. Кроме того, требуется учитывать вопросы кибербезопасности и устойчивости системы к потенциальным внешним угрозам.

Для реализации проекта необходимо провести анализ используемых технологий в похожих продуктах, методы и подходы, а также новейшие научные разработки. Для этого проведем анализ различной литературы, первым источником будет «A Review on IoT Deep Learning UAV Systems for Autonomous Obstacle Detection and Collision Avoidance» [15], где описываются все используемые методы и технологии для решения задач уворота от препятствий на текущее время.

Для уклонения от препятствий на беспилотных летательных аппаратах (БПЛА) применяются различные подходы глубокого обучения (DL), которые можно разделить на два типа:

1. End-to-End подходы: эти методы используют необработанные данные с сенсоров, напрямую переводя их в команды управления для уклонения. Они обучаются, анализируя поведение опытного пилота, работающего в реальной среде [16, 17].

2. Модульные подходы: используют несколько промежуточных слоев, таких как карты глубины и оценка позы дрона, для более детального анализа обстановки [18, 19]. Эти методы включают:

- Оценку глубины для определения расстояния до препятствий [20, 21].

- Оценку положения и одометрии для непрерывной настройки траектории полета, что помогает в достижении конечной цели, избегая столкновений. Примерами используемых архитектур выступают [22, 23]:

- Сверточные нейронные сети (CNN): позволяют извлекать признаки высокой размерности из данных с сенсоров, особенно эффективны для восприятия среды и оценки глубины [24, 25].

- Рекуррентные нейронные сети (RNN) и Long Short-Term Memory (LSTM): помогают

учитывать прошлые наблюдения для создания целостной картины окружающей среды, что важно для стабильного полета. Эти методы отслеживают и хранят временные зависимости в наблюдениях, например, карты глубины или недавно обойденные препятствия. Для повышения точности анализа последовательностей также может применяться Временное внимание (Temporal Attention), которое назначает вес каждому наблюдению в зависимости от его важности. Аппаратные части таких систем обычно состоят из нескольких архитектур, такие архитектуры делятся на несколько уровней [26, 27].

DL-UAV архитектуры обычно делятся на три уровня:

1. Уровень БПЛА: включает в себя основные компоненты дрона [28, 29]:

- Подсистема пропеллеров управляет двигателями.

- Основная система управления координирует другие подсистемы.

- Система сенсоров и приводов собирает данные об окружающей среде и передает инструкции контроллерам.

- Система позиционирования: GPS для наружной навигации или визуальная одометрия для внутренних пространств.

- Подсистема связи: передача данных беспроводным способом.

- Подсистема хранения: хранит собранные данные, включая видеопоток.

- Подсистема глубокого обучения: обрабатывает данные с помощью DL для принятия решений по управлению.

2. Уровень внешнего управления: данные с БПЛА передаются на наземную станцию, которая может управлять дроном автономно или вручную [30, 31].

3. Удаленный сервисный слой: облачная система для обработки данных и хранения вычислительно сложных задач, которые не требуют быстрого отклика [32, 33].

Для дальнейшей работы с БПЛА для маневрирования на высокой скорости была выбрана комбинация сверточных нейронных сетей (CNN) для восприятия окружающей среды и

рекуррентных нейронных сетей (RNN) для отслеживания временных зависимостей, которая позволяет дронам быстро принимать решения и строить оптимальные траектории в условиях, где требуется моментальное реагирование на изменения в окружении.

Заключение

В статье рассмотрены основные технологии, которые используются сегодня в БПЛА. Рассмотрены аппаратные средства управления БПЛА, а также программные компоненты системы уклонения от препятствий БПЛА. Был сделан вывод, что использование сенсоров и радаров на БПЛА позволит своевременно выявлять препятствия в процессе движения. Выявлено, что использование технологий глубокого обучения позволяет БПЛА адаптироваться к сложным условиям, анализируя данные с сенсоров в режиме реального времени. Использование комбинации сверточных нейронных сетей (CNN) для восприятия окружающей среды и рекуррентных нейронных сетей (RNN) для отслеживания временных зависимостей позволяет дронам быстро принимать решения и строить оптимальные траектории в условиях, где требуется моментальное реагирование на изменения в окружении.

Литература

1. Штаев Д.В. Анализ технологии управления беспилотными летательными аппаратами // Территория новых возможностей. 2019. №2. С. 113-119.
2. Владимирова К. В., Волчѣк Д. А., Нартов Е. А. Система управления БПЛА на базе микроконтроллера Atmel // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2014. №10. С. 185 – 186.
3. Теллур Электроникс. [Электронный ресурс]/ Режим доступа: https://tellur-el.ru/company/news/kakie_datchiki_polozheniya_izpolzuyutsya_v_grazhdanskikh_bpla/
4. Построение систем связи беспилотных летательных аппаратов для передачи информации на большие расстояния [Электронный ресурс]/ Режим доступа: <https://uav-siberia.com/news/postroenie-sistem-svyazi-bespilotnykh-letatelnykh-apparatov-dlya-peredachi-informatsii-na-bolshie-ra/>
5. Ананьев А.В., Стафеев М.А., Макеев Е.В. Разработка способа организации связи с использованием беспилотных летательных аппаратов ма-

лой дальности // Труды МАИ, №105. Режим доступа: https://trudymai.ru/upload/iblock/2fc/Ananayev-Stafeev-Makeev_rus.pdf?lang=ru&issue=105

6. Каштанов В. В., Немтинов В. А. Анализ организации связи с применением беспилотных летательных аппаратов малой дальности // Вестник ТГТУ. 2022. №4. С. 606-614.

7. Schneemann, F., & Heinemann, D. Obstacle Avoidance Using Deep Reinforcement Learning for UAVs. IEEE Robotics and Automation Letters. 2016. DOI: 10.1109/LRA.2016.2516545

8. Richter, C., & Roy, N. Safe Navigation in Dynamic Environments Using Predictive Obstacle Avoidance for UAVs. Journal of Field Robotics. 2017. DOI: 10.1002/rob.21632

9. Везарко Д.А., Чечельницкий А.С., Коптев В.А., Халматов Б.М. Анализ радиолокационных систем обнаружения малоразмерных беспилотных летательных аппаратов // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2024. №3-2 (90). С. 157-161

10. Фолькер Л. Мастер запуска радарных (FMCW) и рефлекс-радарных (TDR) уровнемеров Система человеко-машинного интерфейса (ЧМИ, управляемый модулем оперативной помощи) // Территория Нефтегаз. 2006. №6. С. 16-19.

11. Pham, Trong Hung, и Tien Tai Nguyen. Introduction to fmcw radar signals processing based on signals compression theory along the frequency axis.// EurasianUnionScientists, январь, 2022. P. 03-11. <https://fizmat-tech.euroasia-science.ru/index.php/Euroasia/article/view/776>.

12. Anitori L., de Jong A. and Nennie F. FMCW radar for life-sign detection, 2009 IEEE Radar Conference, Pasadena, CA, USA, 2009, pp. 1-6.

13. Беспилотные системы LiDAR: использование беспилотных летательных аппаратов, оснащенных LiDAR [Электронный ресурс]/ Режим доступа: https://djimsk.ru/guides/2024/10/22/ispolzovanie-bpla-s-lidar/?srsltid=AfmBOopTbfd26vj4EnA7f4Aw8nCsNNuvQ_U-cTE2RGpMdDCLrmCA17

14. Развитие применения лидаров на дроне // Вестник ГЛОНАСС [Электронный ресурс]/ Режим доступа: vestnik-glonass.ru/~t4mvX

15. A Review on IoT Deep Learning UAV Systems for Autonomous Obstacle Detection and Collision Avoidance // Remote sensing [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/335848267_A_Review_on_IoT_Deep_Learning_UAV_Systems_for_Autonomous_Obstacle_Detection_and_Collision_Avoidance

16. Qadir J.Z. et al. End-to-end learning for autonomous navigation of UAVs using deep reinforcement

learning // Journal of Intelligent & Robotic Systems, 2021.

17. Khan A.A. et al. End-to-End Control of UAVs for Obstacle Avoidance Using Deep Learning // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2022.

18. Al Mahamid F. and Grolinger K. VizNav: A Modular Off-Policy Deep Reinforcement Learning Framework for Vision-Based Autonomous UAV Navigation // Drones, 2024.

19. Fraga-Lamas P. et al. A Review on IoT Deep Learning UAV Systems for Autonomous Obstacle Detection and Collision Avoidance // Remote Sensing, 2019.

20. Li X. et al. Depth Estimation for UAVs Using Convolutional Neural Networks // Sensors, 2021.

21. Wang S. and Fang Y. Real-Time Depth Estimation for UAV Navigation // Autonomous Robots, 2023.

22. Kim M.S. et al. Visual-Inertial Odometry for UAV Navigation // IEEE Robotics and Automation Letters, 2020.

23. Tarasov A. et al. // Robust Pose Estimation for UAVs Using Deep Learning // International Journal of Robotics Research, 2022.

24. Luo Y. et al. Deep Convolutional Neural Networks for Real-Time UAV Environment Perception // Neurocomputing, 2021.

25. Zhang J. et al. Efficient CNN Architectures for UAV Navigation in Complex Environments // Pattern Recognition Letters, 2022.

26. Tian Y. et al. Trajectory Prediction for UAVs Using LSTM Networks // Applied Soft Computing, 2020.

27. Lee J.W. et al. Temporal Attention Mechanisms for Enhanced Obstacle Avoidance in UAVs // Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2023.

28. Zhang H. et al. Comprehensive Review of UAV Architectures and Components // Drones, 2023.

29. Singh A. and Kumar R. Energy-Efficient Hardware Systems for UAV Applications // Journal of Aerospace Computing, Information, and Communication, 2022.

30. Zhu C. et al. Ground Station Architectures for UAV Operations // International Journal of Advanced Robotic Systems, 2021.

31. S. H. Park and J. H. Cho. Remote Control Systems for UAV Ground Station Integration // Sensors, 2022.

32. Ghosh K. and Mukherjee T. Cloud-Based Services for UAV Data Processing // Cloud Computing Journal, 2021.

33. Liu J. P. et al. Edge Computing for UAV Operations: A Comprehensive Review // ACM Computing Surveys, 2022.

Поступила 11 июля 2024 г.

One of the urgent problems in the field of UAV control is the task of maneuvering at high speed. Today, the problem of avoiding obstacles is solved comprehensively by software and hardware of UAVs. The article analyzes the current state of the industry related to UAV control to identify existing methods and develop an effective approach to integrating computer vision, deep learning and UAV control technologies. Radar and sensor data were selected as the hardware data for the avoidance system, and a combination of convolutional neural networks (CNN) for environmental perception and recurrent neural networks (RNN) for tracking time dependencies for software signal processing allows drones to quickly make decisions and build optimal trajectories in conditions where an instant response to changes in the environment is required.

Key words: UAV, high-speed maneuvering, software package, hardware package.

Титаренко Дмитрий Юрьевич – магистрант кафедры Программной инженерии Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

Рыжкова Мария Николаевна – к.т.н., доцент, декан факультета информационных технологий и радиоэлектроники Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

Адрес: 602264, Муром, ул. Орловская, д. 23.