

УДК 629.7.018.3

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ВЫБОРУ ОПТИМАЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ ПОЛЕТА ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Тимофеев Григорий Александрович

Студент магистратуры

2 курс, факультет «Информационные технологии»

Кафедра «Математическая кибернетика и информационные технологии»

Московский технический университет связи и информатики

e-mail: grigorij.timofeev.2000@gmail.com

Ефимов Даниил Васильевич

Студент бакалавриата

4 курс, факультет «Информационные системы»

Кафедра «Корпоративные информационные системы»

Московский технический университет связи и информатики

e-mail: daniel.work9@mail.ru

Варламов Максим Дмитриевич

Студент бакалавриата

4 курс, факультет «Сети и системы связи»

Кафедра «Направляющие телекоммуникационные среды»

Московский технический университет связи и информатики

e-mail: tabasusfree@gmail.com

Аннотация

В последние годы беспилотные летательные аппараты (БПЛА) стали неотъемлемой частью многих сфер жизнедеятельности человека, включая мониторинг окружающей среды, сельское хозяйство, военные операции и логистику. Одной из ключевых задач в управлении БПЛА является выбор оптимальной траектории полёта, который должен обеспечивать выполнение поставленных задач при минимальных затратах ресурсов и времени. В данной статье рассматриваются современные методы и подходы к выбору оптимальной траектории БПЛА, анализируются их преимущества и недостатки, а также предложены направления дальнейших исследований в этой области.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, оптимальная траектория, методы планирования, искусственный интеллект, машинное обучение.

MODERN APPROACHES TO SELECTING THE OPTIMAL FLIGHT TRAJECTORY FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES

Grogoriy A. Timofeev

Master's degree student

1st year, Faculty of Information Technology

Department of Mathematical Cybernetics and Information Technology

Moscow Technical University of Communications and Informatics

Daniil V. Efimov

Undergraduate student

4th year student, Faculty of Information Systems

Department of Corporate Information Systems

Moscow Technical University of Communications and Informatics

Maksim D. Varlamov

Undergraduate student

4th year, Faculty of Networks and Communication Systems

Department of Guiding Telecommunication Environments

Moscow Technical University of Communications and Informatics

ABSTRACT

In recent years, unmanned aerial vehicles (UAVs) have become an integral part of many spheres of human activity, including environmental monitoring, agriculture, military operations, and logistics. One of the key tasks in managing UAVs is selecting the optimal flight trajectory, which must ensure the completion of assigned tasks with minimal resource and time expenditure. This article examines modern methods and approaches to selecting the optimal trajectory for UAVs, analyzes their advantages and disadvantages, and suggests directions for further research in this area.

Keywords: unmanned aerial vehicles, optimal trajectory, planning methods, artificial intelligence, machine learning.

Введение

В современном мире беспилотные летательные аппараты (БПЛА) приобретают все большее значение в различных сферах человеческой деятельности, начиная от аграрного сектора, где они применяются для мониторинга посевов и распределения удобрений, до области обеспечения общественной безопасности, где БПЛА задействованы в мониторинге общественных мероприятий и операциях поиска и спасения. Однако для эффективного выполнения столь разноплановых задач крайне важно обеспечить не только техническую исправность устройств, но и оптимальность их траекторий полёта. Оптимизация траектории позволяет не только сократить время на выполнение задачи, но и существенно уменьшить расход энергии, что напрямую влияет на экономическую эффективность применения БПЛА. [1]

Выбор оптимальной траектории полёта БПЛА представляет собой комплексную задачу, которая требует учёта множества переменных и факторов. Ключевым элементом является анализ препятствий на маршруте полёта, которые могут включать в себя не только статические объекты, такие как здания и природные преграды, но и динамические изменения, вызванные погодными условиями или перемещением других летательных

аппаратов. Кроме того, определение оптимальной траектории требует адаптации к техническим характеристикам конкретного БПЛА, включая его скоростные возможности, автономность полёта и способность нести полезный груз. Таким образом, разработка алгоритмов для определения оптимальной траектории становится задачей, требующей комплексного подхода и применения передовых технологий в области искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО) для обработки и анализа больших объёмов данных. [2,3]

Обзор существующих методов

В научных исследованиях и практической деятельности выделяют 3 основных подхода к планированию траекторий БПЛА: геометрические методы, оптимизационные подходы и методы, основанные на правилах. Каждый из этих подходов имеет свои особенности, преимущества и ограничения, определяемые задачами, условиями окружающей среды и характеристиками БПЛА. [4]

Геометрические методы заключаются в минимизации длины траектории БПЛА, что важно для экономии энергии и увеличения дальности полёта. Эти методы часто используют такие алгоритмы, как Вороного диаграммы или поиск пути в графе видимости, что позволяет определить наиболее короткий маршрут между начальной и конечной точками, минуя препятствия. Однако геометрические методы могут быть неэффективны в сложной или динамично изменяющейся среде, где требуется учитывать большее количество параметров.

Оптимизационные подходы направлены на поиск оптимального решения с учётом множества факторов, включая не только длину пути, но и время полёта, расход энергии, ветровые условия и другие параметры. Зачастую для этого применяются методы математического программирования и эволюционные алгоритмы, такие как генетические алгоритмы или алгоритмы роя частиц. Оптимизационные методы обеспечивают большую гибкость и адаптивность в планировании траекторий, но требуют значительных вычислительных ресурсов и могут быть сложны в реализации.

Методы, основанные на правилах, используют заранее определённые алгоритмы для навигации БПЛА, такие как правила обхода препятствий или следования по заранее заданным путевым точкам. Эти методы могут включать в себя логику поведения в чрезвычайных ситуациях или при обнаружении новых препятствий. Преимуществом методов, основанных на правилах, является их предсказуемость и относительная простота реализации. Однако они могут быть менее гибкими в сравнении с геометрическими и оптимизационными методами и не всегда способны адаптироваться к изменениям в окружающей среде.

Таблица 1. Основные подходы к планированию траекторий БПЛА

Подход	Описание	Преимущества	Ограничения
Геометрические методы	Минимизация длины траектории, используя алгоритмы Вороного или поиск пути в графе видимости.	Экономия энергии, упрощение расчётов.	Могут быть неэффективны в сложной или динамически изменяющейся среде.
Оптимизационные подходы	Поиск оптимального решения с учётом множества параметров, применение математического	Гибкость, адаптивность, учёт множества факторов.	Высокие требования к вычислительным ресурсам,

	программирования и эволюционных алгоритмов.		сложность реализации.
Методы, основанные на правилах	Использование заранее определённых алгоритмов для навигации и обхода препятствий.	Предсказуемость, простота реализации.	Низкая гибкость, сложность адаптации к изменениям.

Выбор подхода к планированию траектории БПЛА зависит от конкретных условий задачи, доступных ресурсов и требуемой степени оптимизации. В идеале, для достижения наилучших результатов рекомендуется комбинировать различные методы, учитывая их преимущества и ограничения.

Применение ИИ и МО

В последние годы исследования в области БПЛА активно фокусируются на интеграции технологий ИИ и МО для оптимизации процессов планирования и управления траекториями полета. Эти технологии предлагают значительные преимущества перед традиционными методами благодаря своей способности обрабатывать и анализировать обширные объемы данных, выявлять сложные закономерности и адаптироваться к меняющимся условиям в реальном времени.

Алгоритмы МО, такие как нейронные сети, деревья решений и алгоритмы роя частиц, способны анализировать данные о предыдущих полетах, включая информацию о препятствиях, погодных условиях, потреблении топлива и времени полета. Это позволяет им выявлять оптимальные паттерны поведения для БПЛА и делать предсказания относительно наиболее эффективных траекторий в зависимости от заданных параметров миссии и текущей операционной среды. Кроме того, использование техник глубокого обучения позволяет системам ИИ самостоятельно «учиться» на основе предыдущего опыта, тем самым постоянно улучшая качество планирования траекторий.

Таблица 2. Применение ИИ и МО для планирования траекторий БПЛА

Технология	Применение	Преимущества	Вызовы
Нейронные сети	Анализ и обработка больших объемов данных о полетах для выявления оптимальных траекторий.	Способность к обработке комплексных данных и обучению без явного программирования.	Требуют значительных вычислительных ресурсов и больших объемов тренировочных данных.
Деревья решений	Классификация и решение задач выбора траектории на основе иерархии решений.	Простота интерпретации, эффективность при работе с различными типами данных.	Могут страдать от переобучения при сложных структурах данных.
Алгоритмы роя частиц	Имитация социального поведения живых организмов для оптимизации траекторий.	Хорошо подходят для задач, где необходимо найти глобальный оптимум.	Сложность в выборе оптимальных параметров алгоритма.

		многомерном пространстве.	
--	--	---------------------------	--

Использование этих алгоритмов в совокупности с передовыми методами сбора и обработки данных открывает новые перспективы для повышения эффективности и безопасности использования БПЛА. Однако успешная интеграция ИИ и МО в системы управления БПЛА требует решения ряда вызовов, включая обеспечение надежности и стабильности работы алгоритмов в условиях неопределенности, а также разработку эффективных методов обучения моделей с учетом ограничений на доступные вычислительные ресурсы. Несмотря на существующие трудности, прогресс в этой области продолжает набирать обороты, открывая перед исследователями и инженерами новые горизонты для развития авиационных технологий.

Таблица 3. Сравнение методов планирования траектории БПЛА:

Метод	Преимущества	Недостатки	Идеально подходит для
Геометрические	Простота и скорость расчетов	Ограниченная адаптивность	Статичные среды без динамических изменений
Оптимизационные	Гибкость и многофакторная оптимизация	Высокие требования к вычислительным ресурсам	Сложные миссии с множеством ограничений
Основанные на правилах	Четкость и предсказуемость	Низкая гибкость	Стандартизированные операции и заранее известные сценарии
ИИ и МО	Адаптивность и способность к обучению	Сложность разработки и обучения	Динамичные и неопределенные условия

Как показывает анализ, выбор метода планирования траектории зависит от множества факторов, включая характер задачи, условия операционной среды и доступные ресурсы. В некоторых случаях, комбинация нескольких подходов может предложить наилучшее решение, сочетая гибкость и адаптивность ИИ и МО с простотой и надежностью более традиционных методов.

Заключение

В заключение, анализ существующих методов планирования траекторий для БПЛА подчеркивает нетривиальность задачи выбора оптимального маршрута, требующей комплексного подхода и учета множества переменных. Несмотря на разнообразие доступных подходов, от геометрических методов до алгоритмов, основанных на ИИ и МО, ни один из них не может считаться универсальным решением, идеально подходящим для всех возможных сценариев применения БПЛА. Следовательно, выбор метода или комбинации методов должен опираться на специфику задачи, операционную среду и доступные вычислительные ресурсы. Тем не менее, интеграция современных технологий ИИ и МО открывает новые возможности для улучшения адаптивности и эффективности планирования полетов БПЛА, указывая на направление будущих исследований и разработок в этой области.

Список литературы:

1. Попов Александр Николаевич Методы планирования траектории движения беспилотного летательного аппарата // Известия Самарского научного центра РАН. 2017. №1-2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-planirovaniya-traektorii-dvizheniya-bespilotnogo-letatel'nogo-apparata> (дата обращения: 03.04.2024).
2. Андриевский Б. Р., Попов А. М., Михайлов В. А., Попов Ф. А. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТОМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ // Аэрокосмическая техника и технологии. 2023. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-metodov-iskusstvennogo-intellekta-dlya-upravleniya-poletom-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov> (дата обращения: 03.04.2024).
3. Тань Лиго, Фомичёв А.В. Планирование пространственного маршрута полета беспилотного летательного аппарата с использованием методов частично целочисленного линейного программирования // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Приборостроение». 2016. №2 (107). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/planirovanie-prostranstvennogo-marshruta-poleta-bespilotnogo-letatel'nogo-apparata-s-ispolzovaniem-metodov-chastichno> (дата обращения: 03.04.2024).
4. Филимонов А.Б., Филимонов Н.Б., Нгуен Т.К., Фам К.Ф. Планирование маршрутов полета БПЛА в задачах группового патрулирования протяженных территорий. Мехатроника, автоматизация, управление. 2023;24(7):374-381.

References:

1. Popov Alexander Nikolaevich Methods for planning the trajectory of an unmanned summer state // News of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2017. No. 1-2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-planirovaniya-traektorii-dvizheniya-bespilotnogo-letatel'nogo-apparata> (date of access: 04/03/2024).
2. Andrievsky B. R., Popov A. M., Mikhailov V. A., Popov F. A. APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS FOR FLIGHT CONTROL OF UNMANNED AERIAL VEHICLES // Aerospace engineering and technology. 2023. No. 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-metodov-iskusstvennogo-intellekta-dlya-upravleniya-poletom-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov> (date of access: 04/03/2024).
3. Tan Ligo, Fomichev A.V. Planning the spatial flight route of unmanned aerial vehicles using partial integer linear programming methods // Bulletin of MSTU im. N.E. Bauman. Series "Instrument making". 2016. No. 2 (107). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/planirovanie-prostranstvennogo-marshruta-poleta-bespilotnogo-letatel'nogo-apparata-s-ispolzovaniem-metodov-chastichno> (date of access: 04/03/2024).
4. Filimonov A.B., Filimonov N.B., Nguyen T.K., Pham K.F. Planning UAV flight routes for group patrolling of extended territories. Mechatronics, automation, control. 2023;24(7):374-381.