

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени «доктор философии» (PhD) по

ОП 8D6102- Machine Learning & Data Science

Асанов Ильяс Болатович

“Разработка модели планирования полетов технически разнородных БПЛА для решения задач точного земледелия”

В диссертационной работе была предложена модель планирования полетов для технически разнородных БПЛА в контексте точного земледелия. Отличие этой работы заключается в оригинальном подходе к оптимизации траекторий движения для множества БПЛА в сочетании с использованием подвижной наземной станции, где ключевую роль играет применение генетического алгоритма, направленного на минимизацию общей стоимости облета поля заданного размера и конфигурации. Этот подход позволяет автоматизировать процесс планирования, делая его более гибким и адаптивным к специфике различных агротехнических задач. Преимуществом модели является: возможность планирования пути полетов множества гетерогенных БПЛА для решения задачи покрытия сельскохозяйственных полей различной формы; минимизация общей стоимости полета с ограничением времени выполнения миссии, при минимальном вмешательстве оператора; автоматизированный подбор необходимого количества БПЛА с учетом индивидуальных особенностей каждого доступного аппарата; применение наземной передвижной станции, в качестве точки запуска и заправки для БПЛА.

Цель работы. Разработка модели планирования полетов множества гетерогенных БПЛА в точном земледелии с применением наземной передвижной платформы.

Задачи исследования.

Для достижения цели в работе поставлены следующие задачи:

1) Анализ методов и моделей планирования пути БПЛА в точном земледелии;
2) Разработка модели планирования полетов, в которой учитываются следующее:

1. Параметры гетерогенного парка БПЛА, из которого возможен выбор группы БПЛА для решения задачи облета;

2. Наличие наземной передвижной платформы для дозаправки и сбора БПЛА после выполнения миссии;

3. Труд персонала выполняющего облет;

4. Расходы, связанные с износом оборудования;

5. Штраф за увеличенное (превышающее порог) время полета.

3) Разработка метода планирования полетов на основе генетического алгоритма, в котором функция стоимости основана на разработанной модели;

4) Разработка программного обеспечения, системы оптимизации общей стоимости процесса облета с двумерным симулятором для пути движения БПЛА и наземной передвижной платформы;

5) Проведение вычислительных экспериментов для оценки качества разработанного метода.

Актуальность исследования. Современное сельскохозяйственное производство стоит перед рядом вызовов, связанных с необходимостью повышения производительности и оптимизации использования ресурсов при одновременном снижении воздействия на окружающую среду. В этом контексте точное земледелие выступает как перспективное направление, предлагающее интенсивные методы управления агропроцессами с применением передовых технологий.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) в последние годы демонстрируют свой высокий потенциал в качестве инструмента для революционизации многих сельскохозяйственных операций от мониторинга состояния почвы и растений до внесения удобрений и гербицидов. БПЛА предоставляют возможности, которые ранее были недоступны или экономически нецелесообразны.

Однако, несмотря на множество преимуществ, использование БПЛА в сельском хозяйстве сталкивается с рядом технических и практических проблем. В этой связи требуется оптимизация планирования полетов, учитывая неоднородность доступного оборудования и специфику задач, которые БПЛА должны решать в процессе облета.

Объекты исследования. Процесс применения БПЛА в сфере точного земледелия.

Предмет исследования. Методы и модели оптимизации планов полетов группы гетерогенных БПЛА и передвижной наземной станции дозаправки и сбора БПЛА выполнивших миссию.

Методы исследования.

В диссертационной работе применяются следующие методы исследования: Анализ научной литературы, Адаптация генетического алгоритма, Создание моделей и прототипирование программного обеспечения, Вычислительные эксперименты в виртуальной среде.

Научная новизна:

- 1) Предложена модель планирования полетов, в которой учитываются:
 1. Параметры гетерогенного парка БПЛА, из которого возможен выбор группы БПЛА для решения задачи облета;
 2. Наличие наземной подвижной платформы для дозаправки и сбора БПЛА после выполнения миссии;
 3. Труд персонала выполняющего облет;

4. Расходы, связанные с износом оборудования;
5. Штраф за увеличенное (превышающее порог) время полета.
- 2) Предложен новый метод решения задачи покрытия с использованием передвижной наземной станции для управления и промежуточного обслуживания БПЛА.
- 3) Разработана модель, учитывающая комплексную цену облета. В условиях вычислительных экспериментов предложенная модель позволила (в зависимости от размера и формы поля) минимизировать комплексную стоимость облета от 10 до 30%.

Основные результаты исследования: разработана модель планирования путей покрытия, учитывающая: комплексную цену полета с ограничениями; разнородность доступного парка БПЛА; передвижение наземной платформы, как точкой запуска, управления и подзарядки.

Следующие практические выводы и рекомендации могут быть выделены на основе проведенного исследования:

1. Оценка потенциального вклада БПЛА в сельскохозяйственные процессы. Проанализированы основные направления возможного применения БПЛА и их роль в улучшении аграрных процессов;
2. Анализ существующих решений задачи покрытия с использованием БПЛА в сельском хозяйстве. Выявлены наиболее распространенные методы решения задачи и выявлены их недостатки;
3. Исследование методов и моделей планирования маршрутов для множества БПЛА. Рассмотрены модели существующих методов и предложен новый подход с применением наземной передвижной платформы и группы разнородных БПЛА, обеспечивающий оптимизацию общей стоимости облета;
4. Разработан прототип программного комплекса для планирования и визуализации пути группы БПЛА и наземной передвижной платформы, обеспечивающий дозаправку и сбор дронов, выполнивших миссию на базе Open Source решений;
5. Валидация предложенных методов: Проведена серия вычислительных экспериментов для проверки эффективности предложенной модели в сравнении с алгоритмом случайного поиска.

Научные результаты, полученные в ходе диссертационной работы, позволили предложить новый метод для оптимизации планирования полетов технически разнородных БПЛА в контексте точного земледелия. Разработана модель, учитывающая параметры поля, конфигурацию доступных БПЛА, наличие персонала. На основе модели разработан метод определения оптимального набора БПЛА для выполнения миссии и передвижения наземной платформы на основе генетического алгоритма. Метод обеспечивает оптимизацию общей стоимости облетов поля заданного размера и конфигурации.

В рамках исследования был разработан прототип программного комплекса для планирования и визуализации пути группы БПЛА и наземной передвижной платформы, обеспечивающий дозаправку и сбор дронов, выполнивших миссию на базе Open Source решений.

Рекомендации по применению результатов исследования:

– Для научных исследователей: Разработанная система может служить основой для дальнейших исследований в области автоматизации сельскохозяйственных процессов с использованием БПЛА;

– Для аграрных предприятий и государственных органов: Система может быть интегрирована в существующие агротехнологические решения для повышения эффективности и экономичности сельскохозяйственного производства;

– Для производителей БПЛА: Результаты исследования могут быть использованы для оптимизации конструкции и программного обеспечения беспилотных летательных аппаратов, предназначенных для работы в сельском хозяйстве;

– Для фермеров и владельцев аграрных предприятий: Предложенные решения позволяют упростить процесс планирования и контроля полетов БПЛА, что в свою очередь может привести к снижению затрат и повышению урожайности.

В заключении, разработанная система представляет собой комплексное решение задачи покрытия полей различной формы с применением передвижной наземной станцией и гетерогенным парком доступных БПЛА, что делает ее актуальной для широкого круга потребителей в области точного земледелия. Эта система позволяет автоматизировать процесс планирования маршрутов полета, что делает ее неотъемлемым инструментом для современных аграрных предприятий.

Положения, выносимые на защиту:

1. Модель планирования полетов группы гетерогенных БПЛА и движения наземного передвижного комплекса для решения задачи покрытия полей заданного размера и конфигурации;

2. Метод планирования полетов группы гетерогенных БПЛА и движения наземного передвижного комплекса для решения задачи покрытия полей различной формы на основе генетического алгоритма;

3. Результаты вычислительных экспериментов демонстрирующие преимущества разработанного метода;

4. Программное обеспечение симуляционной среды, обеспечивающей выполнение и визуализацию работы метода планирования полетов группы технически разнородных БПЛА и передвижной наземной платформы при решении задач точного земледелия.

Связь темы с планами научно-исследовательских программ. Представленные результаты получены при выполнении проекта ИИВТ КН МОН РК (источник финансирования Комитет науки МОН РК): ИРН: AP08856412, Номер госрегистрации: 0120РК00298 «Разработка интеллектуальных моделей обработки

данных и планирования полетов для решения задач точного земледелия с применением БПЛА» в 2020-2023 годы.

Апробация результатов исследования. Основные положения и результаты исследования опубликованы в журнале IEEE Access, имеющем импакт-фактор 4.82 (Q1). Также была опубликована обзорная статья в журнале Applied Sciences (Switzerland). Разработанная информационная система внедрена в академический процесс в Жилинском университете, Словакия в рамках проекта «Разработка новых методов анализа надежности сложных систем» грант №APVV-18-0027 (Приложение А Диссертации).

Всего по теме диссертации опубликовано 5 работ, из которых 4 статьи опубликованы журналах, входящих в базы Scopus (1 статья - Q1, 1 статья - Q2, 2 статьи - Доклад на конференции в Scopus без присвоенного квартиля). Оформлено свидетельство о внесении сведений в государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом N 27918 от 21 июня 2022 (группа соавторов) «Информационная система для оптимизации плана облёта поля произвольной формы группой разнородных беспилотных летательных аппаратов с помощью генетического алгоритма», вид объекта авторского права - программа для ЭВМ.

Основные положения и результаты исследования докладывались на: Information Technologies and Management 2021, IDT (IEEE Czechoslovakia 2021,2023), Communications in Computer and Information Science 2020 и других конференциях.

Публикации.

1. Mukhamediev R.I., Symagulov A., Kuchin Y., Zaitseva E., Bekbotayeva A., Yakunin K., Assanov I., Levashenko V., Popova Y., Akzhalova A., Bastaubayeva S., Tabynbaeva L. (2021). Review of some applications of unmanned aerial vehicle's technology in resource rich country // *Applied Sciences*. Switzerland. - Vol. 11, № 21.

2. Mukhamediev R.I., Yakunin K., Aubakirov M., Assanov I., Kuchin Y., Symagulov A., Levashenko V., Zaitseva Y., Sokolov D., Amirgaliyev Y. (2023). Coverage Path Planning Optimization of Heterogeneous UAVs Group for Precision Agriculture // *IEEE Access*. – Vol 11. PP. 5789-5803.

3. Mukhamediev R., Kuchin Y., Yakunin K., Symagulov A., Ospanova M., Assanov I., Yelis M. (2020). Intelligent unmanned aerial vehicle technology in urban environments // *Communications in Computer and Information Science*. – Vol 1242. PP. 345-359.

4. Mukhamediev R.I., Assanov I., Yelis M., Symagulov A., Kuchin Y., Yakunin K., Aubakirov M., Tabynbayeva L., Sedlacek P. (2021). Rapid bibliometric analysis in deep learning domain // *International Conference o Information and Digital Technologies*. -PP. 206-211.

5. Mukhamediev R.I., Yakunin K., Kuchin Y., Symagulov A., Murzakhmetov S., Ospanova M., Assanov I., Yelis M. (2020) Intelligent unmanned aerial vehicle technologies // *THE 18th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE*

INFORMATION TECHNOLOGIES AND MANAGEMENT 2021. 22-23.04.,2020.ISMA University of Applied Science. Riga, Latvia.-PP. 21-22.

6. Assanov I. (2021) Multi UAV simulator in Unity // *The 19h INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE INFORMATION TECHNOLOGIES AND MANAGEMENT* 2022. 22-23.04.2021. ISMA University of Applied Science. Riga, Latvia.-PP. 46-47.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы из 167 наименований и 5 приложений. Общий объем диссертации 113 страниц и содержит 20 рисунков, 9 таблиц.