Дайебал Джаффар Бакер Джабар. Модели и методы для автоматического пилотирования робота-вертолёта на этапе взлёта и посадки;[Место защиты: ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»], 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное

учреждения высшего образования

«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

ДАЙЕБАЛ Джаффар Бакер Джабар

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПИЛОТИРОВАНИЯ

РОБОТА-ВЕРТОЛЁТА НА ЭТАПЕ ВЗЛЁТА И ПОСАДКИ

Специальность 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации,

статистика

(технические науки)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание учёной степени

кандидата технических наук

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент Сергеев Николай Евгеньевич

Ростов-на-Дону - Таганрог

2023

ВВЕДЕНИЕ 4

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОСАДКИ И ВЗЛЁТА РОБОТА-ВЕРТОЛЁТА 20

1.1. Анализ особенностей управления летающих робототехнических

комплексов 20

1.2. Анализ существующих систем управления робота-вертолёта 28

1.2.1. Принципиальные основы построения САП и СУ БПЛА

вертолётного типа 29

1.2.2. Подходы к построению систем автономного управления полётом

БПЛА 31

1.2.3. Функциональная схема управления робота-вертолёта 34

1.3. Практические проблемы управления на различных стадиях полёта

робота-вертолёта 37

1.3.1. Проблемы принятия решений по управлению в САП БПЛА .... 39

1.3.2. Проблемы получения информации для формирования

управляющих воздействий 41

1.4. Формулировка принципов решения практической проблемы

автономного пилотирования робота-вертолёта на этапе вертикального взлёта и посадки 48

1.5. Формирование альтернатив решения практической проблемы автономного пилотирования робота-вертолёта на этапе вертикального

взлёта и посадки 51

1.6. Постановка цели и задач диссертационного исследования 52

Выводы к главе 1 55

ГЛАВА 2. МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИМ ПИЛОТИРОВАНИЕМ РОБОТА-ВЕРТОЛЁТА НА ЭТАПЕ ВЗЛЁТА И ПОСАДКИ

2.1. Метод поиска посадочной площадки с использованием бортовой

камеры робота-вертолёта 58

2.2. Метод определения положения робота-вертолёта относительно

посадочной площадки 67

2.3. Модель кодирования информации о положении знака хелипорта на

изображении 76

Выводы к главе 2 81

ГЛАВА 3. КОМПОНЕНТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИМ ПИЛОТИРОВАНИЕМ РОБОТА-ВЕРТОЛЁТА НА ЭТАПЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ВЗЛЁТА И ПОСАДКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ И ФРЕЙМОВЫХ МОДЕЛЕЙ 82

3.1. Необходимость интеллектуализации управления роботом-вертолётом82

3.2. Фреймовая модель системы управления для решения задачи

автоматического пилотирования БПЛА класса робот-вертолёт на этапе взлёта и посадки 83

3.3. Методика генерации правил для нечеткого регулятора в процессе

обучения с учителем 87

3.4. Методика обеспечения соответствия решений по управлению, генерируемых системой автоматического пилотирования беспилотного

летательного аппарата 96

Выводы к главе 3 99

ГЛАВА 4. ОЦЕНКА НЕПРОТИВОРЕЧИВОСТИ РАЗРАБОТАННЫХ КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПИЛОТИРОВАНИЯ РОБОТА-ВЕРТОЛЁТА НА ЭТАПЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ВЗЛЁТА И ПОСАДКИ 101

4.1. Анализ методов оценки нечетких систем управления 101

4.2. Моделирующая система для оценки корректности функционировании

САП БПЛА 103

Выводы к главе 4 114

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 115

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 120

Приложение 1 138

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В ходе выполнения диссертационного исследования была рассмотрена проблема автоматического взлёта и посадки БПЛА вертолетного типа. Установлено, что наибольшую перспективу представляют БПЛА, построенные по традиционной одновинтовой схеме. Это обуславливается большей полезной нагрузкой и расширенным кругом решаемых задач, что связано с возможностью применения жидкостных двигателей и меньшим, по сравнению с мультикоптерами, их количеством.

При пилотировании робота-вертолёта возникает проблема 6DoF (шести степеней свободы), которая не позволяет разработать единую математическую модель для точной оценки положения и выработки решений по управлению. Известные на сегодня модели решают частные задачи, что приводит к необходимости одновременного функционирования множества алгоритмов на одном вычислителе БПЛА. Кроме того, существующие методы позиционирования, применяемые на этапе вертикального взлёта и посадки, не позволяют с достаточной точностью оценивать количественные значения параметров, необходимых для функционирования разработанных математических моделей.

Проведенные исследования существующих подходов к решению проблемы автоматического пилотирования БПЛА вертолётного типа на этапе вертикального взлёта и посадки показали, что общая тенденция заключается в интеграции моделей управления и систем, их реализующих, в единый комплекс (решена задача 1, с. 12). Иными словами, система, принимающая решение, и система, реализующая решение по управлению, является одним целым и работают, как правило, на основе единой модели. Это существенно ограничивает разработчиков в реализации алгоритмов управления, а их применение в итоге требует использования ПИД-регуляторов.

Немногие попытки, направленные на использование неклассических методов при разработке СУ БПЛА, были сведены к решению отдельных частных

задач без пересмотра всей концепции управления. Так, были исследованы

115

работы, где применяются нечеткие модели и нечеткая логика. Фактически в данных системах их существование свелось только к выработке управляющего воздействия на основе фаззификации количественных параметров, полученных от датчиков и сенсоров. Также были исследованы работы, где предпринималась попытка создания системы управления с прогнозирующими моделями (Model- Predictive Control), однако такие системы обеспечивают только формирование некоторого тренда в развитии траектории движения и позволяют лишь более оптимальным образом сглаживать управляющие сигналы.

В результате анализа проблемы автоматического пилотирования на этапе вертикального взлёта и посадки и исследования существующих подходов к её решению было предложено сменить концепцию построения СУ БПЛА. Во- первых, было предложено разделить СУ БПЛА на две системы: систему автоматического пилотирования (САП) и систему управления исполнительными механизмами (СУИМ). В задачи последней входит реализация решений по управлению и, по мнению автора, данная система проработана в полной мере для её прямого использования. Данное предположение исходит из практики, где на сегодня достаточно примеров БПЛА с дистанционным управлением, пульты от которых позволяют передавать простые сигналы: вперёд, назад, влево, вправо и пр. А их реализация осуществляется встроенными контроллерами БПЛА, учитывающими конкретные модели оборудования и особенности конструкции.

Фактически можно говорить о том, что в работе предложено не рассматривать то, каким образом реализуются решения по управлению, а сфокусироваться только на том, каким образом они формируются. За формирование управляющих воздействий отвечает САП и, по аналогии с вышеуказанным практическим примером, данная система должна представлять собой некоторую упрощённую модель пилота-оператора, который будет решать, каким именно образом в конкретный момент времени управлять БПЛА. Пилот (или оператор) не руководствуется количественными оценками при принятии решений по формированию управляющих воздействий, используя взамен терминальные переменные, имеющие качественное значение. Кроме того, при использовании терминальных переменных пилот не действует дискретно, а непрерывно формирует управляющее воздействие, не дожидаясь момента оценки результата его применения. Иными словами, пилот при управлении ориентируется на понимание происходящего, фокусируясь на изменении динамики поведения объекта управления.

При решении задачи автоматического пилотирования робота-вертолёта, помимо вышеобозначенной проблемы, высокую актуальность имеет потребность в определении местоположения, для чего пилот использует визуальные ориентиры, не прибегая к точным оценкам количественных параметров.

В связи с вышеизложенным было предложено использовать комбинацию аппарата нечеткой логики и фреймовой модели представления знаний. Нечеткая логика позволила в единой концепции осуществлять представление результатов наблюдения, оценку положения посадочной площадки и относительного расположения робота-вертолёта относительно неё. Также нечеткая логика позволяет формировать решения по корректировке управляющего воздействия в терминах, близких к пилоту-оператору. Фреймовая модель позволила обеспечить интеллектуализацию системы управления и реализовать механизм понимания ситуации, которым руководствуется пилот в ходе управления летательным аппаратом.

В результате исследования был предложен метод позиционирования робототехнического комплекса воздушного базирования в пространстве, отличающийся от известных использованием аппарата сложных лингвистических переменных и отсутствием необходимости разбиения наблюдаемого трехмерного пространства на отдельные координатные плоскости, что позволяет снизить вычислительную нагрузку на аппаратное обеспечение бортовой системы управления и добиться точности позиционирования, превосходящей современные навигационные системы (решена задача 2, с. 12, пп. 1 и 2 «новизны»). Сформулирована модель представления объекта в трехмерном пространстве, отличающаяся от известных кодированием положения объекта не путем присвоения визуальному образу значений переменных, описывающих координаты объекта в пространстве, а путем кодирования положения в виде значений интенсивности цветов в модели RGB, описывающих контур объекта, что приводит к отсутствию необходимости в дополнительных операциях для вычисления значений переменных для описания положения наблюдаемого объекта (решена задача 3, с. 12, п. 3 «новизны»). Сформулирована модель нечеткого управления робототехнического комплекса воздушного базирования, отличающаяся от известных представлением управляющих воздействий в значениях терм- множества сложной лингвистической переменной, описывающей понятия, используемые пилотом-оператором, что позволяет, во-первых, снизить вычислительную нагрузку на аппаратное обеспечение бортовой системы управления, во-вторых, добиться универсального характера разработанной системы автоматического пилотирования за счет возможности интеграции её в существующие бортовые системы управления БПЛА посредством разработки частных процедур дефаззификации. Разработана фреймовая модель системы управления для решения задачи автоматического пилотирования БПЛА класса робот-вертолёт на этапе взлёта и посадки, отличающаяся от известных интеллектуализацией процедуры управления за счет обеспечения возможности понимания ситуации и потребности в применении и последствий применения управляющих воздействий, что позволяет обеспечить повышение безопасности решения задачи автоматического пилотирования БПЛА на этапе вертикального взлёта и посадки (решена задача 4, с. 12, п. 4 «новизны»).

Разработана процедура обучения нечеткого регулятора БПЛА класса робот-вертолёт на этапе взлёта и посадки путем генерации продукционных правил в процессе наблюдения за действиями пилота-оператора (решена задача 5, с. 12, п. 5 «новизны»).

Предложенные модели и методы позволяют в полной мере достичь цели диссертационного исследования, а именно, формируют способ безопасного взлёта и посадки автономного робота-вертолёта без использования информации от внешних источников, позволяющих решать задачи позиционирования, управления и понимания ситуации.

Поскольку предложенные модели и методы представляют собой отдельные элементы системы управления и базируются на неклассических моделях, не имеющих четкого формально описания, то для них неприменимы существующие методы теоретической оценки. Для оценки корректности их работы была разработана моделирующая система, с помощью которой наполнена база нечетких правил, смоделированы внешние условия и проведена экспериментальная оценка. Исследования показали корректность формирования управляющих воздействий в 98 % случаев.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки. Дальнейшее развитие полученных результатов диссертационного исследования возможно в следующих основных направлениях:

1. Решение проблемы автоматизации облёта препятствий БПЛА, для чего должны быть модифицированы метод и алгоритм определения положения робота-вертолёта относительно посадочной площадки, где вместо знака хелипорта будут использованы образы препятствий.
2. Решение проблемы посадки на движущуюся платформу, для чего должны быть модифицированы модель кодирования путём добавления туда третьей компоненты - высоты, а также фреймовая модель, лежащая в основе управления роботом-вертолётом.
3. Решение проблемы следования (преследования) за указанной целью, для чего следует распознать указанную цель и управлять полётом, поддерживая или изменяя расстояние до преследуемого объекта.
4. Решение проблемы совместного маневрирования или распознавания «намерений» цели для повышения эффективности управления полётом.

В практическом поле результаты диссертационного исследования могут быть использованы в качестве основы для разработки программно-аппаратного комплекса автономного пилотирования БПЛА, для чего потребуется разработать технологию управления и технологию интеграции комплекса с бортовой электроникой БПЛА.