

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертацию

Муслимова Тагира Забировича

на тему «Методы и алгоритмы группового управления беспилотными

летательными аппаратами самолетного типа»

по специальности 05.13.01

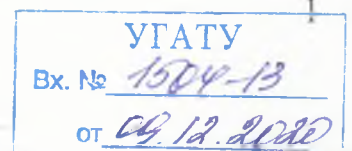
Системный анализ, управление и обработка информации

(информационные и технические системы)

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Актуальность темы исследования

Задача управления группами робототехнических систем не нова, но и не решена до конца. Она активно исследуется в последнее десятилетие. Это направление развивается, с одной стороны, благодаря преимуществам, которые дает групповое применение, а с другой, благодаря росту доступных вычислительных ресурсов, которые необходимы для принятия решений по управлению РТС вне зависимости от архитектур систем управления. Подобные системы, в том числе системы группового управления БПЛА, активно развиваются, но все еще имеют локальный характер разработки и применения. В открытом доступе отсутствуют доступные завершенные решения, нет консенсуса относительно алгоритмов управления, предлагаются



новые, все более совершенные решения. Это характеризует интерес к проблеме, незавершенность решения и скрытые возможности которой, еще можно реализовать. Все это делает работу Муслимова Т.З. весьма актуальной, особенно благодаря решению актуальной задачи автономного «стайного» поведения группы БПЛА самолетного типа при движении по прямой и по кругу, в том числе с учетом влияния ветровых возмущений.

Структура диссертации

Структура представленной к защите работы близка к классическому варианту диссертаций с ее последовательным изложением материала. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, библиографического списка, включающего 187 наименования, и приложений. Работа изложена на 163 листах машинописного текста, содержит 52 рисунка и 9 таблиц.

Во введении автором раскрывается актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, приводятся научная новизна, практическая и теоретическая значимости, положения, выносимые на защиту, сведения об апробации работы и публикационной активности.

В первой главе автор последовательно рассматривает различные варианты архитектур взаимодействия автономных роботов, показывает актуальность применения БПЛА в решении задач разного рода, приводит краткую современную классификацию БПЛА, а также подробно описывает примеры миссий, необходимым условием выполнения которых является решение задачи формирования и поддержания строя в полете.

Вторая глава носит теоретический характер, в ней рассматривается задача формирования и поддержания строя БПЛА самолетного типа в рамках сбора группы согласно общему курсовому углу, а также в случае заданного в пространстве прямолинейного пути.

Третья глава посвящена рассмотрению задачи формирования и поддержания строя БПЛА самолетного типа в случае общего конечного кругового пути. Предложен закон адаптивной интегральной самонастройки параметров систем «автопилот–БПЛА» строя, необходимой вследствие неизбежной их неопределенности в реальных условиях полета, а также представлены соответствующие адаптивные управляющие воздействия, причем доказано, что они вместе с законом интегральной самонастройки гарантируют сходимости скоростей и курсовых углов к задаваемым в законах управления. На основе этих управляющих воздействий формируются алгоритмы управления круговым строем БПЛА.

Четвертая глава является логическим завершением всей работы и содержит результаты модельных вычислительных экспериментов, подтверждающих достоверность полученных теоретических результатов, работоспособность и эффективность алгоритмического обеспечения.

Вычислительные эксперименты проводились с помощью комплексного имитационного моделирования в среде MATLAB/Simulink. Проведенные исследования подтвердили работоспособность и эффективность разработанных в диссертации методов и алгоритмов.

Научная новизна представленной диссертации заключается в следующем:

1. Предложен метод децентрализованного управления группой автономных БПЛА самолетного типа на основе децентрализованной архитектуры взаимодействия по схеме консенсуса и неоднородного векторного поля следования.

2. Разработаны методы управления для формирования строя БПЛА.

3. Предложены алгоритмы формирования управляющих воздействий для уровня наведения БПЛА, полученные посредством модификации законов управления методами нелинейного синтеза, отличающиеся исключением

предположения о точном отслеживании входных команд кинематическими моделями БПЛА, а также возможностью далее использовать адаптивную настройку параметров в алгоритме группового управления БПЛА.

4. Разработаны алгоритмы адаптивной самонастройки коэффициентов в режиме реального времени по эталонной модели на основе теории нечеткой логики, отличающиеся выбором правил с помощью нечетких функций Ляпунова, что позволяет гарантировать асимптотическую устойчивость контура адаптации; предложены алгоритмы интегральной адаптивной самонастройки, отличающиеся выбором в качестве параметров настройки коэффициентов кинематических моделей систем «автопилот-БПЛА» группы, что обеспечивает устойчивость строя и сохранение качества переходных траекторий БПЛА, даже в случае если эти коэффициенты заранее неизвестны.

5. Разработана математическая модель строя БПЛА в среде MATLAB/Simulink, реализующая нелинейную динамику и стандартные автопилоты для каждого из них, позволяющая в отличие от упрощенных моделей производить настройку параметров в законах группового управления строем, а также оценивать действие атмосферных возмущений на динамику строя БПЛА.

Теоретическая значимость заключается в том, что проведенные автором исследования внесли вклад в развитие теоретических основ группового управления БПЛА, повышение эффективности управления формированием и поддержанием строя автономных БПЛА самолетного типа.

Практическая значимость диссертации заключается в том, что полученные научные результаты могут использоваться в создании систем группового управления БПЛА самолетного типа, необходимых для решения таких практических задач как локализация радара, радиоэлектронное подавление, преодоление ПВО противника с помощью ложных целей, совместное наведение на цель, построение антенных решеток из БПЛА, измерение профилей ветра для метеорологических исследований,

автоматическая дозаправка в воздухе, увеличение полезной нагрузки или дальности за счет снижения индуктивного сопротивления в случае полета плотным строем и др.

Достоверность полученных результатов подтверждается корректностью исходных посылок, непротиворечивостью математических выкладок. Теоретические исследования подтверждены вычислительными экспериментами с использованием прикладного программного обеспечения. Основные результаты прошли апробацию на научно-технических конференциях различного уровня.

Замечания по диссертации

По работе можно высказать ряд замечаний:

- на сегодняшний день известны ряд алгоритмов, обеспечивающих централизованное, децентрализованное и гибридное управления группами робототехнических систем, как гомогенных, так и гетерогенных для задач взаимного позиционирования роботов, удержания строя и формаций. В работе не рассмотрены ряд современных работ, описывающих децентрализованные и гибридные алгоритмы управления БПЛА и мобильных роботов, в том числе двойного назначения;

- работа не касается задачи вывода БПЛА в составе групп на заданные высоты и не учитывает фактор изменения высоты БПЛА в методах управления поддержкой заданной формации. Однако стоит отметить что именно задача трехмерной ориентации БПЛА самолетного типа в составе групп является наиболее актуальной и в рамках, которой существуют нерешенные проблемы;

- представление децентрализованной динамической системы как системы взаимодействующих агентов и использованные в дальнейшем математический аппарат позволяют говорить о мультиагентном управлении с сильными допущениями в части нелинейности элементов робототехнических систем, особенно это касается коммуникации и обмена состоянием внутренних

систем роботов друг с другом;

- в части моделирования движения по круговой траектории БПЛА не показана эффективность разработанных алгоритмов при изменении радиуса формации и, соответственно, изменении скоростей БПЛА, подобные динамические круговые формации могут иметь применение в ряде специальных задач;

- не показана эффективность работы разработанных алгоритмов управления прямолинейным и круговым движением групп БПЛА, соответственно в параллельных и круговых формациях при сочетании данных типов движения.

Общая оценка работы

В работах, посвященных групповому управлению, исследователи зачастую углубляются в реализацию конкретных алгоритмов управления РТК под решение конкретной задачи. Интересно, что автор диссертации рассмотрел более общий и простой случай управления движением БПЛА самолетного типа линейным строем и по кругу, используя математический аппарат, повторяющий ранние работы в области децентрализованного управления как в рамках единых систем, формализуемых моделями на основе связанных графов (Yuasa H., Ito M.), так и в рамках работ по управлению формациями мобильных роботов (Yamaguchi H., Arai T)

Тем не менее, представлены результаты весьма обширных экспериментальных исследований предложенных методов на основе имитационного моделирования параллельных и круговых формаций БПЛА самолетного типа в количестве четырех, следующих прямолинейному пути и круговому пути. В модели учтена динамика конкретного БПЛА самолетного типа, синтезирован автопилот. В результате автор экспериментально подтвердил работоспособность предложенного метода, а указанные недостатки не уменьшают значимость выполненной работы. Проведенное

исследование, безусловно, имеет научную ценность и углубляет знания в области децентрализованного управления группой БПЛА самолетного типа.

Высказанные выше замечания не снижают общей положительной оценки представленной работы, которая соответствует по паспорту специальности 05.13.01 следующим пунктам области исследования:

- п.2. Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации.
- п.4 Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации.
- п.7. Методы и алгоритмы структурно-параметрического синтеза и идентификации сложных систем.
- п.9. Разработка проблемно-ориентированных систем управления, принятия решений и оптимизации технических объектов.

Автореферат диссертации полностью соответствует содержанию работы и достаточно полно раскрывает её научную и практическую ценность.

Количество публикаций по теме диссертации, включая четыре в изданиях из перечня ВАК, и шести WoS/Scopus, является достаточным.

Учитывая вышеизложенное, считаю, что диссертация Муслимова Т.З., в целом, по своему научному уровню, новизне и практической значимости представляет законченную научно-квалификационную работу, выполненную лично автором, имеет существенное значение для робототехники, соответствует критериям, изложенным в п.п. 9-14 положения ВАК РФ, которым должны отвечать диссертации, представленные на соискание учёной степени кандидата технических наук, а её автор Муслимов Тагир Забирович может заслуживать присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (информационные и технические системы).

Официальный оппонент:

Заведующий кафедрой «Робототехнические системы и мехатроника»

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет
имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

к.т.н., доцент



Серебрянный Владимир Валерьевич

112 2020

Кандидатская диссертация защищена по специальности
05.02.05 – Роботы, мехатроника и робототехнические системы

Адрес места работы:

105005, Москва,

Госпитальный переулок, д.10

тел. (499) 263-69-85

e-mail: vsereb@bmstu.ru

