

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук»,



М.А. Посыпкин

11 20 24 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного учреждения
«Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»
Российской академии наук» (ФИЦ ИУ РАН)
на диссертационную работу Кокунько Юлии Георгиевны
«Методы и алгоритмы динамического дифференцирования и
сглаживания сигналов, задающих траектории мобильных роботов»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических
наук по специальности 2.3.1.
«Системный анализ, управление и обработка информации, статистика»

Актуальность темы диссертационной работы

Диссертационная работа посвящена разработке робастных методов и алгоритмов синтеза динамических дифференциаторов и обратных связей, обеспечивающих безаварийное траекторное управление беспилотными мобильными роботами в условиях действия внешних неконтролируемых возмущений. Траекторное управление является основой для автономного выполнения мобильным роботом различных задач как военного, так и гражданского назначения. В системах автоматического управления дифференцирование и внутренних и внешних сигналов нужно для синтеза обратной связи, активного подавления возмущений, диагностики неисправностей и пр. Качество дифференцирования сигнала напрямую влияет на производительность замкнутой системы. Для объектов управления механической природы одним из аспектов безаварийного движения является наличие гладких эталонных траекторий, динамические характеристики которых удовлетворяют ограничениям конкретного транспортного средства. При движении в динамической среде требуются методы генерации достижимых эталонных траекторий с высоким быстродействием и низкой алгоритмической сложностью. Комплексное

решение указанных проблем, востребованное в практических приложениях, вызывает определенные трудности и требует привлечения и создания специальных подходов к их решению. В связи с этим тема диссертационной работы является актуальной.

Структура диссертационной работы и ее общая характеристика

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы (152 наименования) и трех приложений, подтверждающих внедрение полученных результатов. Работа изложена на 185 страницах.

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, формулируются цели и задачи работы, научная новизна, а также основные результаты и положения, выносимые на защиту.

Первая глава имеет обзорно-постановочный характер. В разделе 1.1 вводится проблема дифференцирования задающих воздействий. В разделе 1.2 приводятся известные методы синтеза динамических дифференциаторов в рамках теории наблюдателей состояния и возмущений, описываются их достоинства и недостатки. В разделе 1.3 обсуждается концепция следящих дифференциаторов. В разделе 1.4 рассматриваются аспекты реализуемости и методы построения эталонных траекторий мобильных роботов. В разделе 1.5 выдвигаются гипотезы и содержательные постановки задач диссертационного исследования, обосновываются методы их решения.

Во второй главе разработана процедура синтеза динамического дифференциатора с кусочно-линейными корректирующими воздействиями, обеспечивающего восстановление за заданное время с заданной точностью производных любого конечного порядка кусочно-дифференцируемого детерминированного сигнала. Затем при предположениях о дифференцируемом сигнале и описании процедуры синтеза дифференциатора общего вида, приводится постановка задачи. И наконец, в разделе 2.3 приведены результаты численного моделирования и сравнительного анализа дифференциаторов различных типов.

В третьей главе разработаны метод и алгоритмы синтеза динамических следящих дифференциаторов с сигмовидными корректирующими воздействиями, обеспечивающих сглаживание и дифференцирование детерминированных сигналов с автоматическим учетом заданных ограничений на производные любого конечного порядка. Сначала приводятся свойства сигма-функции и систем с сигмовидным управлением. Затем, в разделе 3.2 формализован алгоритм настройки следящего дифференциатора общего вида с учетом ограничений на восстанавливаемые производные дифференцируемого сигнала. В разделе 3.3 обосновывается универсальность предложенного метода, указываются факторы, влияющие на выбор динамического порядка следящего дифференциатора и вводятся гипотезы о фильтрующих свойствах следящего дифференциатора. В разделе 3.4 приводятся результаты численного моделирования.

В четвертой главе разработанные методы динамического дифференцирования и сглаживания детерминированных сигналов применяются в задачах траекторного управления беспилотными колесными платформами. В разделе 4.1 на примере одноканальной кинематической модели рассматривается задача путевой стабилизации. Приводятся алгоритмы управления, для формирования которых не требуется или требуется знание производных задающих воздействий. В последнем случае для их восстановления демонстрируется использование дифференциатора–наблюдателя, разработанного в главе 2. В разделе 4.2 представлен комплекс алгоритмов для планирования движения одиночного робота на полигоне с использованием следящих дифференциаторов, разработанных в главе 3. В разделе 4.3 на примере двухканальной модели колесной платформы демонстрируется синтез следящей системы с применением следящих дифференциаторов для сглаживания и дифференцирования опорной траектории. Все алгоритмы сопровождаются результатами численного моделирования.

В пятой главе для системы управления движением центра масс беспилотного летательного аппарата разработаны регуляторы с подавлением либо компенсацией внешних возмущений и с применением разработанных дифференциаторов для оценивания неизмеряемых внутренних и внешних сигналов. В разделе 5.1 в рамках блочного подхода с использованием сигмовидных обратных связей разработаны регуляторы двух типов, которые подавляют действие внешних возмущений (ветровых возмущений) с заданной точностью, что не требует их оценивания. Дифференциаторы–наблюдатели с кусочно-линейными корректирующими воздействиями, разработанные в главе 2, применяются для оценивания скоростей по измерениям пространственных координат центра масс и задающих воздействий. В разделе 5.2 применение следящего дифференциатора и наблюдателя ветровых возмущений с сигмовидной коррекцией позволило реализовать комбинированное управление с линейной стабилизирующей составляющей и обеспечить асимптотическую стабилизацию ошибок слежения. Метод построения опорной негладкой траектории, проходящей через заданные путевые точки на плоскости, разработанный в разделе 4.2, распространен для получения примитивной 4D-траекторий. Приведены результаты апробации разработанных алгоритмов на виртуальных полигонах.

В заключении дается краткий обзор достигнутых в работе результатов.

Диссертация хорошо структурирована, материал изложен логично, аккуратно, строго и обоснованно. Автореферат в полной мере отражает ее содержание.

Соответствие паспорту специальности

Работа соответствует специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» в части системного анализа,

управления и обработки информации по следующим пунктам паспорта специальности:

п. 1. Теоретические основы и методы системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта;

п. 2. Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта;

п. 4. Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта;

п. 5. Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта;

п. 12. Визуализация, трансформация и анализ информации на основе компьютерных методов обработки информации.

Полученные результаты и их научная новизна:

1) разработан алгоритм каскадного синтеза дифференциатора–наблюдателя без собственных движений с кусочно-линейными корректирующими воздействиями, отличающийся более простой настройкой (по сравнению с аналогичным наблюдателем стандартной структуры) и вычислительной реализацией (по сравнению с дифференциаторами на скользящих режимах);

2) предложен универсальный и вычислительно экономный метод динамического сглаживания на основе следящих дифференциаторов, позволяющий получить реализуемые эталонные траектории и их производные требуемого порядка;

3) разработан новый алгоритм блочного синтеза следящего дифференциатора с сигмовидными обратными связями, обеспечивающий выполнение заданных ограничений на переменные состояния дифференциатора;

4) для систем управления движением центра масс колесной платформы и БПЛА самолетного типа разработаны новые регуляторы с сигмовидными обратными связями, обеспечивающие подавление внешних возмущений и отслеживание заданной траектории с заданной точностью при выполнении проектных ограничений на переменные состояния и управления;

5) разработан комплекс алгоритмов для планирования движения одиночного робота на полигоне.

Достоверность и обоснованность полученных результатов

Достоверность и обоснованность полученных результатов обеспечиваются корректностью и строгостью применяемого математического аппарата, результатами численного моделирования и апробацией разработанных algo-

ритмов на виртуальных полигонах ООО «ПЛАЗ» и ООО «УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ». Достоверность также подтверждается публикациями автора в ведущих рецензируемых профильных журналах и широкой апробацией результатов работы на всероссийских и международных конференциях.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 32 статьи, из них 17 – в рецензируемых журналах (в том числе: 5 – в журналах К1 Перечня ВАК по специальности 2.3.1 (технические науки); 6 – в журналах WoS Q1, Q2); 10 – в сборниках, индексируемых Scopus. Получено Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Результаты работы прошли апробацию на 22-х российских и международных научно-практических конференциях.

Теоретическая и практическая значимость полученных результатов

Теоретическая значимость результатов диссертационной работы состоит в развитии методов динамического дифференцирования и формализации метода динамического сглаживания сигналов с учетом заданных ограничений, а также распространение инвариантных сигмовидных обратных связей на задачи управления для колесных платформ и БПЛА самолетного типа.

Практическая ценность разработанных динамических дифференциаторов заключается в том, что они имеют низкую алгоритмическую сложность; не требовательны к программному обеспечению; являются робастными и не требуют перенастройки при изменении формы дифференцируемого сигнала и его динамических характеристик в допустимых пределах. Полученные следящие дифференциаторы с комплексом сопутствующих алгоритмов для составления опорной негладкой 3D-траектории и ее сглаживания являются удобным и наглядным инструментом для планирования движений и полигонов.

Разработанные алгоритмы управления движением центрами масс колесных платформ и БПЛА самолетного типа позволяют учитывать ограничения на переменные состояния и управления на стадии построения синтеза и являются инвариантными к действию внешних возмущений.

Рекомендации по использованию результатов и выводов работы

Результаты и выводы, приведенные в диссертации, рекомендуется использовать:

- на подготовительной стадии для планирования полигонов и движений одиночных роботов в среде со стационарными препятствиями;
- при проектировании систем управления колесными платформами и беспилотными летательными аппаратами самолетного типа в условиях воздействия внешних неконтролируемых возмущений;

– для подготовки специалистов по проектированию систем управления мобильными роботами и в учебных дисциплинах по специальным разделам теории автоматического управления.

Замечания по диссертационной работе

1. В диссертации представлен новый подход к сглаживанию опорных траекторий, которые либо поступают в реальном времени из автономного источника, либо задаются на этапе планирования набором путевых точек. Однако, вопрос применимости данных алгоритмов в задачах уклонения от столкновений с движущимися препятствиями остается открытым.

2. В прикладных главах представлены различные варианты синтеза статической и динамической обратной связи для решения задач путевой стабилизации и слежения для центров масс колесных платформ и БПЛА самолетного типа. Следовало бы дать конкретные рекомендации по целесообразности их использования в различных рабочих сценариях.

3. В пятой главе при управлении движением центром масс БПЛА рассматривается только режим полета. Для целостности не хватает исследований, связанных с рассмотрением процесса управления движением в режимах взлета и захода на посадку, которые имеют свои особенности.

Указанные недостатки не снижают общей положительной оценки работы.

Заключение

Результаты диссертационной работы, полученные Кокунько Ю.Г., свидетельствуют о том, что соискатель выполнил актуальное исследование с привлечением и развитием специальных методов теории автоматического управления, направленное на решение научных задач по информационному обеспечению и синтезу следящих систем при наличии ограничений и внешних возмущений. Работа вносит существенный вклад в развитие теории и практики управления мобильными роботами.

На основе вышеизложенного можно заключить, что диссертация Кокунько Юлии Георгиевны «Методы и алгоритмы динамического дифференцирования и сглаживания сигналов, задающих траектории мобильных роботов» является завершенным научно-квалификационным исследованием по актуальной тематике, выполненным на высоком уровне и имеющим научную новизну, теоретическую значимость и практическую ценность. Работа полностью удовлетворяет критериям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, соответствует специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» (технические науки), а ее автор, Кокунько Юлия Георгиевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Диссертационная работа и отзыв рассмотрены и единогласно одобрены на заседании семинара «Управление динамическими системами» отдела №71 ФИЦ ИУ РАН, 20 ноября 2024 г., протокол № 1.



М.Г. Дмитриев

Дмитриев Михаил Геннадьевич, главный научный сотрудник отдела №71 ФИЦ ИУ РАН, д.ф.-м.н.(01.01.02), профессор

Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» (ФИЦ ИУ РАН)

Адрес: 119333, Москва, Вавилова, д. 44, кор. 2

<http://www.frccsc.ru/>

Тел: +7 (499) 135-62-60

E-mail: frccsc@frccsc.ru