

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Ибрагимова Даниса Наилевича

«Методы и алгоритмы построения оптимальных по быстродействию процессов для линейных дискретных систем с ограничениями на управление», представленной на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности «2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика»

Диссертационная работа Ибрагимова Д.Н. представляет собой исследование методов решения задачи быстродействия для линейных дискретных систем, в которых на управление накладываются ограничения. Вектор состояния предполагается неограниченным и полностью наблюдаемым. Ставится задача поиска оптимального программного, позиционного управления, априорное вычисление времени быстродействия, определение условий разрешимости поставленной задачи.

Актуальность

Актуальность выбранной темы исследования характеризуется общей проблематикой большинства задач оптимального управления, обладающих дискретным функционалом качества: классические вариационные принципы в них не позволяют формулировать конструктивные условия оптимальности процессов. В итоге оказываются необходимы такого рода исследования, предлагающие альтернативные подходы к формированию критериев оптимальности. Также среди всех задач с дискретным критерием качества задача быстродействия для дискретных систем является одной из наиболее естественных, поскольку минимизирует явно наблюдаемую характеристику любой системы – время функционирования.

Краткая характеристика и содержание работы

Глава 1. Автором рассмотрена динамическая система с произвольной размерностью вектора состояния и геометрическими строго выпуклыми ограничениями на управление. Для решения поставленной задачи предлагается использовать аппарат множеств достижимости – множеств тех состояний, в которые можно перевести систему из заданного состояния за фиксированное время. Полученный в результате критерий оптимальности представлен в форме принципа максимума. Отличительной чертой данного результата от классического является модификация, которая гарантирует, во-первых, достаточность представленных условий, во-вторых, их невырожденность.

РЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ
10 06 2012 г.

Глава 2. Автором исследуется конечномерная система управления с выпуклыми и компактными ограничениями на управление и обратимыми в смысле вектора состояния уравнениями динамики. Решение задачи быстродействия опирается на применение аппарата множеств 0-управляемости и метода динамического программирования Беллмана. Для класса систем с линейными ограничениями на управление приводится известный результат, позволяющий свести решение задачи быстродействия к решению нескольких задач линейного программирования. Основным направлением исследования данной главы является конструктивное обобщение данного подхода на случай произвольных выпуклых ограничений. Автор предлагает для этого использовать методы полиэдральной аппроксимации и, в частности, доказывает, что алгоритмы, обладающие сходимостью в метрике Хаусдорфа, гарантируют сходимость субоптимального решения к оптимальному за конечное число итераций.

Также отдельно во второй главе рассматриваются вопросы прикладного использования средств линейного программирования для решения задачи быстродействия. Предлагаются алгоритмы позволяющие снизить размерность соответствующих задач линейного программирования и обеспечить их решение за приемлемое время. С другой стороны, изучаются методы оценивания времени быстродействия, которые допускают сведение исходной задачи к задаче стабилизации системы за фиксированное время.

Глава 3. Автором вводится в рассмотрение следующий класс динамических систем, на управление в которых накладываются суммарные ограничения. Для заданного класса систем решается задача анализа: получение необходимых и достаточных условий разрешимости задачи быстродействия, в частности, и задачи терминальной стабилизации, в общем случае. В связи с выбранным подходом к проведению исследования автор сводит данные условия к построению предельных множеств достижимости и 0-управляемости динамической системы. Автором сформулированы необходимые и достаточные условия их ограниченности, получено точное описание для случая ограничений первого и второго порядков. Для случая ограничений произвольного порядка разработан метод, позволяющий получить внешнюю оценку данных множеств с произвольным порядком точности.

Глава 4. Автором продолжается исследование систем с дискретным временем и суммарными ограничениями. В частности, определяются условия, из которых может быть вычислено оптимальное по быстродействию управление. Данные условия различаются в зависимости от выбранного порядка суммарных

ограничений. В случае первого порядка, продемонстрирована возможность сведения исходной задачи к нескольким задачам линейного программирования по аналогии с результатами второй главы. В случае ограничений более старшего порядка условия оптимальности представлены в виде модифицированного принципа максимума по аналогии с первой главой.

Глава 5. Автором описывается программа для ЭВМ, позволяющая решить задачу быстродействия для линейных дискретных систем с различными типами ограничений на управление. Во-первых, описан модуль, предлагающий построение оптимальных процессов для случая геометрических ограничений на управление с использованием методов полиэдральной аппроксимации. Во-вторых, описан модуль, предлагающий построение оптимальных процессов для случая суммарных ограничений на управление первого порядка. При помощи данной программы для ЭВМ автором построено решение задачи быстродействия для нескольких модельных примеров, охватывающих все рассмотренные в работе постановки задачи.

Практическая и теоретическая значимость, научная новизна

Возможность применения разработанных в диссертационной работе методов продемонстрирована в главе 5. Так, автором решены задачи наискорейшей коррекции орбиты космического аппарата, стабилизации высотной конструкции в условиях землетрясения, стабилизации показателей глюкозы и инсулина в крови человека, страдающего диабетом. Это свидетельствует в том числе о прикладном характере работы.

С другой стороны, разработанный автором метод решения задач управления с дискретным критерием качества и соответствующий математический аппарат является новым, что свидетельствует об общей теоретической значимости работы.

Результаты диссертационной работы

Основные научные результаты, полученные в диссертационной работе Ибрагимова Д.Н.: могут быть описаны следующим образом:

1. достаточные условия оптимальности управления в виде регуляризованного принципа максимума в задаче быстродействия для линейных нестационарных систем с дискретным временем, бесконечномерным вектором состояния и строго выпуклыми геометрическими ограничениями на управление;
2. достаточные условия оптимальности гарантирующего решения задачи быстродействия, полученного на основе аппроксимационных алгоритмов,

- для линейных нестационарных систем с дискретным временем и геометрическими ограничениями на управление;
3. математический аппарат собственных множеств линейного преобразования и построенный на его основе метод априорного оценивания времени быстрогодействия как функции от начального состояния для линейной стационарной системы с дискретным временем, диагонализированной матрицей и геометрическими ограничениями на управление;
 4. алгоритмы полиэдральной аппроксимации множеств 0-управляемости линейной стационарной системы с дискретным временем и линейными геометрическими ограничениями на управление и основанный на них метод построения гарантирующего управления в задаче быстрогодействия с полиномиальной вычислительной сложностью;
 5. необходимые и достаточные условия ограниченности предельных множеств достижимости и 0-управляемости, их описание на основе аппарата опорных функций для случая линейных стационарных систем с дискретным временем и суммарными ограничениями на управление;
 6. метод построения внешних оценок произвольного порядка точности в смысле расстояния Хаусдорфа предельных множеств достижимости и 0-управляемости для линейных стационарных систем с дискретным временем и суммарными ограничениями на управление;
 7. достаточные условия оптимальности управления в задаче быстрогодействия для линейных стационарных систем с дискретным временем и относительно строго выпуклыми суммарными ограничениями на векторное управление;
 8. программное обеспечение, реализующее полученные численные методы и алгоритмы, при помощи которого решены задачи наискорейшей коррекции орбиты спутника, оптимального по быстроддействию демпфирования высотного сооружения в зоне сейсмической активности и нормализации уровня глюкозы в плазме крови.

Достоверность результатов

Все представленные результаты снабжены строгими математическими доказательствами и подтверждены численными расчетами.

Соответствие паспорту специальности

Исходя из сформулированных результатов диссертационной работы, можно утверждать, что она соответствует таким пунктам паспорта специальности «2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика», как **1** (теоретические основы и методы системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта), **2** (формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и

искусственного интеллекта), 4 (разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта), 5 (разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта).

Апробация и публикации

Полученные автором результаты прошли апробацию на международных конференциях, научных семинарах и отражены в 30 печатных работах, из которых 17 опубликованы в журналах из перечня ВАК (в том числе 10 работ в журналах, входящих в международные системы цитирования) и 3 в материалах конференций, индексируемых в Scopus. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Замечания

1. Рассмотрение бесконечномерного фазового пространства в главе 1 осложняет прикладное использование ее результатов. Следовало бы снабдить ее конструктивными следствиями для частного случая конечномерных систем.

2. Для алгоритмов снижения размерности задач линейного программирования из раздела 2.4.3 отсутствуют априорные оценки точности приближения в зависимости от числа вершин результирующего многогранника.

3. Предположение об обратимости матрицы системы в главах 2, 3 и 4 снижает общность рассматриваемой задачи.

4. В главе 5 не указана погрешность дискретизации, связанная с переходом от непрерывных моделей к дискретным.

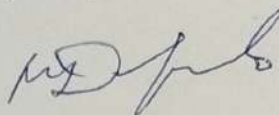
5. В работе имеются опечатки. Так на стр. 4 приводятся две ошибочные ссылки на работы А.Н.Тихонова.

6. К сожалению, в работе рассматриваются только программные управления. И на фоне 5 главы диссертации очень хотелось бы видеть некоторые рассуждения и попытки использования идей работы для создания приближенных алгоритмов решения слабо нелинейных, нелинейных, дискретных задач управления с нефиксированным временем в виде обратной связи при наличии ограничений на управление.

Указанные замечания не снижают достоинств работы, которая является законченной научно-исследовательской работой, для класса линейных, дискретных, управляемых систем, выполненной на высоком научном уровне. Содержание диссертации в полной мере изложено в статьях, опубликованных в журналах из перечня ВАК. Автореферат также в полной мере отражает

содержание диссертации. Выполненная работа соответствует требованиям Положения о присуждении учёных степеней, предъявляемых к докторским диссертациям, а её автор Ибрагимов Данис Наилевич заслуживает присуждения ему учёной степени доктора физико-математических наук по специальности «2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Официальный оппонент
главный научный сотрудник 71 отдела
интеллектуальных динамических систем и
когнитивных исследований Федерального
исследовательского центра «Информатика и
управление» Российской академии наук»,
доктор физико-математических наук, профессор



М.Г. Дмитриев

119333, Москва, Вавилова, д. 44, кор. 2
+7 (903) 172-15-69
mdmitriev@mail.ru

Подпись, должность, степень Дмитриева М.Г.
заверяю

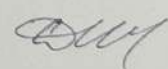
Ученый секретарь Федерального исследовательского
центра «Информатика и управление» Российской
академии наук»,
доктор технических наук, доцент

6 июня 2025 г.



В.Н. Захаров

С отрывом ознакомлен



10.06.2025