

ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертацию Симкиной Анастасии Вячеславовны «Алгоритмы построения и аппроксимации предельных множеств 0-управляемости и достижимости для линейных дискретных систем с геометрическими ограничениями на управление», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

В диссертационной работе А.В. Симкиной рассматривается задача разработки алгоритмов построения и аппроксимации предельных множеств 0-управляемости и достижимости для линейных систем с дискретным временем с геометрическими ограничениями на управление. Важность темы обусловлена широким спектром прикладных задач управления техническими системами, такими как системы демпфирования высотных сооружений в сейсмоопасных зонах, управление движением летательных аппаратов, а также биомедицинские системы нормализации уровня глюкозы в плазме крови, где необходимо учитывать ограниченность ресурсов и заранее оценивать предельные возможности системы. Актуальность работы связана с недостаточной проработанностью методов решения задачи построения предельных множеств для линейных систем с дискретным временем в современной науке.

Первые результаты в исследуемом направлении были получены А.В. Симкиной в рамках выполнения дипломной работы в бакалавриате, в которых были разработаны и реализованы методы оценивания предельных множеств 0-управляемости для двумерных линейных систем. Тем самым был создан научный задел, который был успешно развит в ходе обучения в магистратуре, а затем в аспирантуре МАИ и позволил перейти к системам произвольной размерности.

Метод, развитый в работе, базируется на двух подходах. Первый подход основан на декомпозиции исходной системы с использованием вещественной жордановой формы матрицы и аппарата опорных полупространств, что позволяет строить «касательные» внешние оценки предельных множеств вдоль направлений, соответствующих собственным векторам. Второй подход использует принцип сжимающих отображений в метрическом пространстве компактов с метрикой Хаусдорфа. Автором доказано, что предельные множества являются неподвижными точками соответствующих сжимающих отображений, что позволяет применять метод простой итерации для построения сходящейся последовательности внешних оценок, причем погрешность аппроксимации может быть оценена и сделана сколь угодно малой за счет выбора количества шагов для алгоритма.

На основе предложенных подходов автором получены новые научные результаты, имеющие теоретическое и прикладное значение. Сформулированы и доказаны необходимые и достаточные условия ограниченности предельных множеств 0-управляемости и достижимости, которые сводятся к анализу собственных значений матрицы системы. Разработан алгоритм построения внешних полиэдральных оценок на основе аппарата опорных полупространств, для случая жордановых клеток вещественного и комплексного типов получены явные аналитические формулы для границ оценок, что существенно упрощает их практическое использование. Разработан алгоритм построения внешних оценок на основе принципа сжимающих отображений, позволяющий получать аппроксимации с любой наперед заданной точностью в смысле расстояния Хаусдорфа, а также исследована задача минимизации погрешности оценивания при ограниченных вычислительных ресурсах. Для класса почти периодических систем, обладающих комплексно-сопряженными собственными значениями, разработан алгоритм построения внешних оценок с любой наперед заданной

точностью для систем, где аргумент собственного значения не является рациональным делителем числа «пи». Для случая рациональных делителей получено точное представление предельных множеств 0-управляемости и достижимости. Все разработанные алгоритмы реализованы в виде программы на языке C++, что подтверждено свидетельством о регистрации программы для ЭВМ. С помощью этой программы решен ряд прикладных задач, в том числе, построены предельные множества для системы демпфирования высотного сооружения, расположенного в зоне сейсмической активности, и для системы нормализации уровня глюкозы и инсулина в плазме крови, что демонстрирует эффективность предложенных алгоритмов.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы.

Во введении обоснована актуальность, проведен подробный обзор существующих результатов, сформулированы цели и задачи исследования.

В первой главе разработаны алгоритмы построения внешних оценок предельных множеств 0-управляемости линейных систем с дискретным временем и геометрическими ограничениями на управление, предложен метод декомпозиции системы на основе жордановой формы, доказана выпуклость данных множеств, а для ограниченного случая построены оценки с помощью опорных функций и принципа сжимающих отображений.

Вторая глава посвящена аналогичной задаче для предельных множеств достижимости.

В третьей главе рассмотрен класс почти периодических систем с комплексно-сопряженными собственными значениями, доказана теорема о явном виде предельных множеств для случая систем, где аргумент собственного значения является рациональным делителем числа «пи» и предложен алгоритм построения внешних оценок, когда условие рациональности не выполняется.

В четвертой главе представлено описание программы и ее применение для решения прикладных задач.

Диссертация Симкиной А.В. представляет собой законченную научно-квалификационную работу. Полученные новые результаты имеют научную и практическую значимость в области теории управления. Они могут быть использованы при проектировании систем управления летательными аппаратами, демпфирующих конструкций, а также в биоинженерии. Диссертация соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Симкина Анастасия Вячеславовна, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Научный руководитель:
д.ф.-м.н., доцент каф. 804 «Теория вероятностей и компьютерное
моделирование» МАИ

Подпись Ибрагимова Д.Н. заверяю.
Директор Дирекции Института № 8 «Компьютерные
науки и прикладная математика» МАИ



16.02.2026
Д.Н. Ибрагимов

С.С. Крылов