

## ОТЗЫВ

председателя диссертационного совета Овсянникова Дмитрия Александровича на диссертацию Попкова Александра Сергеевича на тему «Оптимальное позиционное управление в нелинейных управляемых системах», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.1.

Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

Цель диссертационной работы Попкова Александра Сергеевича состоит в построении численных методов решения задачи оптимального управления. Для линейных систем классические алгоритмы, как правило, основаны на использовании формулы Коши. Данная формула описывает явную линейную зависимость фазовых переменных от искомого вектора управления, поэтому при выборе управления в классе кусочно-постоянных функций исходную динамическую задачу можно свести к математической модели в виде задачи линейного или квадратичного программирования. Такой алгоритм впервые был описан в трудах научного коллектива под руководством Р. Ф. Габасова и Ф. М. Кирилловой.

Однако построение методов решения в нелинейном случае существенно осложняется отсутствием аналитической формулы решения задачи Коши для нелинейных систем обыкновенных дифференциальных уравнений общего вида. Поэтому разрабатываемые алгоритмы решения являются численными и приближенными. Один из существующих подходов заключается в решении задачи Коши численными методами (*Direct Single/Multiple Shooting*).

Автором данной работы был предложен метод решения нелинейной задачи оптимального управления, в основе которого процедура последовательных приближений нелинейных функций правых частей дифференциальных уравнений линейными. Отклонения, возникающие в следствие ошибок аппроксимации, минимизируются за счет использования решения, полученного на предыдущей итерации алгоритма, при построении новых линейных приближений. Также описан вариант алгоритма построения оптимального позиционного управления.

Таким образом, с учетом вышесказанного, алгоритм решения исходной задачи заключается в последовательном решении набора выпуклых оптимизационных задач. С точки зрения вычислительной сложности решения, выпуклые задачи являются значительно более приоритетными для использования в итерационном процессе по сравнению с невыпуклыми. Поэтому предложенный метод имеет научную и прикладную ценность. Также стоит отметить, что существует большое количество коммерческих или открытых программных пакетов решения задач

линейного и квадратичного программирования, таких как CPLEX, Gurobi, XPRESS, COPT и др., что серьезно упрощает возможность использования разработанного подхода и говорит о том, что проведенная работа соответствует современным техническим реалиям. Кроме того, в приложении описана структура кода алгоритмов, а сам программный код выложен в общедоступном репозитории.

В целом, в работе были изучены теоретические свойства предложенных подходов. Рассмотрены свойства сходимости к допустимому решению нелинейной задачи, они оформлены в виде пяти лемм. Также был поднят вопрос о существовании решения, ответом на который является алгоритм построения множеств достижимости для линейных систем и способ избежания потери допустимого решения для алгоритма решения нелинейной задачи. На примере двух нелинейных моделей подробно проиллюстрирована сходимость алгоритма.

Подводя итоги, можно перечислить основные результаты диссертации:

1. Предложен численный метод нахождения решения нелинейной задачи оптимального управления в классе кусочно-постоянных функций в программном режиме и в режиме реального времени при синтезе позиционного управления.
2. Представленные алгоритмы реализованы в виде программного кода на языке Python и апробированы на нескольких моделях.
3. В виде лемм сформулированы и доказаны некоторые базовые свойства сходимости алгоритма.
4. Разработан метод построения множества достижимости для линейной задачи.

#### **Замечания:**

1. Поскольку управление для нелинейного объекта строится на основе итерационного процесса, на каждом шаге которого используется линейная аппроксимация, то даже при условии сходимости можно говорить лишь о том, что полученное решение является субоптимальным.
2. Результаты, представленные в главе 4, видимо еще не были опубликованы и апробированы на конференциях.
3. В тексте диссертации присутствуют некоторые опечатки и избыточные обозначения вспомогательных величин при детальном описании алгоритмов, что несколько затрудняет их восприятие.

Наличие данных замечаний не снижает теоретическую и практическую значимость работы и ее общую положительную оценку.

Диссертация Попкова Александра Сергеевича на тему: «Оптимальное позиционное управление в нелинейных управляемых системах» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Попков Александр Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Председатель диссертационного совета,

доктор физико-математических наук, профессор,

заведующий кафедрой теории систем управления

электрофизической аппаратурой СПбГУ



Овсянников Д.А.

11.01.2023