

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

д.т.н., профессора Ю.А. Скобцова

на диссертационную работу

Константинова Сергея Валерьевича

«Решение задачи синтеза системы управления на основе аппроксимации множества оптимальных траекторий методом сетевого оператора»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика»

Актуальность темы исследований. Диссертационная работа Константинова С.В. посвящена одной из основных задач современной теории управления – задаче общего синтеза управления. В большинстве случаев для реальных объектов управления, используемых на практике, поиск решения задачи синтеза управления производится специалистами вручную. При таком подходе, называемом также техническим синтезом, производится определение каналов управления, в которые добавляются регуляторы. Дальнейшее решение задачи синтеза сводится к определению параметров этих регуляторов. Применение технических методов синтеза управления является серьезным препятствием развитию и активному внедрению разнообразных систем автоматического управления.

В работе автором предлагается принципиально новый численный метод решения задачи синтеза управления. В отличие от технического синтеза, разработанный автором метод позволяет находить структуру математической зависимости вектора состояния объекта от вектора управления. Для поиска структуры функции управления применяются методы символьной регрессии, а сам предлагаемый метод основан на определении множества оптимальных траекторий для различных начальных состояний объекта и их последующей аппроксимации с помощью одного из методов символьной регрессии. Такой подход позволяет свести к минимуму участие специалиста в решении задачи, а процесс поиска функции управления полностью переложить на вычислительную машину. В процессе поиска предлагаемый подход позволяет получать оценку качества найденного решения, показывающую возможность найденного решения обеспечивать близкие к оптимальным траектории перемещения объекта.

Исследования в области разработки численных методов решения задачи синтеза управления являются перспективными для развития систем автоматического управления. Таким образом, диссертационное исследование Константинова С.В. и предлагаемый автором подход являются актуальными.

Новизна исследований и результатов. Признаками научной новизны обладают следующие результаты диссертационной работы:

1. Новый численный метод решения задачи синтеза управления на основе аппроксимации множества оптимальных траекторий;
2. Результаты сравнительного исследования, показавшие эффективность применения эволюционных алгоритмов для решения задачи оптимального управления;
3. Новый гибридный алгоритм решения задачи оптимального управления;
4. Численное решение прикладной задачи синтеза управления автомобилеподобным роботом, подтверждающее эффективность предложенного подхода.

Значимость и достоверность результатов работы. Теоретическая значимость работы состоит в разработке нового численного метода решения задачи синтеза управления на основе аппроксимации оптимальных траекторий методом сетевого оператора. Предлагаемый подход позволяет получать оценку качества найденного решения.

Практическая значимость работы обусловлена следующим:

1. Разработка программной реализации предлагаемых алгоритмов была выполнена в рамках проекта 075-15-2020-799 «Методы построения и моделирования сложных систем на основе интеллектуальных и суперкомпьютерных технологий, направленные на преодоление больших вызовов» Минобрнауки России.
2. Предложенный метод решения задачи синтеза управления используется в научно-исследовательской и опытно-конструкторской работе инжинирингового центра «Интеллектуальные роботизированные системы и технологии» Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова и в деятельности ООО «Экспериментальная мастерская НаукаСофт» при проектировании и разработке программно-аппаратных комплексов.
3. Разработанные алгоритмы применяются в научно-исследовательской работе роботцентра Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук.

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается строгостью математических доказательств и утверждений, а также результатами проведенных вычислительных экспериментов. Результаты, полученные в диссертации, докладывались на значительном числе научных симпозиумов, конференций и семинаров, среди которых International Symposium “Intelligent Systems” (INTELS), International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT), International Conference “Optimization and Applications” (OPTIMA), European Control Conference (ECC) и другие.

Публикация основных результатов. Результаты диссертационного исследования изложены в 25 научных работах, 7 из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК, 15 – в журналах, индексируемых в международных базах

данных научного цитирования Web of Science и Scopus. Имеется 8 зарегистрированных программ для ЭВМ.

Структура и содержание диссертационной работы. Текст диссертации изложен на 180 страницах и структурно разделен на введение, пять глав, заключение, список литературы и одно приложение.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, определены предмет исследований, цель и задачи работы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, охарактеризованы научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

В первой главе дана постановка задачи общего синтеза управления, показан подробный обзор аналитических методов ее решения с приведением примеров и указанием преимуществ и недостатков по каждому методу. Далее рассмотрена постановка численной задачи синтеза управления на основе многокритериальной структурно-параметрической оптимизации, показаны существенные недостатки данного подхода.

Во второй главе приведен обзор методов символьной регрессии, представлено описание и примеры для наиболее популярных из них. Особое внимание уделяется методу сетевого оператора, как разработанному под цели решения задачи синтеза управления.

В третьей главе представлен разработанный автором новый численный метод решения задачи синтеза управления на основе аппроксимации оптимальных траекторий методом сетевого оператора. Для предлагаемого метода приведено подробное описание, рассмотрены постановка задачи и последовательность шагов алгоритма поиска решения. В качестве основного преимущества разработанного подхода показана возможность произвести оценку близости найденного решения к оптимальному. Для этого предлагается использовать значение ошибки аппроксимации в качестве минимизируемого функционала.

В четвертой главе рассмотрена задача оптимального управления и численные методы ее решения. Приведена постановка задачи оптимального управления, рассматривается численный метод её решения на основе прямого подхода. Приводится описание современных эволюционных алгоритмов глобальной оптимизации. В отличие от классических градиентных методов, эволюционные алгоритмы осуществляют поиск решения на множестве возможных решений, а сам процесс поиска строится на принципах эволюционной стратегии. Значительная часть главы посвящена обзору наиболее известных эволюционных алгоритмов и анализу результатов их сравнения с другими алгоритмами для решения задачи оптимального управления. На основании сравнительных экспериментов делается вывод о высокой эффективности эволюционных алгоритмов и их превосходстве над другими методами, в частности над градиентными. Среди наиболее эффективных методов выделены пчелиный алгоритм и алгоритм серых волков. Далее приводится пошаговое описание нового разработанного автором гибридного метода глобальной

оптимизации. Новый гибридный алгоритм предлагается использовать для численного решения задачи оптимального управления.

В пятой главе представлено описание и результаты вычислительного эксперимента, в котором предложенные в работе алгоритмы используются для поиска решения прикладной задачи синтеза управления автомобилеподобным роботом. Для поиска множества оптимальных траекторий в работе применяется новый гибридный алгоритм. Поиск структуры математического выражения функции управления производится путем аппроксимации найденных оптимальных траекторий методом сетевого оператора. Для используемой модели и алгоритмов приведены численные значения параметров. Далее в главе производится анализ полученных результатов и их сравнение между собой и с эталонными результатами. Результаты вычислительных экспериментов подтверждают корректность и эффективность разработанных методов и программного комплекса их реализующего.

В заключении представлены основные результаты диссертационной работы, приведены выводы по данным результатам.

Список использованной литературы содержит 180 наименований.

В приложении представлены акты о внедрении результатов диссертационного исследования.

Замечания по работе.

1. В методе сетевого оператора конечные результаты могут зависеть от используемого базисного решения, поэтому следовало бы осветить вопросы выбора этого решения
2. В предлагаемом автором численном методе решения задачи синтеза управления на первом этапе необходимо построить конечное множество оптимальных траекторий для аппроксимации. Однако, в работе не приводятся рекомендаций по выбору размера данного множества. Работу усилило бы наличие анализа влияния размера множества оптимальных траекторий на качество решения задачи синтеза.
3. Слабо освещены вопросы теоретической и практической оценки сложности разработанных алгоритмов.
4. Эффективность эволюционных алгоритмов сильно зависит от используемых значений параметров. Для алгоритмов, приведенных в табл. 2 раздела 4, не приведены эти значения, что снижает ценность экспериментов по сравнительному анализу эффективности.
5. Нет сравнения предлагаемого метода сетевого оператора с другими методами символьной регрессии.
6. В вычислительном эксперименте следовало бы рассмотреть математическую модель робота, учитывающую наличие внешних возмущающих воздействий. Это усилило бы доводы об эффективности предлагаемого метода решения задачи синтеза управления.

7. В работе следовало бы привести более полное описание программного комплекса, в частности указать применяемый метод численного решения систем дифференциальных уравнений и его точность.

Данные замечания не являются принципиальными и не влияют на положительную оценку основных результатов диссертации Константинова С.В.

Общая оценка работы. Диссертационная работа Константинова С.В. «Решение задачи синтеза системы управления на основе аппроксимации множества оптимальных траекторий методом сетевого оператора» является завершенным научным исследованием. В работе представлено теоретическое и практическое обоснование предлагаемых методов решения поставленных задач. Выносимые на защиту положения отражают новые научные результаты, полученные автором. Основные результаты и выводы диссертационного исследования опубликованы в рецензируемых научных изданиях, доведены до практической реализации и представлены на международных и российских конференциях. Содержание работы соответствует паспорту специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» (технические науки). Автореферат диссертации в полной мере отражает содержание работы.

Заключение. Диссертационное исследование «Решение задачи синтеза системы управления на основе аппроксимации множества оптимальных траекторий методом сетевого оператора» выполнено на высоком научном уровне и соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор, Константинов Сергей Валерьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Официальный оппонент

доктор технических наук,
профессор кафедры компьютерных технологий и
программной инженерии
Санкт-Петербургского государственного университета
аэрокосмического приборостроения
Адрес: 190000, Санкт-Петербург,
ул. Большая Морская, д. 67, лит. А, ГУАП
Телефон: +7 (812) 710-65-10

