

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации *Рыжикова Ивана Сергеевича*

«Эволюционные алгоритмы решения задач управления

и идентификации для динамических систем»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (космические и информационные технологии).

1.Актуальность диссертационной работы.

Несмотря на то, что эвристические алгоритмы оптимизации, основанные на принципах эволюции, применяются, исследуются и улучшаются уже более 30 лет, в наши дни задача их совершенствования все еще остается актуальной и имеет большую научную ценность и практическую значимость. Растущая сложность реальных задач различной природы, которые сводятся к задачам поиска экстремума, заставляет исследователей обращать внимание на выявление и устранение причин недостаточно высокой эффективности таких алгоритмов.

В работе рассмотрены методы решения задач идентификации структуры и параметров линейных динамических систем, терминального управления в виде многоуровневого реле для класса нелинейных систем, оптимального управления на основе численно-аналитического метода. Задача автоматической структурно-параметрической идентификации для линейных динамических систем по выборочным данным является актуальной ввиду представления модели как линейного дифференциального уравнения и возможности находить решения в условиях малой выборки и помех в каналах измерений выхода. Управление космическими аппаратами, как и многими другими техническими системами, у которых исполнительный механизм может работать только в определенных режимах, является актуальной задачей ввиду растущей сложности систем с представленным исполнительным механизмом. Непрямые методы решения задач оптимального управления основаны на представлении задачи с учетом всех связей, что, как правило, не приводит к противоречащим критериям, по которым оценивается решение задачи оптимального управления для прямых методов поиска. Методы решения задач оптимального управления не утратят своей актуальности, о чем свидетельствует множество публикаций по развитию не-прямых методов и решению экстремальных задач.

Разработанные алгоритмы для решения приведенных задач методов идентификации и управления для динамических систем представляют собой модифицированный алгоритм популяционного поиска экстремума, в основе которого лежит метод эволюционных стратегий. Разработанные модификации учитывают особенности решаемых задач и позволяют повысить эффективность

алгоритмов. В связи с указанным, можно заключить, что направление работы диссертации Рыжикова И.С. является актуальной научно-технической задачей.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Целью диссертационной работы является развитие методов идентификации и управления для динамических систем, повышение эффективности метода эволюционных стратегий для решения задач идентификации линейных динамических систем по данным наблюдений, терминального управления динамическими системами с управлением в виде кусочно-постоянных функций и численно-аналитического непрямого метода оптимального управления.

Для достижения этой цели в диссертационной работе выполнен обзор существующих методов решения задач идентификации и управления в различных постановках. Предложены способы решения задач идентификации и управления в ранее не рассматриваемых постановках. Рассматривается задача поиска порядка и коэффициентов линейного дифференциального уравнения, описывающего некоторый управляемый динамический процесс, решение которого адекватно описывает имеющееся облако точек. Также рассматривается подход к решению задачи терминального управления для динамических систем, в том числе и нелинейных, при особом виде функции управления. Был произведен анализ представления решений задач, на основании которого предложены модификации алгоритма стохастического поиска. Модификации поискового алгоритма в значительной мере повысили его эффективность. Для задачи терминального управления, впервые позволили находить её решение в общей её постановке. Сравнения проведены на множестве тестовых задач, сформулированных автором, и некоторых имитационных задачах.

Научные положения обоснованы корректным применением современного математического аппарата, выводы подтверждаются анализом результатов тестирования алгоритмов. Достоверность положений и выводов подтверждается корректным использованием теоретических положений из области системного анализа и обработки данных, теории систем, вариационного анализа и теории оптимизации в целом.

Реализованные программные системы, в основе которых лежат предлагаемые подходы и алгоритмы, были апробированы на множестве тестовых задач и в ходе решения реальных практических задач. Основные результаты исследования были полно представлены научной общественности на различных Всероссийских и Международных конференциях.

Таким образом, можно утверждать, что научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, полностью обоснованы.

3. Научная новизна.

Новыми научными результатами диссертационной работы являются следующие положения:

1. Автором разработан алгоритм стохастического поиска - модифицированный гибридный алгоритм эволюционных стратегий, в котором были изменены основные поисковые операторы. Данный алгоритм был дополнен оператором локального улучшения решения, представляющего собой стохастический аналог покоординатного спуска;

2. Предложен подход к решению задачи идентификации линейных динамических систем, позволяющий автоматически определять порядок и параметры дифференциального уравнения по измерениям выхода системы и известной функции управления, который применим в условиях малой и разреженной выборки;

3. Разработанный оптимизационный алгоритм модифицирован для решения обратной задачи математического моделирования линейных динамических систем, настроены параметры алгоритма, добавлена операция округления вещественных переменных;

4. Предложен подход к нахождению программного управления для динамических систем общего вида с исполнительным механизмом, работающим в режиме реле или многоуровневого реле. В данном подходе двухточечная задача управления приводится к экстремальной задаче, при этом способ представления решения делает возможным решение двухточечных задач в различных постановках;

5. Разработанный оптимизационный алгоритм обобщен на случай задач со смешанными переменными, которые могут быть представлены вещественным и целыми числами, в том числе качественные и ранговые переменные. Обобщение таково, что сохраняются единые принципы эволюционного метода;

6. Предложен новый оператор перезапуска, с помощью которого оценивается возможность стагнации популяционного алгоритма и близость к уже найденным ранее решениям, что позволяет в случае наступления одной из этих возможностей организовать рестарт поискового алгоритма и улучшить его результат.

4. Теоретическая значимость.

В данной работе разработаны, реализованы и изучены три новых алгоритма стохастического поиска, основанных на модифицированном гибридном алгоритме эволюционных стратегий, каждый из которых отличается от существующих алгоритмов:

- высокой эффективностью решения задач идентификации параметров и структуры дифференциального уравнения по данным наблюдений;

- возможностью одновременно решать задачу оптимизации для вещественных и номинальных переменных, сохраняя особенности поиска для переменных различной природы и не прибегая к дискретизации;
- высокой эффективностью нахождения точки экстремума для оптимизационной задачи непрямого метода нахождения оптимального управления.

Предложены новые подходы к решению задач терминального управления в виде кусочно-постоянных функций и к решению задачи моделирования линейных динамических систем по данным наблюдений. Первый подход позволяет решать различные постановки двухточечной задачи управления разработанным алгоритмом поиска экстремума, причем предложены варианты представления альтернатив так, что задачи условной оптимизации превращаются в задачи безусловной оптимизации без применения функций штрафа. Двухточечная задача управления рассматривается для динамических систем, которые, в общем случае, не предполагаются линейными. Подход применим для решения задач в различных постановках, например, как с фиксированным, так и со свободным временем. Также рассмотрены задачи с фиксированным и с настраиваемым количеством точек переключения управления. Второй подход позволяет одновременно определять порядок и коэффициенты дифференциального уравнения при известном управляющем воздействии в условиях зашумленных данных и малой выборки. В совокупности все, представленное выше, несомненно, является ценным для теории и практики системного анализа и управления результатом.

5. Практическая ценность.

Ценность диссертационной работы с практической стороны заключается в разработанных программных системах, в основе которых лежат развитые автором работы методы. Программные системы защищены свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ и могут быть использованы в различных областях исследований, сопряженных с решением задач моделирования и управления. Две программные системы связаны с решением задачи идентификации, а другие две позволяют находить решение терминальной задачи управления. После проведенных автором исследований можно заключить, что все предлагаемые программные системы могут быть успешно применены в решении рассматриваемых задач.

Так, например, успешно решена задача о построении линейного дифференциального уравнения, описывающего изменение концентрации веществ в реакции распада гексадекана. Разработана модель, описывающая изменение концентраций и в случае различных гипотез о характере протекании реакции. Было показано, что подход, включающий в себя все предложенные модификации алгоритма, является наиболее эффективным в решении задачи идентификации.

Также решалась задача о переводе космического аппарата с одной геостационарной орбиты на другую. В решении этой задачи использовался предло-

женный автором подход и обобщенный метод эволюционных стратегий. Были решены задачи для случаев, когда исполнительный механизм работает в 2 или 3 режимах, при фиксированном и свободном времени.

Для решения экстремальной задачи в непрямом методе решения задачи оптимального управления была написана программа в среде MATLAB.

Разработанные алгоритмы и подходы применялись для решения различных задач, которые возникали при выполнении исследований в рамках различных госбюджетных НИР по различным темам, в особенности, по моделированию и управлению динамическими системами. Перечень данных работ приведен в диссертации.

О практической ценности диссертационной работы, говорит так же и то, что она была поддержана Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере по программе «У.М.Н.И.К» в рамках НИОКР «Разработка системы автоматической идентификации динамических процессов, их анализа и управления».

6.Замечания.

Материалы диссертационной работы не лишены некоторых недостатков:

1. На рисунках 1.1, 1.2 и 1.4 некорректно отображены элементы условия логических схем.
2. Алгоритм с включенной мета-эвристикой (глава 4) следовало сравнить с алгоритмом с аналогичной мета-эвристикой.
3. Не обоснован выбор распределения начальной популяции алгоритма эволюционных стратегий в решении задачи идентификации (глава 2).
4. В уравнении системы (4.9) участвует логарифмическая функция, потому не ясно как был получен график целевой функции (рисунок 4.4), поскольку аргументом логарифма при некоторых начальных условиях может быть отрицательное число.
5. Наличие ряда орфографических ошибок.

Указанные недостатки не снижают ценности полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертации.

7. Заключение.

В целом диссертация И.С. Рыжикова выполнена на достаточно высоком научном уровне и представляет собой самостоятельную законченную научно-квалификационную работу, обладающую научной новизной. Работа имеет важное теоретическое и практическое значение для теории управления, идентификации систем и решения сложных задач оптимизации эвристическими алгоритмами.

Автореферат диссертации полностью отражает ее основные результаты, в нем коротко представлены предлагаемые оптимизационные алгоритмы и под-

ходы к решению задач идентификации и управления. Все требуемые разделы автореферата представлены корректно и соответствуют содержанию диссертационной работы.

25 публикаций автора (в том числе, 9 в журналах из Перечня ВАК, 7 в изданиях, индексируемых в Scopus и 1 в Web of Science) отражают основное содержание диссертации.

Оформление диссертации и автореферата удовлетворяет требованиям соответствующих нормативно-методических документов.

Диссертация полностью удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям по техническим наукам, а её автор Рыжиков Иван Сергеевич заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации».

Официальный оппонент:

Профессор кафедры «Системы автоматизации,
автоматизированное управление
и проектирование»

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный
университет»

д-р. техн. наук, профессор

В.И. Иванчура

« 05 » декабря 2016 г.

Адрес места работы:

г. Красноярск, 660064, ул. Киренского, д. 26,
корпус УЛК, ауд. 318

<http://www.rsreu.ru>

Тел.: 8 (391) 291-22-35

E-mail: Ivan43ura@yandex.ru



ФГАОУ ВО СФУ

Подпись В.И. Иванчура заверяю

Начальник общего отдела

« 05 » 12 20 16 г.