

ОТЗЫВ

официального оппонента Скобцова Юрия Александровича
на диссертационную работу Карасевой Татьяны Сергеевны

«Эволюционные алгоритмы решения задач символьной регрессии для идентификации динамических систем», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

Актуальность темы. В диссертационной работе Карасевой Т.С. исследуется тема, связанная с моделированием динамических систем. Зачастую исследование динамических систем предполагает создание модели на основе численных данных, которые описывают поведение системы, данный процесс соответствует термину «идентификация динамической системы». Для поиска модели часто используются методы численной идентификации, однако результатом применения таких подходов, являются модели, которые позволяют получить оценку выхода динамической системы, но изучить структуру полученной модели не представляется возможным, так как ее невозможно интерпретировать. Для исследования структуры модели, изучения по ней свойств объекта наиболее информативной формой является представление модели в виде дифференциальных уравнений и их систем. То есть в данном контексте идет речь о поиске дифференциального уравнения в символьной форме. Поиск выражений в символьной форме, описывающих взаимосвязь между входными и выходными характеристиками системы, является задачей символьной регрессии, следовательно, и поиск дифференциального уравнения как модели динамической системы можно свести к задаче символьной регрессии. Большое число исследований указывает, что эффективным инструментом решения задач символьной регрессии является алгоритм генетического программирования. Именно этот алгоритм лег в основу подходов, представленных в диссертационной работе Карасевой Т.С.

Разработка новых подходов идентификации необходима, в первую очередь, из-за усложнения технологических процессов, что, в свою очередь, требует, чтобы модели, используемые для принятия решений, были интерпретируемы. Следовательно, можно утверждать, что диссертационная работа Карасевой Т.С., направленная на совершенствование подходов к идентификации динамических систем, является актуальной.

Цель диссертационной работы: повышение эффективности применения методов решения задач символьной регрессии при структурно-параметрической идентификации динамических систем за счет применения самонастраивающихся эволюционных алгоритмов моделирования и оптимизации.

Общая характеристика работы: Диссертационная работа изложена на 128 страницах и состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы на 119 источников и 4 приложений.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулирована цель и поставлены задачи исследования, изучена степень разработанности темы. Представлены основные положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

Первая глава посвящена систематизации сведений об основных особенностях моделей динамических систем, рассматриваются существующие методы идентификации динамических систем. Указано, что наиболее предпочтительной формой представления динамических систем являются дифференциальные уравнения, так как данная форма информативна для специалистов тех предметных областей, в рамках которых решается задача поиска модели. Так как требуется найти дифференциальные уравнения непосредственно в символьной форме, то речь идет о задаче символьной регрессии. В первой главе отмечено, что для решения задачи символьной регрессии существует алгоритм генетического программирования, который позволяет подбирать структуру выражения, а для подбора числовых коэффициентов выражения следует использовать алгоритмы оптимизации, например, дифференциальную эволюцию. Таким образом, в первой главе обосновывается выбор методов для структурно-параметрической идентификации: алгоритма генетического программирования и метода дифференциальной эволюции.

Во второй главе представлены разработанные подходы на основе алгоритма генетического программирования к структурно-параметрической идентификации динамических систем в виде дифференциальных уравнений и их систем по экспериментальным данным и подход к решению задачи Коши. Для кодирования дифференциального уравнения в виде дерева (именно такое представление решения используется в алгоритме генетического программирования) автор диссертационной работы предложила ряд модификаций эволюционного процесса. На основе модифицированного алгоритма генетического программирования были разработаны подходы к идентификации, позволившие получать модели как в виде одного дифференциального уравнения, так и в виде системы дифференциальных уравнений. Особенностью данных подходов является применение самонастройки для параметров эволюционных алгоритмов.

В третьей главе представлены результаты исследования эффективности разработанных автором подходов к идентификации динамических систем. Проведено исследование на тестовых данных, в котором в качестве критериев эффективности выбраны значение ошибки найденной модели и их символьная точность (степень символьного

соответствия полученного выражения известному исходному). В данной главе Карасева Т.С. с помощью предложенных подходов осуществляет решение двух практических задач. Первая задача связана с моделированием процесса изменения КПД при работе гидравлической системы, а вторая – с изменением концентраций монооксида углерода и бензола. Проведено сравнение значений ошибки моделей, полученных предложенными подходами на основе алгоритма генетического программирования, со значениями ошибки моделей, полученных непараметрической ядерной оценкой регрессии и рекуррентной нейронной сетью, доказавшее эффективность разработанных автором подходов.

В заключении представлены основные результаты и выводы. Они достаточно полно и всесторонне обоснованы, отражают научное и практическое содержание диссертации.

Библиографический список из 119 источников определяют научную базу, которая была использована соискателем в ходе работы, и которую можно охарактеризовать, как достаточную.

В приложении представлены свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций:

Цель диссертационного исследования отражает тематику работы и достигнута автором. Поставленные и в последствии решенные задачи соответствуют цели исследования, а их реализация определяет актуальность и научную значимость работы.

Результаты, полученные автором, являются новыми научными знаниями, обоснованность которых гарантируется использованием современных средств и методик проведения исследований, согласованностью теории и результатов экспериментальных исследований, корректным использованием основных положений теории идентификации динамических систем, теории эволюционных алгоритмов, технологии программирования.

По результатам проведенных исследований автором разработаны эволюционные подходы структурно-параметрической идентификации динамических систем, способ решения задачи Коши в символьном виде.

Научная новизна полученных результатов:

1. Разработан модифицированный алгоритм генетического программирования, отличающийся терминальным множеством и модифицированными эволюционными этапами и позволяющий получать решение задачи структурно-параметрической идентификации динамических систем в виде дифференциального уравнения по экспериментальным данным.

2. Разработан новый подход на основе модифицированного алгоритма генетического программирования и дифференциальной эволюции к решению задачи структурно-параметрической идентификации динамических объектов в виде

дифференциального уравнения, позволяющий автоматизировано определять его порядок, структуру и коэффициенты.

3. Разработан новый подход на основе модифицированного алгоритма генетического программирования и дифференциальной эволюции к решению задачи структурно-параметрической идентификации динамических объектов в виде системы дифференциальных уравнений, позволяющий автоматизировано определять количество дифференциальных уравнений в системе, их порядок, структуру и коэффициенты.

4. Разработан алгоритм генетического программирования для решения задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений, отличающийся от известного применением процедуры самонастройки и позволяющий получать решение в символьном виде.

Практическая значимость:

Основные результаты работы использовались в рамках достижения целей по следующим проектам: Мегагрант «Гибридные методы моделирования и оптимизации в сложных системах», проект «Методы машинного обучения для идентификации свойств задач глобальной оптимизации в нестационарной среде и автоматической адаптации эволюционных и бионических алгоритмов» в рамках гранта Российского фонда фундаментальных исследований, проводимый совместно РФФИ и Австрийским научным фондом, проект «Развитие теории самоконфигурирующихся алгоритмов машинного обучения для моделирования и прогнозирования характеристик компонентов сложных систем», № FEFE-2020-0013 и № FEFE-2023-0004, по государственному заказу Минобрнауки РФ, проект «Разработка программного комплекса эволюционной автоматической идентификации динамических систем на предприятиях химической и металлургической промышленности» Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, программа «УМНИК» и в ряде других научных исследованиях.

Соответствие опубликованных работ содержанию диссертации:

По тематике исследований опубликовано 27 работ, среди которых 3 публикации в журналах из перечня ВАК, 9 опубликовано в изданиях, индексируемых в Web of Science и/или в Scopus. На 4 программные системы, разработанные в ходе диссертационного исследования, получены свидетельства Роспатента. Содержание опубликованного материала соответствует направлению научных исследований, изложенному в тексте диссертационной работы.

Соответствие темы диссертации заявленной научной специальности:

Диссертация соответствует паспорту специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика, а именно, следующим пунктам:

- Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта.
- Методы и алгоритмы структурно-параметрического синтеза и идентификации сложных систем.

Замечания по диссертационной работе:

1. На схеме на рис. 2.4 оптимизация числовых констант с помощью дифференциальной эволюции осуществляется и на этапе инициализации, и на этапе вычисления пригодности, а на рис. 2.6 в схеме подхода к идентификации модели в виде системы дифференциальных уравнений применение дифференциальной эволюции обозначено только на этапе вычисления пригодности, хотя автор указывал, что подход, представленный на рис. 2.4, лежит в основе подхода, представленного на рис. 2.6.

Возможно, логичнее было бы выполнять оптимизацию указанных параметров на этапе формирования популяции, а не при вычислении пригодности.

2. В пункте 3.2 полезно было бы представить не только графики полученных моделей при разных входных воздействиях, но и непосредственно модели в виде дифференциальных уравнений и их систем.

3. Не определена «символьная точность» моделей и полученных решений, которая активно используется при исследовании эффективности разработанных алгоритмов, например, на рис.3.3-3.7. Определяемая на стр. 47 «символьная точность» как «степень символьного совпадения с формулой известного решения» требует уточнения.

4. То же самое относится и к понятиям символьно условно точных моделей и решений.

5. Недостаточно раскрыто и обосновано использование инструментальных средств при компьютерной реализации разработанных алгоритмов и проводимых автором вычислительных экспериментов, в том числе касающихся эффективности ЭА.

6. В тексте работы присутствуют отдельные опечатки.

Приведенные замечания в целом не снижают ценность полученных результатов и общего положительного впечатления о выполненной диссертационной работе.

Заключение по работе:

Диссертационная работа Карасевой Татьяны Сергеевны «Эволюционные алгоритмы решения задач символьной регрессии для идентификации динамических систем», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является

завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, связанную с разработкой методов идентификации динамических систем при условии символьного представления конечных моделей, и имеет важное прикладное значение.

По объему и научному уровню полученных результатов диссертационная работа Карасевой Т.С. удовлетворяет требованиям ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертационной работы.

Диссертационная работа удовлетворяет критериям, изложенным в постановлении Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 «О порядке присуждения научных степеней, а ее автор Карасева Татьяна Сергеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Доктор технических наук
профессор

Скобцов Юрий Александрович
«12» ноября 2023 г.

Официальный оппонент: Скобцов Юрий Александрович
Адрес организации:
198000, г. Санкт-Петербург, ул. Большая морская, д.67
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»
Тел. 89315805059
E-mail: ya_skobtsov@list.ru
Научная специальность: 05.13.13 – Вычислительные системы, комплексы и сети