

ОТЗЫВ

официального оппонента Горнова Александра Юрьевича

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

Применение эволюционных алгоритмов для решения задач из различных областей на сегодняшний день остается актуальным направлением, несмотря на то что алгоритмы, основанные на принципах естественной эволюции, активно исследуются и улучшаются уже в течение нескольких десятков лет. Одно из направлений эволюционных вычислений связано с алгоритмом генетического программирования. Генетическое программирование применяется при решении различных задач, в том числе, этот подход может оказаться эффективным инструментом решения задачи символьной регрессии. Под символьной регрессией понимается поиск математического выражения в явном виде, описывающего некоторую существующую функциональную зависимость между переменными, характеризующими исследуемый объект. В работе Карасевой Т.С. основная идея заключается в сведении задачи идентификации динамических систем к задаче символьной регрессии. Если динамическая система описывается дифференциальным уравнением, то задача идентификации сводится к поиску этого уравнения, что может быть сведено к задаче символьной регрессии. Однако представление решения в виде дифференциального уравнения требует изменения терминального множества и эволюционных операторов, то есть модификации алгоритма генетического программирования, что и было реализовано в диссертационной работе. Разработка подходов к идентификации динамических

систем является востребованным направлением, а проектирование технологий, позволяющих получить модель в явной, интерпретируемой форме, является актуальным направлением таких исследований. Нет сомнения, что тематика работы Карасевой Т.С. связана с актуальной научно-технической задачей.

Цель диссертационного исследования состоит в повышении 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 содержит введение, три главы, заключение, 13 таблиц, 100 рисунков, список литературы из 119 наименований, 4 приложения; изложена на 128 страницах.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулирована цель, поставлены задачи исследования, изучена степень разработанности темы. Представлены основные положения, выносимые на защиту, рассмотрены вопросы научной новизны и практической значимости полученных результатов.

В первой главе диссертационной работы приводится постановка задачи идентификации динамических систем, определены основные подходы к идентификации, а также представлено сведение задачи идентификации к задаче символьной регрессии. Автор диссертационной работы отмечает, что для поиска модели динамической системы разработаны и применяются различные подходы, но одним из наиболее предпочтительных способов представления моделей являются дифференциальные уравнения и их системы. Поиск моделей в виде систем дифференциальных уравнений зачастую сводится или к аналитическим процедурам, когда формирование модели осуществляется на основе известных законов, например, из химии, физики, или к применению параметрических методов идентификации, которые предполагают наличие знаний о структуре уравнения, в этом случае задача идентификации сводится к поиску числовых коэффициентов при уже известной структуре.

В данной работе исходная задача идентификации представляет собой обратную задачу математического моделирования, в которой по экспериментальным измерениям входных переменных и выходных характеристик необходимо построить модель исследуемого объекта. В такой постановке задача идентификации сводится к задаче символьной регрессии, решение которой предполагает автоматизированное определение максимального порядка производной в левой части дифференциального уравнения и поиск правой части, описывающей поведение системы на основе экспериментальных данных.

В этой главе представлены общие методы генетического программирования и дифференциальной эволюции, которые легли в основу алгоритмов, разработанных в ходе диссертационного исследования.

Вторая глава содержит подробное описание подхода, предложенного Карасевой Т.С. Рассматриваются модификации алгоритма генетического программирования, дающие возможность кодирования дифференциального уравнения в виде дерева. Представлены основные аспекты эволюционного подхода для идентификации динамического объекта, в котором структура дифференциального уравнения формируется с помощью модифицированного алгоритма генетического программирования, а оптимизация числовых параметров, входящих в это уравнение, осуществляется с помощью алгоритма вещественной оптимизации, дифференциальной эволюции. Таким образом, предложенный в диссертационной работе подход можно отнести к методам структурно-параметрической идентификации. Для исследования объектов с несколькими выходными характеристиками предложен подход к идентификации в виде системы дифференциальных уравнений; основная его идея заключается в одновременной работе нескольких алгоритмов на основе модифицированного генетического программирования и дифференциальной эволюции, каждый из которых осуществляет поиск одного из уравнений системы. Важной особенностью является вычисление пригодности системы в целом, а не каждого отдельного индивида, характеризующего одно из уравнений системы. Представлен эволюционный

подход к решению задачи Коши для дифференциальных уравнений. Для всех эволюционных подходов реализована процедура автоматизированного подбора параметров эволюционных алгоритмов, называемая автором самонастройкой.

Третья глава диссертационной работы содержит результаты тестирования предложенных подходов. На первом этапе проведено тестирование подходов при поиске моделей, представленных дифференциальными уравнениями и их системами по сгенерированному данным. На втором этапе проведено тестирование с использованием закономерностей из физики, экономики, экологии. На третьем этапе с помощью предложенных подходов решены практические задачи. Первая задача заключается в поиске модели, описывающей изменение КПД при работе гидравлической системы, вторая задача предполагает построение модели в виде системы дифференциальных уравнений, каждое из которых описывает изменение концентраций монооксида углерода и бензола соответственно. Проведено сравнение с двумя другими возможными методами идентификации динамических систем.

В заключении представлены основные результаты и выводы работы. Они достаточно полно и всесторонне обоснованы. В целом работа производит хорошее впечатление, диссертант квалифицированно подошла к разработке новых подходов к идентификации динамических систем.

Материал работы логически структурирован, последовательность его изложения создает целостное представление о содержании проводимого исследования.

По тематике работы опубликовано 27 печатных работ. Из них 3 публикации в журналах, входящих в перечень ВАК, в том числе в журналах К1, 9 работ опубликованы в изданиях, индексируемых в Web of Science и/или в Scopus, в том числе в журналах Q2; получены 4 свидетельства о регистрации программ ЭВМ.

Научные положения, выводы и результаты диссертационной работы представляются корректными и обоснованными.

Диссертация точно соответствует специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Научная новизна полученных результатов

1) 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.

2) 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.

3) 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

В ходе проведения исследований были разработаны четыре программные системы для решения задач структурно-параметрической идентификации динамических систем, зарегистрированные в Роспатенте. Программные системы и теоретические результаты диссертационного исследования были применены при выполнении работ в рамках проекта «Разработка программного комплекса эволюционной автоматической идентификации динамических систем на предприятиях химической и металлургической промышленности», поддержанного Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (программа «УМНИК»), проекта «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, проводимого совместно РФФИ и Австрийским научным фондом, мегагранта «Гибридные методы моделирования и оптимизации в сложных системах» и других.

Замечания по диссертационной работе

1. В первой главе приводится анализ существующих методов идентификации, однако не слишком много внимания уделено общим методам структурно-параметрической идентификации.

2. В пункте 2.2 приводится описание механизма самонастройки, применяемой диссертантом в разработанных алгоритмах, но не представлено исследование зависимости качества получаемых решений от применения процедуры, автоматизирующей подбор параметров.

3. Представляется, что работа сильно выиграла бы, если бы в тексте диссертации было приведено больше наглядных примеров, демонстрирующих эффективность разработанных алгоритмов и качество найденных решений.

4. В тексте диссертации имеются грамматические неточности и стилистические недочеты.

Заключение

Диссертационная работа Карасевой Т.С. направлена на разработку новых методов идентификации динамических систем. В ходе исследования разработаны эволюционные подходы структурно-параметрической идентификации, позволяющие получать модели в виде дифференциальных уравнений и их систем, то есть в символьном виде. Представлен подход на основе самонастраивающегося алгоритма генетического программирования для решения задачи Коши.

Высказанные замечания не снижают высокого уровня проведенной соискателем работы. Считаю, что диссертация Карасевой Татьяны Сергеевны «Эволюционные алгоритмы решения задач символьной регрессии для идентификации динамических систем» является завершенной научно-квалификационной работой. Полученные автором результаты являются новыми,

обоснованными и достоверными. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Диссертация Карасевой Т.С. соответствует требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, 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

Горнов Александр Юрьевич

«16» ноября 2023 г.

Горнов Александр Юрьевич
Официальный оппонент, главный научный сотрудник
лаборатории оптимального управления
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова
Сибирского отделения Российской академии наук, доктор технических наук

Адрес организации:
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 134
Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова
Сибирского отделения Российской академии наук
тел. +7 (3952) 45-30-45
адрес электронной почты: gornov@icc.ru