

ОТЗЫВ

официального оппонента Горнова Александра Юрьевича
на диссертационную работу

Шерстнева Павла Александровича

**«Самоконфигурируемые эволюционные алгоритмы с адаптацией на
основе истории успеха для проектирования
моделей машинного обучения»,**

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка
информации, статистика

1. Актуальность темы

Современное развитие интеллектуальных информационных технологий, в частности методов машинного обучения, сопровождается стремительным увеличением сложности моделей, объемов обрабатываемых данных и требований к вычислительным ресурсам. В этих условиях особую значимость приобретает автоматизация процессов проектирования моделей машинного обучения, а также повышение эффективности методов оптимизации, формирующих данные модели.

Одним из перспективных подходов к решению подобных задач являются эволюционные алгоритмы, обладающие высокой адаптивностью и способностью к глобальному поиску в пространствах большой размерности. Однако их практическое применение требует подбора внутренних параметров, таких как числовые коэффициенты и варианты генетических операторов, что необходимо для достижения высокой эффективности. С учетом данной проблемы разработка методов самоадаптации, предполагающей изменение поведения алгоритма в

процессе поиска решения, представляет собой актуальную научно-техническую задачу.

Диссертационное исследование Павла Александровича Шерстнева направлено на разработку и исследование самоконфигурируемых эволюционных алгоритмов с адаптацией на основе истории успеха, применяемых для автоматизированного формирования моделей машинного обучения. Тематика работы соответствует актуальным направлениям в области системного анализа, управления и обработки информации. Выбор темы представляется обоснованным и своевременным как с научной точки зрения, учитывая растущий интерес к автоматизации интеллектуального проектирования, так и с практической, поскольку существует потребность в более эффективных инструментах построения моделей.

2. Общая характеристика работы

Диссертация изложена на 148 страницах и включает введение, четыре главы, заключение, список литературы, содержащий 181 наименование, а также 7 приложений.

Во введении отражены основные элементы диссертационного исследования: обоснована актуальность выбранной темы, определены цель и задачи работы, сформулированы положения, выносимые на защиту, изложены научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе диссертации рассмотрены теоретические и прикладные аспекты применения эволюционных алгоритмов в контексте интеллектуальных информационных технологий и задач машинного обучения. Представлены основные подходы к построению моделей машинного обучения в рамках проектирования интеллектуальных систем, включая искусственные нейронные сети, нечеткие логические системы и ансамбли методов машинного обучения. Проанализированы особенности

использования эволюционных алгоритмов для моделирования и оптимизации. Особое внимание уделено современным библиотекам и фреймворкам, обеспечивающим применение эволюционных методов оптимизации.

Во второй главе рассматривается проблема повышения эффективности эволюционных алгоритмов оптимизации, в частности генетического алгоритма и алгоритма генетического программирования, за счет модификации их циклов работы и генетических операторов. Циклы работы алгоритмов были изменены с целью приближения к циклу дифференциальной эволюции, что позволило применить метод адаптации числовых параметров алгоритмов на основе истории успешных применений. Кроме того, генетические операторы были модифицированы таким образом, чтобы учитывать как селективное давление на этапе скрещивания, так и возможность участия в скрещивании более двух родителей. Совместно с применением методов самоконфигурирования эволюционных алгоритмов автором предложены два новых решения: самоконфигурируемый генетический алгоритм с адаптацией на основе истории успеха и самоконфигурируемый алгоритм генетического программирования с аналогичным механизмом адаптации. Разработанные алгоритмы были исследованы на задачах вещественной и псевдобулевой оптимизации, а также в задачах формирования моделей машинного обучения. Полученные результаты продемонстрировали преимущество предложенных алгоритмов по сравнению с известными аналогами.

Третья глава посвящена проблеме повышения эффективности и степени автоматизации процесса формирования моделей машинного обучения. В главе изложен подход кодирования нескольких нейронных сетей в одном бинарном дереве - структуре данных, которая часто используется для кодирования решений в алгоритме генетического

программирования. Основная особенность предложенного подхода заключается в том, что в одной структуре кодируется множество нейросетевых архитектур, количество которых может адаптивно изменяться в процессе оптимизации. При этом подход не требует модификации самого алгоритма оптимизации, его генетических операторов или специального пошагового построения моделей. Используя данный метод кодирования, возможно формирование ансамблей нейронных сетей с применением алгоритма генетического программирования. В предложенном автором методе GPENN структура и количество сетей-участников оптимизируются с помощью разработанного во второй главе самоконфигурируемого алгоритма генетического программирования с адаптацией на основе истории успеха. Итоговая структура ансамбля реализуется по принципу стекинга, где в качестве мета-модели используется однослойный перцептрон. Предложенный метод протестирован на ряде известных задач машинного обучения из открытых репозиториях и сопоставлен с результатами применения популярных методов. В результате авторский метод продемонстрировал сопоставимые или лучшие показатели при полной автоматизации процесса формирования моделей. Вместе с тем следует отметить, что из-за использования генетического программирования и необходимости обучения каждого кандидата-решения для его оценки метод требует значительных вычислительных ресурсов для построения модели.

В четвертой главе описано практическое применение разработанных методов и алгоритмов для проектирования интерпретируемых моделей машинного обучения. Представлена разработанная библиотека с открытым исходным кодом Thefittest, предназначенная для автоматизированного проектирования моделей с использованием как существующих, так и предложенных в диссертации

самоконфигурируемых эволюционных алгоритмов. Архитектура библиотеки обеспечивает модульность, расширяемость, совместимость с фреймворками анализа данных и поддержку высокопроизводительных вычислений. На базе библиотеки созданы программные системы, зарегистрированные в Роспатенте.

Изложен гибридный подход к проектированию интерпретируемых моделей, сочетающий автоматическое построение ансамбля нейронных сетей и интерпретируемой нечетко-логической системы, объясняющей поведение АНС. Подход обеспечивает высокую точность и интерпретируемость модели без необходимости ручной настройки. Проведена апробация на ряде прикладных задач, включая краткосрочное прогнозирование силы ветра на морском побережье, моделирование деградации солнечных батарей космического аппарата и прогнозирование уровня звукового давления деревянных панелей.

Результаты экспериментов подтверждают эффективность разработанных методов: ансамбль нейронных сетей демонстрирует высокую точность, а обученная на выходах ансамбля нечеткая логическая система обеспечивает более компактную базу правил по сравнению с системами, построенными на исходных данных, в некоторых случаях демонстрируя и меньшую ошибку моделирования.

В заключении представлены основные результаты и выводы, соответствующие поставленной в работе цели. Полученные результаты всесторонне обоснованы и подтверждены экспериментальными данными. В целом диссертационная работа производит положительное впечатление, автор демонстрирует высокий уровень подготовки и обоснованно предлагает новые решения в области автоматизированного проектирования моделей машинного обучения.

Изложение материала отличается логичной структурой, а последовательность подачи позволяет сформировать целостное представление о содержании и направлениях проведенного исследования. Научные положения, выводы и результаты, представленные в диссертационной работе, являются обоснованными и представляются корректными.

Автором по теме диссертации опубликовано 22 научные работы, включая 5 статей в изданиях, входящих в Перечень рецензируемых научных журналов ВАК РФ, одна из которых размещена в журнале из «Белого списка». Кроме того, 5 статей опубликованы в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования Web of Science и Scopus. Также автором зарегистрировано 6 программных систем в Федеральной службе по интеллектуальной собственности (Роспатент).

3. Научная новизна полученных результатов

1. Предложен и экспериментально исследован самоконфигурируемый генетический алгоритм, в котором реализован модифицированный цикл работы алгоритма, усовершенствованная процедура скрещивания, а также механизм адаптации вероятностей мутации и скрещивания на основе истории успешных применений, что обеспечивает повышение надежности по сравнению с существующими аналогами.

2. Разработан и исследован самоконфигурируемый алгоритм генетического программирования, характеризующийся переработанным циклом работы алгоритма, модифицированной процедурой скрещивания и механизмом адаптации вероятностей мутации и скрещивания на основе истории успеха, что обеспечивает повышение надежности по сравнению с известными аналогами.

3. Разработан и реализован новый метод автоматизированного формирования ансамблей нейронных сетей на основе генетического

программирования, отличающийся механизмом совместного кодирования нескольких нейросетевых архитектур в одном бинарном дереве, что позволяет одновременно оптимизировать архитектуру участников ансамбля, их количество и структуру мета-модели.

4. Предложен и исследован гибридный подход к построению интерпретируемых интеллектуальных информационных технологий, основанный на автоматизированной интеграции нейросетевых моделей и нечетких логических систем, позволяющий совмещать высокую точность прогнозирования с интерпретируемостью, при этом исключая необходимость ручной настройки моделей.

4. Практическая значимость

Практическая значимость работы заключается в разработке библиотеки с открытым исходным кодом Thefittest, реализованной на языке Python и предназначенной для автоматизированного проектирования моделей машинного обучения с использованием самоадаптивных эволюционных алгоритмов. Библиотека ориентирована на широкий круг пользователей, включая тех, кто не обладает глубокими знаниями в области эволюционного моделирования. Предложенные алгоритмы и методы были апробированы на ряде прикладных задач, при этом их эффективность подтверждена экспериментально. Дополнительно высокая прикладная ценность библиотеки подтверждена признанием на профильных конкурсах в области искусственного интеллекта. На базе библиотеки было разработано шесть программных систем, прошедших регистрацию в Роспатенте. Результаты исследования были реализованы в рамках крупных научных проектов, а также внедрены в образовательные программы вузов. Кроме того, были получены документальные подтверждения использования разработок в деятельности научных организаций при проведении прикладных исследований.

5. Замечания и комментарии

1. В работе автор указывает на вычислительную сложность предложенного метода GPENN, однако ее количественная оценка и сопоставление с аналогичными методами не представлены. Проведение такого анализа позволило бы более полно и объективно дополнить сравнительную оценку эффективности алгоритмов.

2. Несмотря на то что в экспериментальном исследовании GPENN сравнивается с рядом сильных и широко применяемых методов машинного обучения, в работе не рассматриваются современные AutoML-подходы. Включение таких решений в сравнительный анализ позволило бы более полно оценить конкурентоспособность предложенного метода.

3. В ряде экспериментов, несмотря на указание параметров эволюционных алгоритмов, таких как число итераций и размер популяции, отсутствует обоснование их выбора.

4. Описание модифицированного оператора скрещивания в псевдокоде 1 выполнено менее формально, чем псевдокод 2. Для единообразия и лучшей читаемости следовало привести оба фрагмента в общем стиле представления алгоритмов.

6. Заключение

Высказанные замечания не снижают общего положительного впечатления от представленной работы. Считаю, что диссертация Шерстнева Павла Александровича на тему «Самоконфигурируемые эволюционные алгоритмы с адаптацией на основе истории успеха для проектирования моделей машинного обучения» является завершенной научно-квалификационной работой. Полученные автором результаты являются новыми, обоснованными и достоверными. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации. Диссертация

Шерстнева П.А. соответствует требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Доктор технических наук) Горнов Александр Юрьевич
«02» сентября 2025 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

ВЕРНО.
ВЕДУЩИЙ СПЕЦИАЛИСТ
ПЛАНОВОМ ОТДЕЛЕНИИ ИДСТУ СО РАН
А. Л. СКИТОВИЧ