

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, профессора Катасёва Алексея Сергеевича
на диссертацию Сарина Константина Сергеевича «Методология построения
интерпретируемых нечетких классификаторов, основанных на правилах»,
представленную на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 2.3.8 «Информатика и информационные процессы»

Актуальность темы диссертации

В настоящее время необходимость применения интерпретируемых моделей машинного обучения в системах искусственного интеллекта стимулировала создание методов, обеспечивающих понятные для человека объяснения на языке, близком к естественному. Объяснения такого типа должны позволять пользователю проверять и анализировать логику и результат принятия решений моделью. Потребность в интерпретируемости вызвана прежде всего необходимостью повышения уровня доверия человека к результатам работы систем искусственного интеллекта при принятии решений.

Нечеткие модели, основанные на правилах, позволяют получать интерпретируемые решения. Для построения таких моделей существует два основных подхода: на основе экспертных знаний и на основе технологий анализа данных. Первый подход позволяет создавать нечеткие модели с высокой степенью интерпретируемости. Однако в силу значительной трудоемкости реализации этого подхода и наличия человеческого фактора такие модели часто обладают невысокой точностью. При этом нечеткие модели, построенные на основе второго подхода, как правило, более точны, но часто менее интерпретируемы. Следовательно, тема диссертации Сарина К.С., связанная с разработкой методов и алгоритмов анализа данных для построения моделей нечетких классификаторов, обладающих высоким уровнем точности и интерпретируемости, является актуальной.

Структура и объем диссертационной работы

Диссертация Сарина К.С. состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 289 источников и 3-х приложений, включающих 2 свидетельства о государственной регистрации разработанных программ для ЭВМ, 5 актов о внедрении и использовании результатов диссертационного исследования, а также таблицу с признаками набора данных для прогнозирования эффективности реабилитации пациентов после перенесенной инфекции COVID-19. Диссертация содержит 72 рисунка и 40 таблиц. Общий объем диссертации составляет 260 страниц машинописного текста.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций диссертационного исследования

Обоснованность положений, выводов и рекомендаций диссертационного исследования обусловлена следующими факторами:

- 1) применением в исследовании математического аппарата теории нечетких множеств, теории вероятностей и математической статистики, корректным и достаточно строгим использованием методов оптимизации и линейной алгебры;
- 2) сравнением полученных результатов и предложенных теоретических и технологических разработок с результатами использования традиционных методов исследования;
- 3) многочисленными публикациями автора по теме исследования в высокорейтинговых отечественных и зарубежных изданиях;
- 4) широким обсуждением результатов теоретических и экспериментальных исследований на научных конференциях различного уровня.

Достоверность положений, выводов и рекомендаций диссертационного исследования обусловлена следующими факторами:

- 1) использованием общепринятых тестов и общедоступных наборов данных для проведения численных экспериментов;
- 2) использованием лицензионного программного обеспечения для проведения экспериментов, результаты которых не противоречат известным результатам других исследователей;
- 3) апробацией полученных результатов в Томском научно-исследовательском институте курортологии и физиотерапии, в научно-исследовательском институте микроэлектронных систем ТУСУР, в ООО «Микроэлектронные системы», а также в ООО «50ом Тех.»;
- 4) внедрением основных теоретических и программных разработок в учебный процесс ТУСУР для студентов, обучающихся по направлению 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника».

Научная новизна

В диссертации Сарина К.С. получены следующие научные результаты:

- 1) методология построения нечетких классификаторов, основанных на правилах, представляющая собой совокупность методов анализа данных и их взаимодействие и позволяющая строить классификаторы, сопоставимые по точности с другими моделями и превосходящие их по интерпретируемости;
- 2) алгоритм многокритериальной оптимизации для поиска в смешанном дискретно-непрерывном пространстве, позволяющий улучшить эффективность поиска в смешанном пространстве по сравнению с генетическим алгоритмом;

3) алгоритм однокритериальной оптимизации на основе распределения вероятностей значений переменных для поиска в дискретном пространстве, позволяющий улучшить эффективность поиска в бинарном пространстве по сравнению с генетическим алгоритмом и алгоритмом роящихся частиц;

4) модифицированный алгоритм градиентного спуска для параметрической оптимизации нечетких классификаторов, позволяющий улучшить точность классификаторов, построенных метаэвристическим алгоритмом;

5) метод формирования выборок данных для построения моделей машинного обучения, позволяющий улучшить точность и интерпретируемость нечетких классификаторов, построенных метаэвристическим алгоритмом смешанной многокритериальной оптимизации;

6) методика построения нечетких классификаторов с соблюдением компромисса «точность – интерпретируемость», основанная на предложенной методологии с использованием разработанных методов и алгоритмов.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость работы состоит в развитии методов и алгоритмов интеллектуального анализа данных. Предложенная в диссертации методология расширяют теоретическую базу в области мягких вычислений и объяснимого искусственного интеллекта. Работа обобщает и систематизирует традиционные и метаэвристические методы оптимизации нечетких систем. В целом, результаты исследования обогащают научно-методический аппарат новыми знаниями о построении интерпретируемых нечетких классификаторов.

Практическая значимость заключается в том, что разработанные методы и алгоритмы могут найти применение в решении задач многокритериальной, комбинаторной, непрерывной и смешанной оптимизации. Метод формирования репрезентативных обучающих и валидационных выборок данных может быть использован для повышения эффективности моделей машинного обучения и предотвращения их переобучения. Практическая ценность также обусловлена созданными программными средствами, подтвержденными свидетельствами о регистрации программ для ЭВМ и внедренными в ряд организаций, а также используемыми при выполнении НИР в рамках государственных заданий и научных проектов, поддержанных грантами РНФ и РФФИ.

Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации

Автореферат соответствует основным положениям диссертации и адекватно отражает ее содержание. Основные положения диссертации подробно отражены в обширном списке научных публикаций автора.

Замечания и рекомендации

1. В названии диссертации термин «интерпретируемый нечеткий классификатор» является избыточным, так как все нечеткие классификаторы в той или иной степени являются интерпретируемыми. Более логичное название диссертации: «Методология построения интерпретируемых классификаторов, основанных на нечетких правилах».

2. Целью диссертационного исследования является «повышение эффективности обнаружения закономерностей в данных...». Однако не сказано, что понимается под эффективностью. При этом в тексте диссертации автор часто указывает на необходимость построения нечетких классификаторов, обладающих высокой точностью и интерпретируемостью. Следует ли под эффективностью понимать повышение их точности и интерпретируемости и как эти понятия связаны с обнаружением закономерностей в данных?

3. На странице 16 диссертации сказано, что получено 8 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ, однако в приложении (см. приложение А) представлены сканы только 2-х свидетельств.

4. В первой главе диссертации недостаточное внимание уделено анализу нейронечетких моделей, широко используемых для формирования нечетких баз знаний и построения нечетких классификаторов.

5. При построении интеллектуальных моделей, в частности, нечетких классификаторов, обычно стараются обеспечить баланс между их точностью, сложностью и интерпретируемостью. Автор диссертации рассматривает только критерии точности и интерпретируемости моделей, не акцентируя внимание на их сложности. При этом от сложности зависит, в том числе, возможность эффективного практического использования моделей.

6. Автор рассматривает предложенную методологию в узком смысле, как «совокупность методов анализа данных и их взаимодействие», в то время как в широком смысле методология должна представлять собой совокупность новых принципов, методов, алгоритмов и комплексов программ.

7. В практической части диссертации показано применение нечеткого классификатора для решения задачи прогнозирования реабилитации пациентов после COVID-19. При этом задача прогнозирования сводится к задаче бинарной классификации: эффективная («1») и не эффективная («0») реабилитация. Классификация производится по семи признакам с тремя нечеткими градациями каждый. Полная база знаний нечеткого классификатора должна включать 4 374 правила. Однако на практике автор использует только 3 правила (см. рис. 4.1), что вызывает сомнение в эффективности такого классификатора.

Указанные замечания носят уточняющий характер, не снижают значимости результатов диссертации и не влияют на общую положительную оценку работы.

Заключение

Диссертационная работа Сарина Константина Сергеевича на тему «Методология построения интерпретируемых нечетких классификаторов, основанных на правилах» является завершенной научно-квалификационной работой. На основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области построения систем объяснимого искусственного интеллекта. Полученные результаты имеет важное научное и практическое значение для развития информатики, информационных систем и процессов.

Работа соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», которые предъявляются к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук и утверждены Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 (ред. от 16.10.2024 г.), а ее автор Сарин Константин Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.8 «Информатика и информационные процессы».

Профессор кафедры систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», д.т.н., профессор

Катасёв Алексей Сергеевич

«18» ноября 2025 г.

Докторская диссертация защищена по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Я, Катасёв Алексей Сергеевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Почтовый адрес: 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 10

Телефон: +7 (927) 408-94-68

E-mail: ASKatasev@kai.ru

Подпись Катасёв А.С.
заверяю. Начальник управления
делопроизводства и контроля

