

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе и
международной деятельности ФГБОУ
ВО «Юго-Западный государственный
университет», к.т.н., доцент



А.Ю. Алтухов

» *июне*

2025г.

О Т З Ы В

ведущей организации на диссертацию Моисеевой Татьяны Александровны
«Методы генерации баз знаний нечетких продукционных систем
с использованием процедур кластеризации», представленную на соискание
ученой степени кандидата технических наук по специальности
1.2.1. Искусственный интеллект и машинное обучение

Актуальность темы исследования

Сложность современных систем различного назначения и растущий запрос к качеству, эффективности и надежности их функционирования обуславливают актуальность совершенствования известных методологий, обеспечивающих формализацию свойства интеллектуальности. К ним, в частности, относится методология нечеткого моделирования как основа для решения задач управления, диагностики, прогнозирования и других задач в условиях неопределенности, обусловленной недостаточным объемом имеющейся информации, нелинейным и/или сложным характером взаимосвязи между системными переменными. Особое место в ней место занимают нечеткие продукционные системы (НПС), в которых используется продукционная модель в виде *если-то*-правил, отражающих связи между входными и выходной переменными системы. По сравнению с другими способами аппроксимации нелинейности, НПС обладают тем преимуществом, что правила в них могут быть сформулированы на естественном языке за счет использования лингвистических переменных, что делает модель прозрачной для интерпретации и анализа. В то же время, на вычислительном уровне НПС рассматриваются как гибкие математические структуры, которые аппроксимируют большой класс нелинейных систем с необходимой степенью точности. В отличие от обычных продукционных систем НПС имеют ряд особенностей: формат правил может быть различным; для представления приближенных (неточных, нечетких)

значений системных переменных используется лингвистический подход; алгоритмы формирования фронта готовых продукций упрощаются за счет использования для каждого правила оценок истинности. Однако в случае НПС возникают проблемы, решение которых существенно влияет на эффективность и качество решения прикладной задачи. Ядром НПС является база правил, качество которой оказывает существенное влияние на качество ее функционирования. Можно выделить два базовых подхода к формированию базы правил: экспертный, когда производственные правила обобщают опыт высококвалифицированных специалистов предметной области, и подход, основанный на извлечении правил из наблюдаемых данных с помощью методов машинного обучения, в частности, кластерных процедур. Данный подход обладает рядом преимуществ, среди которых: возможность автоматической или автоматизированной настройки параметров функций принадлежности термов лингвистических шкал входных и/или выходной переменных; формирование оптимального количества правил по количеству кластеров; возможность быстрой перенастройки базы правил при поступлении новой информации. В диссертации отмечается, что по сравнению с нейросетевым подходом к извлечению правил, кластерный подход уступает по точности на доли процента, но в то же время в большей степени способствует обеспечению способности НПС к объяснению полученного решения. Существующие работы в данной области опираются на известные алгоритмы кластеризации, в частности, метрические алгоритмы, основанные на стандартных метриках. Тем не менее не уделяется достаточного внимания подходам к построению новых нечетких метрик и исследованию их влияния на качество кластеризации. В представленной диссертационной работе решаются вопросы, связанные с совершенствованием кластерного подхода, обуславливая ее актуальность для решения важной научно-технической задачи, связанной с разработкой баз знаний НПС с использованием алгоритмов кластеризации.

Структура диссертации

Представленная на отзыв диссертация «Методы генерации баз знаний нечетких производственных систем с использованием процедур кластеризации» изложена на 175 страницах; состоит из введения, четырех глав, заключения, двух приложений, списка использованных источников, включающего 190 наименований научных трудов на русском и иностранных языках; содержит 55 рисунков и 22 таблицы.

Научная новизна полученных результатов, выводов и рекомендаций

В работе получены следующие результаты, характеризующиеся научной новизной:

1) Предложен метод формирования *если-то*-правил, идея которого заключается в аппроксимации кластеров эллипсоидами минимального объема. Для их нахождения ставится оптимизационная задача, которая с использованием функции Лагранжа и условий теоремы Куна-Таккера преобразуется в новую оптимизационную задачу, для решения которой применяется алгоритм Хачияна. Проецирование минимального эллипсоида на оси координат, позволяет построить шкалы входных и/или выходных переменных – в результате формируется база знаний НПС. В диссертации показано, что данный подход позволяет улучшить точность аппроксимации по сравнению с использованием матриц ковариации в среднем на 6-7%. Кроме того, операция сложения, определенная для эллипсоидов минимального объема, позволяет сократить количество продукционных правил, что важно для оптимизации базы знаний.

2) Впервые предложены и исследованы нечеткие метрики, полученные на основе аддитивных генераторов непрерывных архимедовых треугольных норм рационального вида. Данный результат отличается системностью, так как учитываются все возможные формы представления рациональных треугольных норм, и полнотой (выделены четыре типа поверхности, на основе поведения которых разработаны рекомендации по выбору). Результаты вычислительного эксперимента показали, что полученные нечеткие метрики демонстрируют лучшие классифицирующие способности.

3) Предложена оригинальная структура программного комплекса (ПК) для формирования баз знаний НПС, основанная на правилах лингвистической модели и модели Такаги-Сугено. К отличительным особенностям ПК относятся многофункциональность, адаптивность за счет использования различных нечетких метрик, ориентация на различные типы правил. Разработанный ПК использовался для исследовательских целей (тестирование предложенных подходов), а также для разработки базы знаний нечеткого классификатора энцефалограмм для асинхронного интерфейса «мозг-компьютер» с целью распознавания реальных и мысленных движений верхних конечностей.

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

Представленные в работе научные результаты следует признать обоснованными. При получении практически каждого теоретического или экспериментального вывода проводился сравнительный анализ с существующими решениями, подходами и алгоритмами. Проведено сопоставление баз знаний с учетом точности аппроксимации НПС для

эллипсоидальной кластеризации с помощью минимальных эллипсоидов и эллипсоидов, полученных на основе матриц ковариаций. Проведено сравнение результатов кластеризации с использованием предложенных нечетких метрик на базе метода k -медоид для разнообразных тестовых данных. Агрегирование частных оценок по наиболее распространенным показателям качества кластеризации, учитывающее «нечеткое большинство» лучших оценок, позволило выделить лучшие метрики. Каждый вывод сопровождается четкой качественной и количественной интерпретацией.

Программный комплекс разработан с использованием современных технологий объектно-ориентированного программирования.

Достоверность результатов диссертации подтверждается корректным применением методов оптимизации, нечеткого моделирования и кластерного анализа; результатами применения взаимно дополняющих теоретических и практических методов исследования, их согласованностью с известными результатами других исследователей.

Значимость результатов исследования для науки и практики

Значимость результатов, полученных Т.А. Моисеевой, для науки заключается в развитии подходов к генерации баз знаний НПС на основе алгоритмов кластеризации, которые, как показали экспериментальные исследования, позволяют улучшить классифицирующие и аппроксимирующие свойства данного класса нечетких систем. В диссертационной работе поставлена и решена задача эллипсоидальной кластеризации на основе минимальных эллипсоидов, которая позволяет осуществить тонкую настройку базы правил, в максимальной степени учитывая те данные (за исключением выбросов), которые имеются в обучающем множестве. Предложенное семейство нечетких метрик расширяет возможности построения нечетких метрических пространств с настраиваемым параметрами, в определение которых входят архимедовы треугольные нормы, представимые рациональными функциями. С другой стороны, как показали эксперименты, проведенные в рамках диссертационного исследования, новые метрики улучшают качество работы метрических алгоритмов кластеризации по большинству широко распространенных показателей качества кластеризации.

Практическая ценность работы заключается в создании и внедрении инструментария, позволяющего решить одну из ключевых проблем разработки нечетких систем для приложений – построение базы знаний, причем успешность этого шага обуславливает качество решения прикладной задачи.

Программные разработки Моисеевой Т.А. нашли свое применение и внедрены в деятельность финансовой компании «ООО ФПК «Альфа» для анализа информации. Теоретические результаты диссертации и разработанный ПК используются в учебном процессе Воронежского государственного университета и для проведения исследований в Лаборатории медицинской кибернетики. Особо

следует подчеркнуть использование разработанного ПК в составе интерфейса «мозг-компьютер». Разработка таких интерфейсов является сложной научно-технической задачей, которая имеет существенное значение для восстановления двигательных функций у людей с нарушениями движения или параличом. Соискателю удалось построить нечеткий классификатор с неплохими качественными характеристиками и, тем самым, показана принципиальная возможность различения реальных и воображаемых движений обеих рук на основе анализа электроэнцефалограмм.

Все внедрения подтверждаются соответствующими актами, копии которых приводятся Приложении диссертации.

Результаты диссертационной работы рекомендуются для использования в научно-исследовательских, проектных и промышленных организациях, занимающихся исследованиями в области разработки интеллектуальных информационных систем и экспертных систем различного назначения, ядром которых является НПС, в частности, систем нечеткого управления, систем мониторинга, аналитических информационных систем, систем медицинской диагностики, в которых НПС широко и эффективно используются.

Отдельные разделы работы целесообразно использовать в учебном процессе вузов, в которых осуществляется подготовка по направлениям, связанным с искусственным интеллектом и машинным обучением: Воронежский государственный технический университет, Липецкий государственный университет, Юго-Западный государственный университет и др.

Соответствие критериям, которым должны отвечать диссертации на соискание ученых степеней

Диссертация Моисеевой Т.А. является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение важной для инженерии знаний и разработки систем искусственного интеллекта научной задачи совершенствования подходов к генерации баз знаний НПС с улучшенными свойствами на основе кластеризации обучающей выборки (п.9).

Диссертация обладает внутренним единством, логически правильно выстроена, содержит новые научные результаты, полученные лично автором. Предложенные соискателем решения в достаточной степени аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями (п. 10).

Все научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях. Соискатель имеет 15 научных работ (4 без соавторов), в том числе 5 статей в журналах из Перечня ВАК, 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Качество и количество публикаций соискателя по теме диссертации удовлетворяют требованиям ВАК (пп. 11, 13).

В диссертации имеются обязательные ссылки на источники заимствования материалов. В диссертации и автореферате указан вклад соискателя в работы, выполненные в соавторстве. (п. 14).

Замечания

1. По сути, предложенный метод эллипсоидальной кластеризации не всегда гарантирует построение корректной базы правил с покрытием универсального множества, на котором определены термы лингвистических шкал, однако в диссертации этому факту не уделено достаточного внимания. Была бы желательна формальная процедура для анализа полученной базы правил после применения алгоритма эллипсоидальной кластеризации, которая позволила бы сформировать оценку качества именно базы правил.

2. Из диссертации следует, что с помощью эллипсоидальной кластеризации можно построить базы знаний с правилами, которые относятся к лингвистической модели или к модели Такаги-Сугено, но, когда и какую модель использовать не уточняется. Вместе с тем, это важный вопрос, который влияет на точностные характеристики НПС.

3. Не совсем понятно, почему выбран метод Хачияна для решения оптимизационной задачи.

4. Вид формул для $t_p^{(-1)}$ и соответственно μ_M в иллюстративном примере в автореферате на стр. 10 (а также в диссертации) можно упростить.

5. При описании нечеткого классификатора для интерфейса «мозг-компьютер» следовало бы более подробно описать проблемы разработки и перспективы его использования, например, в медицинских целях.

Заключение

Диссертационная работа Т.А. Моисеевой «Методы генерации баз знаний нечетких продукционных систем с использованием процедур кластеризации» является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной задачи совершенствования методов генерации баз знаний нечетких продукционных систем на основе обучающих с использованием кластерных процедур.

Диссертация подготовлена соискателем самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты, имеющие значение для науки и практики. Работа оформлена в соответствии с требованиями, предъявляемыми к кандидатским диссертациям. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, обоснованы и достоверны. Автореферат полностью и правильно отражает основные положения и выводы диссертации.

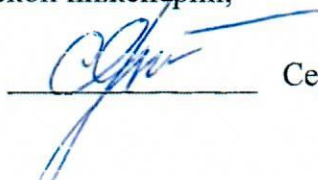
Диссертационная работа соответствует Паспорту специальности 1.2.1. Искусственный интеллект и машинное обучение и охватывает следующие области исследования: п. 5 «Методы и технологии поиска, приобретения и использования знаний и закономерностей, в том числе – эмпирических, в системах искусственного интеллекта. ...», п. 15 «Математические исследования в области статистики, логики, алгебры, топологии, анализа функций и других

областях, ориентированные на решение задач искусственного интеллекта и машинного обучения».

Таким образом, с учетом изложенного выше, считаем, что Т.А. Моисеева заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.1 «Искусственный интеллект и машинное обучение».

Отзыв составлен:

Профессор кафедры биомедицинской инженерии,
д.т.н., профессор



Сергей Алексеевич Филист

Утвержден:

на заседании кафедры биомедицинской инженерии,
протокол № 11 от «27» июня 2025 г.

Зав. кафедрой биомедицинской инженерии
ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный
университет», д.м.н., профессор



Станислав Петрович Серегин

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет»

Почтовый адрес: 305040, Курская область, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

Телефон: +7 (4712) 50-48-00

Адрес электронной почты кафедры: kstu-bmi@yandex.ru



Подпись: С.А. Филист, С.П. Серегин
достоверно
специалист по кадрам
Чашев А.А. Чашевская
27.06.2025г.