

УТВЕРЖДАЮ

Проректор федерального государственного
автономного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный
исследовательский университет
«Высшая школа экономики»

к.э.н., доцент Сергей Юрьевич Рошин



«28» сентября 2026 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Драгунова Никиты Аркадьевича
«Поиск частых (нечастых) элементов декартова произведения конечных
частичных порядков и приложения»,
представленную на соискание учёной степени кандидата физико-
математических наук по специальности 1.2.3 – «Теоретическая информатика,
кибернетика»

Актуальность темы диссертации

Работа посвящена поиску в данных частых и нечастых элементов. Такие задачи впервые появились в связи с построением ассоциативных правил и лучше всего изучены в бинарном случае (декартово произведение бинарных антицепей). В прикладных задачах значения признаков, как правило, естественным образом упорядочены, поэтому нужны методы, работающие с данными из декартова произведения конечных частично упорядоченных множеств. Число частых и нечастых элементов растёт экспоненциально с увеличением размерности данных, и полное их перечисление неэффективно; на практике перечисляют лишь максимальные частые и минимальные нечастые элементы.

Для построения множеств максимальных частых и минимальных нечастых элементов известны последовательный метод, эффективный лишь при сильно различающихся мощностях этих множеств, и инкрементальный совместный метод, трудоемкость шага которого растёт с числом уже найденных решений. Отсюда

следует необходимость новых алгоритмов для задач этого класса. Тема диссертации актуальна.

Новизна полученных результатов и выводов

В диссертации Н. А. Драгунова построены вычислительно эффективные методы логического анализа информации, заданной на декартовом произведении конечных частично упорядоченных множеств, и показаны приложения этих методов в дискретной математике и машинном обучении. Научной новизной обладают следующие результаты.

1. Разработана схема перечисления максимальных частых и минимальных нечастых элементов частичных порядков, названная автором последовательно-совместной, которая объединяет два ранее известных способа построения указанных множеств: последовательного и совместного. Корректность схемы обоснована утверждениями 1–3. Эффективность подхода подтверждена экспериментально.

2. Поставлена задача расшифровки двужначной монотонной функции, заданной на произведении конечных частично упорядоченных множеств и определенной через оракула. Показана связь между поставленной задачей и совместным перечислением максимальных частых и минимальных нечастых элементов частичных порядков. На этой основе построен алгоритм расшифровки, ориентированный на типичный случай, и доказана его корректность (утверждения 4–6). Эксперименты для функции, заданной на k -значном n -мерном кубе, подтверждают, что при больших значениях k и n новый алгоритм в среднем опережает классический по времени счета и реже обращается к оракулу.

3. Предложены новые логические классификаторы, основанные на поиске часто встречающихся в описаниях прецедентов элементарных классификаторов (ЭК) специального вида - правильных представительных ЭК. Алгоритм REC работает с данными, являющимися элементами декартова произведения антицепей, а его модификация REC+ работает с данными, являющимися элементами декартова произведения цепей. По данным вычислительных экспериментов обучение

классификатора REC требует существенно меньше времени, чем обучение классической модели логической классификации из направления, называемого процедурами корректного голосования, при сопоставимом качестве распознавания; переход же к линейно упорядоченным значениям признаков в алгоритме REC+ повышает качество классификации на большинстве рассмотренных задач.

4. Для правильных ЭК получены асимптотические оценки их типичного числа и типичного ранга: как в случае произведения антицепей (теорема 1), так и в случае произведения цепей (теоремы 2 и 3). Полученные оценки развивают технику исследования метрических характеристик логических классификаторов. Сопоставление этих оценок с известными оценками числа ЭК, искомым традиционными алгоритмами логической классификации (теорема 4) показывает, что правильных ЭК заметно меньше. Тем самым выигрыш предложенных алгоритмов в скорости обучения получает теоретическое обоснование. Практически ценно и то, что оценки типичного ранга позволяют выбирать параметры алгоритмов REC и REC+ не прибегая к перебору.

Перечисленные результаты являются новыми, согласованы между собой и вносят вклад в развитие методов дискретной математики, логического анализа данных и машинного обучения.

Апробация работы и публикации

По теме диссертации опубликовано 11 научных работ, среди которых 5 статей в журналах перечня ВАК; 5 работ входят в базу Scopus, 2 статьи – в Web of Science Core Collection. Результаты докладывались на шести всероссийских и международных конференциях в период с 2019 по 2025 год. Публикации в полной мере отражают содержание диссертации.

*Обоснованность научных положений и выводов,
сформулированных в диссертации*

Корректность алгоритмов и полученные оценки строго доказаны (утверждения 1–6, теоремы 1–3). Алгоритмы реализованы на C++ и Python; эксперименты проведены на модельных и реальных данных с усреднением результатов по независимым запускам, их выводы согласуются с теоретическими. Все предложенные в работе методы имеют теоретическое обоснование и проверены вычислительными экспериментами.

*Соответствие содержания диссертации автореферату и указанной
специальности*

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы, включающего 75 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель работы и вытекающие из нее задачи, охарактеризована методология исследования, изложены научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, приведены положения, выносимые на защиту, а также сведения о публикациях и апробации работы.

Первая глава посвящена задаче перечисления максимальных частых и минимальных нечастых элементов декартова произведения конечных частичных порядков. Автор рассматривает известные способы решения этой задачи: достаточно очевидный последовательный способ, опирающийся на свойство двойственности указанных множеств, и совместный метод. В качестве альтернативы диссертантом предлагается последовательно-совместная схема перечисления искомых множеств, являющаяся синтезом последовательного и совместного подходов и использующая в качестве базовой процедуры асимптотически оптимальный алгоритм дуализации над произведением цепей $RUNC-M+$, построенного Дюковой Е.В., Масляковым Г.О. и Прокофьевым П.А. (2019 г.). Корректность схемы доказана. Экспериментальное сравнение с последовательным, совместным и независимым способами построения искомых

множеств показывает, что предложенный метод выигрывает тогда, когда множества частых и нечастых элементов близки по мощности.

Во второй главе установлена связь между рассмотренной в первой главе задачей совместного поиска максимальных частых и минимальных нечастых элементов частичных порядков и задачей расшифровки двужначной монотонной функции, заданной на произведении конечных частично упорядоченных множеств. Автор обсуждает традиционный подход к задаче расшифровки, основанный на построении оптимальных по Шеннону (эффективных в худшем случае) алгоритмов, и указывает на необходимость разработки алгоритмов расшифровки, эффективных в типичном случае. Опираясь на последовательно-совместный подход, разработанный в главе 1, Н. А. Драгунов строит новый алгоритм «асимптотически оптимальной» расшифровки, и доказывает его корректность. Эффективность алгоритма подтверждена экспериментально. А именно, проведено экспериментальное исследование для функции, заданной на k -значном n -мерном кубе, показывающее, что при больших значениях k и n предложенный алгоритм в среднем работает быстрее и меньше обращается к оракулу по сравнению с классическим алгоритмом расшифровки, ориентированным на худший случай (Алексеев В.Б., 1976 г.).

Третья глава посвящена приложению методов поиска частых элементов к задаче классификации по прецедентам. Приведены постановка указанной задачи и обзор трех основных направлений логической классификации: процедур корректного голосования, логического анализа данных и анализа формальных понятий. Автор предлагает новую схему обучения логического классификатора: сначала в описаниях прецедентов каждого класса ищутся часто встречающиеся фрагменты специального вида, названные правильными элементарными классификаторами, а затем среди них отбираются представительные для данного класса. Описаны алгоритм REC для случая декартова произведения антицепей и его модификация REC+ для случая произведения цепей, а также применяемая в экспериментах процедура линейного упорядочения значений признаков. Сформулированы и доказаны теоремы об асимптотических оценках типичного

числа и типичного ранга правильных элементарных классификаторов, приведены результаты экспериментов на модельных и реальных данных, включая сравнение с классической моделью корректного голосования, случайным лесом и логистической регрессией.

В заключении сформулированы основные результаты работы и намечены направления дальнейших исследований.

Материал изложен последовательно, содержание глав отвечает поставленным в работе задачам. Содержание работы полно и корректно отражено в автореферате. Диссертация отвечает пунктам 1, 3 и 17 паспорта специальности 1.2.3 – «Теоретическая информатика, кибернетика».

Значимость результатов

Теоретическая значимость работы состоит в построении новых перечислительных алгоритмов для широкого класса задач, эффективных в типичном случае, а также в развитии техники получения оценок метрических (количественных) характеристик логических классификаторов.

С практической точки зрения важно, что предложенные алгоритмы реализованы программно, применимы к частично упорядоченным данным и конкурентоспособны по сравнению с известными алгоритмами. Оценки типичного ранга правильных ЭК позволяют задавать параметры классификаторов расчетным путем без численного перебора, что особенно полезно при большой размерности задач. Результаты диссертации могут применяться при разработке интеллектуальных систем, основанных на логическом выводе. Исследования выполнялись в рамках проектов РФФИ №19-01-00430 и РНФ № 24-21-00301.

Замечания по диссертационной работе

1. Асимптотические оценки типичного числа и типичного ранга правильных ЭК получены только для двух случаев: когда множества значений признаков являются антицепями и когда они являются цепями. Было бы полезно

распространить эти оценки на произведения частичных порядков более общего вида, на которые переносится предложенный подход к классификации.

2. Реальные задачи, использованные в экспериментах третьей главы, недостаточно полно описаны с содержательной точки зрения: для ряда задач не указаны предметная область и смысл признаков. Выводы о скорости обучения и качестве классификаторов REC и REC+ были бы более убедительными при проверке на большем числе прикладных задач.

Замечания не снижают общей положительной оценки работы.

Вывод

Диссертация Драгунова Никиты Аркадьевича «Поиск частых (нечастых) элементов декартова произведения конечных частичных порядков и приложения» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на высоком теоретическом уровне и посвященную актуальной проблеме построения вычислительно эффективных методов анализа информации, заданной на декартовом произведении конечных частично упорядоченных множеств.

Полученные результаты обладают научной новизной, теоретической и практической значимостью, являются обоснованными и достоверными.

По актуальности, научной новизне, теоретической и практической значимости, достоверности полученных результатов и обоснованности выводов диссертационная работа «Поиск частых (нечастых) элементов декартова произведения конечных частичных порядков и приложения» Драгунова Никиты Аркадьевича соответствует требованиям п. 9–14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 (ред. от 16.10.2024), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.3 – «Теоретическая информатика, кибернетика».

Отзыв подготовлен доктором физико-математических наук, профессором, руководителем департамента анализа данных и искусственного интеллекта факультета компьютерных наук федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» Кузнецовым Сергеем Олеговичем.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании Департамента анализа данных и искусственного интеллекта Факультета компьютерных наук федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», протокол № 2.3.6-01/180926 от «18» сентября 2026 года.

Сведения о ведущей организации: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ)

Адрес: 101000 г. Москва, ул. Мясницкая, 20.

Тел.: (495) 771-32-32

Электронная почта: hse@hse.ru

Сайт: <http://www.hse.ru>

Руководитель

департамента анализа данных и искусственного интеллекта факультета компьютерных наук

доктор физико-математических наук,
профессор



Кузнецов Сергей Олегович

Подпись заверяю



СПЕЦИАЛИСТ
ПРОВЕДУ АДМИНИСТРИРОВАНИЮ
ПЕРСОНАЛА
