

ОТЗЫВ

официального оппонента д.ф.-м.н. С.Д. Двоенко
на диссертацию Прокофьева Петра Александровича
«Корректное распознавание по прецедентам: построение логических корректоров
общего вида и вычислительные аспекты»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 05.13.17 - «Теоретические основы информатики»

Актуальность. В диссертации рассматривается проблема обучения распознаванию образов с учителем, которая является центральной в современной области машинного обучения (machine learning) и на практике возникает во многих сферах человеческой деятельности (медицинская диагностика, биометрия, геологическое прогнозирование, биохимический анализ и т.д.).

Для решения указанных задач широко применяется класс алгоритмов, основанных на поиске логических закономерностей в данных. Суть этих алгоритмов заключается в построении семейств логических правил, позволяющих по признаковому описанию предъявленного к распознаванию объекта определить путем голосования, можно ли этот объект отнести к тому или иному классу.

Основные результаты диссертации П.А. Прокофьева получены в рамках известного алгебро-логического подхода, идея которого была предложена ранее в работе Е.В. Дюковой, Ю.И. Журавлева и К.В. Рудакова (1996 г.) и успешно апробирована в работе Е.В. Дюковой, Ю.И. Журавлева и Р.М. Сотнезова (2011 г.). В данных работах были построены практические модели логических корректоров – алгоритмы голосования по корректным наборам элементарных классификаторов.

Тем не менее, по-прежнему, остаются открытыми некоторые вопросы, возникающие при обучении логических корректоров, обладающих высокой эффективностью, хорошей обобщающей способностью и устойчивостью к случайным флуктуациям материала обучения.

Известно, что обучение логических корректоров сопряжено с решением сложных дискретных задач, к числу которых относится задача дуализации. Под дуализацией, как правило, понимается задача перечисления конъюнкций, составляющих сокращённую дизъюнктивную нормальную форму монотонной булевой функции, заданной конъюнктивной нормальной формой. Этот случай дуализации на булевом кубе.

На практике хорошо себя зарекомендовали асимптотически оптимальные алгоритмы дуализации, предложенные Е.В. Дюковой (1977 г.) и успешно применяемые для случаев булева куба и произведения антицепей.

Поэтому не вызывает сомнения актуальность данного исследования, в рамках которого развиваются методы алгебро-логического подхода, строятся новые логические корректоры, позволяющие повысить качество распознавания и снизить вычислительные затраты этапа обучения, усовершенствуются конструкции асимптотически оптимальных алгоритмов дуализации для задач большого размера.

Новизна. В диссертации построена новая модель логического корректора общего вида, описанного на языке предикатов.

Для обучения новой модели логического корректора впервые сформулирована и решена новая задача обобщения логического и алгебро-логического синтеза корректных алгоритмов распознавания, имеющая важное методологическое значение в развитии теории распознавания образов.

В диссертации экспериментально проверена новая модель практического логического корректора (POLAR) и показано, что она обладает рядом оптимальных свойств.

В диссертации построены новые варианты асимптотически оптимальных алгоритмов дуализации, в которых существенно снижены вычислительные затраты по времени счета.

Содержание работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Во введении автор обосновывает актуальность темы, новизну полученных результатов и приводит постановки основных задач.

В первой главе выполнен обзор основных подходов к решению задачи корректного распознавания по прецедентам на основе простейших логических алгоритмов классификации. Описан алгоритм голосования по представительным наборам – конъюнкциям, заданным на признаковых описаниях объектов и принимающих истинное значение для прецедентов только одного из классов задачи. Результат работы нескольких конъюнкций, выделяющих объекты более чем одного класса, можно скорректировать, применяя алгебраический подход, развиваемый школой Ю.И. Журавлева. Выполнение такой коррекции необходимо для получения алгоритма, который не ошибается на материале обучения и осуществляется методами алгебро-логического подхода.

В диссертации выполнено обобщение моделей логических корректоров и построена новая модель логического корректора (POLAR). В новом логическом корректоре предложено голосование по конъюнкциям фактически подменить голосованием по произвольным предикатам, заданным на пространстве признаков объектов. Каждый предикат представляет собой композицию набора конъюнкций и корректирующей булевой функции из семейства поляризуемых булевых функций. Поиск таких предикатов сведён к решению задачи дуализации булевой матрицы, выполняемой алгоритмами из главы 3.

Во второй главе решена проблема улучшения характеристик нового логического корректора POLAR с целью его применения в реальных задачах распознавания. В диссертации предложено использовать ряд известных приёмов, позволяющих повысить качество распознавания и скорость обучения логического корректора POLAR. Семейства предикатов формируются методом бустинга, где конъюнкции выбираются из предварительно сформированного множества т.н. информативных конъюнкций. Приведены результаты сравнения качества и скорости работы логического корректора POLAR с другими логическими алгоритмами классификации на прикладных и модельных задачах, взятых из репозитория UCI и др. известных источников.

В третьей главе рассмотрены разработанные ранее (Е.В. Дюкова и др.) асимптотически оптимальные алгоритмы дуализации, отличие которых от точных алгоритмов заключается в допустимости «лишних» шагов, не дающих решения задачи.

В диссертации предложено модифицировать такие алгоритмы с целью их усовершенствования на основе обобщения схем известных асимптотически оптимальных алгоритмов дуализации. Экспериментально обоснована принципиальная возможность снижения вычислительных затрат решения задачи дуализации за счёт оптимизации структуры дерева решений в алгоритмах дуализации.

В диссертации доказана *NP*-полнота задачи построения ветви дерева решений, не соответствующей «лишнему» шагу. Разработаны новые алгоритмы с различными стратегиями оптимизации дерева решений, среди которых наилучшие результа-

ты обеспечиваются применением «жадной» (greedy) стратегии в алгоритме RUNC-M. Приведены результаты сравнения новых и известных отечественных алгоритмов дуализации с алгоритмами MMCS и RS зарубежных авторов (Murakami, Uno), занимавших лидирующие позиции по скорости счёта до появления результатов данной диссертации.

Замечания. Имеются следующие замечания.

1. В диссертации рассмотрены задачи распознавания исключительно с целочисленными признаками. Очевидно, что на практике это далеко не так, даже если рассматриваются, например, дискретные уровни яркости пикселей изображений или значений громкости речевых сигналов.

Дискретизация значений произвольных признаков является стандартным приемом при применении логических алгоритмов распознавания. При таком подходе логические корректоры, построенные в диссертации, фактически пренебрегают информацией о порядке, похожести, соседстве и т.д., возникающей естественным образом на множествах значений произвольных признаков.

Таким образом, фактически происходит понижение мощности исходной шкалы измерений (обычно это шкала отношений) до номинальной, что, как следует ожидать, во многих случаях радикально сузит область применимости предложенных классификаторов.

2. Известно, что поиск корректных наборов элементарных классификаторов сводится к поиску неприводимых покрытий матрицы сравнения – булевой матрицы, построенной по обучающим объектам. Поэтому алгоритмы дуализации, реализованные в главе 3, являются инструментом для обучения логических корректоров, предложенных в главах 1 и 2.

Тем не менее, в диссертации не показано, насколько эффективно работают новые алгоритмы дуализации именно на матрицах сравнения из прикладных задач распознавания. По-видимому, было бы крайне полезно иметь результаты такого исследования, особенно при сравнении с зарубежными алгоритмами MMCS и RS.

3. Известно, что обучение подавляющего большинства алгоритмов распознавания сопряжено с решением сложных оптимизационных задач. Такой задачей является и задача обучения логических корректоров, построенных в диссертации.

В диссертации рассмотрена задача поиска оптимального в некотором смысле покрытия булевой матрицы, специфика которой определяется принадлежностью к классу задач обучения распознаванию, и показано, что она относится к классу экспоненциальных задач по времени исполнения.

При этом в диссертации лишь показано, что при ее решении на каждой итерации бустинг-алгоритма, применяя метод ветвей и границ в алгоритмах дуализации (глава 3), можно обеспечить полиномиальную сложность шага. Очевидно, что в этих условиях, учитывая экспоненциальную зависимость числа покрытий булевой матрицы от ее размеров, нельзя гарантировать эффективность обучения логических корректоров даже при обосновании конечного числа итераций бустинг-алгоритма.

По-видимому, следовало бы пояснить, к каким практическим ограничениям в работе предложенных алгоритмов это приводит.

Принципиальных и других замечаний по содержанию работы, стилю и изложению материала нет.

Все указанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Заключение. Диссертационная работа П.А. Прокофьева содержит решение актуальных задач, связанных с разработкой новых дискретных алгоритмов распознавания, алгоритмов дуализации и обоснованием оценок их вычислительной сложности, что соответствует паспорту специальности 05.13.17.

Основные результаты диссертации обладают научной новизной, имеют важное теоретическое и практическое значение. Они полностью опубликованы в 15 работах, в том числе в 5 статьях из списка изданий, рекомендованных ВАК, докладывались на международных и всероссийских конференциях. Автореферат адекватно отражает содержание диссертации.

Представленная диссертация является научной квалификационной работой, основные результаты которой можно рассматривать как решение актуальных задач в области теории распознавания образов, теории алгоритмов и интеллектуального анализа данных.

Диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор, Петр Александрович Прокофьев, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.17 – «Теоретические основы информатики».

Официальный оппонент,
профессор, д.ф.-м.н., доцент

С.Д. Двоенко

Адрес: 300012, Тула, пр. Ленина, 92, ТулГУ.
Тел.: 8 4872 25 79 40
e-mail: dsd@tsu.tula.ru

