

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук Дорофеюка Александра Александровича на диссертацию Абрамова Вадима Игоревича «Метод опорных объектов для обучения распознаванию образов в произвольных метрических пространствах», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.17 – «Теоретические основы информатики».

В диссертации В.И.Абрамова рассмотрена одна из весьма **актуальных задач** теории машинного обучения, связанная с использованием широко известного метода опорных векторов для обучения распознаванию образов (рассматривается случай двух классов). Популярность этого метода в основном связана с тем, что соответствующее решающее правило распознавания не требует представления объектов элементами (векторами) пространства признаков, для этого достаточно определить на множестве объектов двухместную функцию специального вида (так называемое ядерное представление).

В диссертационной работе показано, что существует континуум ядер, основу которых определяет единственная метрика на множестве исследуемых объектов. Исходя из этого, автор формулирует метод опорных векторов так, чтобы на исходной обучающей выборке можно было использовать только метрику специального вида, названную в работе пред-евклидовой.

Однако, в некоторых прикладных задачах функции несходства являются не пред-евклидовыми метриками, а метриками общего вида. Для таких ситуаций в работе предлагается погружать исходное метрическое пространство в линейное пространство с так называемым индефинитным скалярным произведением (псевдоевклидово пространство).

Более того, бывают ещё более сложные случаи, когда гипотеза компактности для обучающей выборки не выполняется (выборка не является линейно разделимой). Тогда приходится использовать невыпуклую целевую функцию, и задача сводится к задаче квадратичного программирования с невыпуклой квадратичной формой. Поскольку решение подобных задач «в лоб» очень трудоёмко и малоэффективно, то в диссертации предлагается либо вводить штрафную функцию, ограничивающую поиск решающего правила только среди множества допусти-

мых, либо воспользоваться параметрическим семейством преобразований исходной метрики. Это, в зависимости от выбранного параметра, либо сводит задачу к аналогу метода потенциальных функций (аналог перехода в спрямляющее пространство), либо оставляет исходную метрику неизменной.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, приложения и списка литературы.

Во введении приводятся сведения о научной новизне, актуальности, проблемных ситуациях, возникающих в процессе решения задач распознавания образов, и пути их решения.

В первой главе диссертации даётся краткая характеристика известных из литературы способов реализации гипотезы компактности при построении методов обучения распознаванию образов. Приводится достаточно популярный, как в теоретических исследованиях, так и при решении прикладных задач обучения распознаванию образов, классический метод опорных векторов (два класса объектов заданных в пространстве значений измеряемых признаков). Затем рассмотрен другой, так называемый «беспризнаковый подход», когда для построения решающего правила используются значения некоторой, заранее выбранной функции парного сравнения произвольного объекта со всеми объектами обучающей выборки (в работе, правда не совсем удачно, это называется «вектором вторичных признаков объекта»), а потом применяется обычный метод опорных векторов. Однако использование такой схемы требует вычисления и хранения в памяти значений «вторичных признаков» для всех объектов обучающей выборки, т.е. теряется характерное для метода опорных векторов преимущество запоминать только информацию для опорных объектов обучающей выборки. Для устранения этого недостатка автор предлагает использовать введённую ранее пред-евклидову метрику.

Во второй главе описывается погружение метрического пространства с произвольной метрикой в псевдоевклидово линейное пространство. Это позволяет охватить значительно более широкий круг прикладных задач, чем при использовании пред-евклидовой метрики.

Автор строит на основе исходной метрики функцию общности, которую принято называть индефинитным скалярным произведением, а упомянутое линейное пространство – псевдоевклидовым. Для такого пространства вводятся аффинные операции, что позволяет сформулировать задачу обучения распознаванию образов на множестве объектов, представленных только через отношения произвольной метрики.

В третьей главе на основе результатов, полученных во второй главе, строится дискриминантное решающее правило для критерия качества классификации, использующего основную идею метода опорных векторов. Но здесь автор сталкивается с описанной выше проблемой, что метрика иногда не удовлетворяет принципу компактности и корректного линейного разделения найти не удаётся. Для решения этой проблемы использует метод штрафных функций и параметрические семейства преобразований исходной метрики.

В четвертой главе на данных 800 реализаций динамических подписей из базы данных SVC 2004 (40 человек по 20 подписей) проводилось компьютерное моделирование разработанных в диссертации методов. Полученные в этой главе результаты, подтверждают эффективность схемы использования пред-евклидовой метрики, а для случаев, где метрика таковой не является, – схемы погружения в псевдоевклидово пространство. Только объём используемых данных не позволяет получить статистически значимые оценки параметров эффективности предложенных методов.

В заключении перечислены основные результаты, полученные в диссертации.

Оценивая **научную новизну**, необходимо отметить следующие новые результаты, полученные в диссертации:

- впервые сформулирована задача обучения распознаванию образов по методу опорных векторов для объектов, являющихся точками некоторого метрического пространства;

- разработан математический аппарат погружения конечного метрического пространства с произвольной метрикой в псевдоевклидово линейное пространство, в котором предложено параметрическое семейство решающих правил для задачи обучения распознаванию объектов двух классов;

- разработан критерий качества решения задачи обучения дихотомии в произвольном метрическом пространстве как обобщение метода опорных векторов в классической постановке;

- разработаны численные методы и алгоритмы решения задачи обучения дихотомии в произвольном метрическом пространстве.

Достоверность и обоснованность полученных результатов. Достоверность теоретических результатов гарантирована строгим доказательством соответствующих математических утверждений, как правило, формулируемых в виде теорем. Адекватность предложенных моделей и работоспособность алгоритмов проверена при анализе экспериментальных данных.

Обоснование научных положений, выводов и рекомендаций базируется на общих принципах: теории метрических пространств, аналитической геометрии и линейной алгебры, методов выпуклой и невыпуклой оптимизации, а также метода опорных векторов.

Практическая значимость полученных в диссертации результатов очевидна для таких классов прикладных задач, где исходными данными являются значения некоторой содержательно обоснованной функции близости между объектами. К таким задачам, например, относятся некоторые задачи классификации биомедицинских данных, компьютерного анализа речевых сигналов, распознавания динамических подписей и целый ряд локальных задач распознавания изображений.

По диссертации имеются следующие замечания:

1. Недостатком работы является слишком краткий обзор существующих методов распознавания образов, базирующихся на измерении близости («несходства» в терминологии автора) объектов в некотором метрическом пространстве. Это затрудняет оценку научной новизны и оригинальности предложенных в диссертации методов.

2. Идея погружения метрического пространства исследуемых объектов в некоторое линейное пространство достаточно близка к идее известной методологии многомерного шкалирования. Однако в диссертации нет сравнения предложенного подхода с методами многомерного шкалирования.

3. Экспериментальная база компьютерного моделирования и оценки эффективности предложенных в диссертации методов недостаточна для получения статистически надёжных оценок такого рода, – она ограничивается верификацией динамических подписей 40 лиц (по 10 подписей каждого из них для 2 классов – «настоящие» подписи и «подделки»). Желательно провести исследование на более представительной экспериментальной базе.

4. В диссертации крайне скупо описана та часть экспериментальных исследований, которая связана с выбором параметра преобразования метрики, хотя этот момент является столь же важным, как и выбор параметра потенциальной функции для классических методов распознавания.

5. Диссертация и автореферат изобилуют опечатками, стилистическими погрешностями, неточностями в библиографических ссылках, неудачными терминологическими новациями и пр. (стр. 54 и стр. 17 а/р – «масштаб *приятной* метрики», стр. 20 а/р – «Разработан *математического аппарата* ... Разработан *критерия обучения*» и др., ссылка 19 в а/р – нет года издания, «наивная двойственная задача», «злостная невыпуклость», «вектор вторичных признаков объекта», «узлы дискриминантного диполя» и др.). Правда, большинство из них скорее забавляют читателя, чем затрудняют понимание текста. Наверное, единственное исключение – это опечатка на стр. 25, где индикаторная функция обозначается через $\hat{g}(\omega)$, в то время, как в других частях работы используется обозначение $y(\omega)$, – эта опечатка затрудняет понимание соответствующего раздела текста.

Эти замечания не влияют на общее положительное отношение к работе, не снижают теоретической и практической её значимости.

Основные результаты, полученные в диссертации, являются оригинальными, они достаточно полно отражены в автореферате, основных публикациях соискателя (4 печатных работы, в т.ч. 2 публикаций – в рецензируемых изданиях), докладах автора на научно-практических конференциях и семинарах.

Материал диссертации и автореферата изложен логично и достаточно ясно, формальные утверждения снабжены корректным обоснованием.

Заключительная оценка.

В работе проведено законченное самостоятельное научное исследование на актуальную тему, выполненное на высоком научном уровне и направленное на решение важной научной задачи – разработка методологии опорных объектов для обучения распознаванию образов в произвольных метрических пространствах.

Содержание работы соответствует специальности 05.13.17 «Теоретические основы информатики».

Диссертация «Метод опорных объектов для обучения распознаванию образов в произвольных метрических пространствах» соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней» (в редакции постановления Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842), предъявляемым к кандидатским диссертациям по физико-математическим наукам, а её автор, Абрамов Вадим Игоревич, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.17 «Теоретические основы информатики».

Официальный оппонент

зав. лабораторией ИПУ РАН

доктор технических наук, профессор

02 декабря 2014 г.



А.А. Дорофееук

