

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Ирхина Ильи Александровича
«Единственность матричного разложения и сходимость
регуляризованных алгоритмов в вероятностном тематическом
моделировании», представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.17 –
«Теоретические основы информатики»

Актуальность проведенного исследования. В диссертационной работе И.А. Ирхина исследованы новые актуальные задачи теории аддитивной регуляризации тематических моделей (ARTM).

Тематическое моделирование является одним из современных методов анализа текстов, оно связано с обработкой естественного языка и активно развивается в последние годы. Рост количества текстовых данных, наблюдаемый сегодня, требует использования для анализа текстов автоматизированных методов. Тематические модели позволяют выявить тематику коллекций текстовых документов и определить, к каким темам относится каждый документ, а также выделить слова, характеризующие каждую тему. В вероятностных тематических моделях коллекция текстовых документов рассматривается как набор терминов, выбранных случайно из множества распределений терминов, образующих темы. Основная решаемая задача сводится к низко ранговому стохастическому матричному разложению и в общем случае некорректна по Адамару. Для регуляризации задачи в рамках теории ARTM в качестве дополнительных составляющих модели используется взвешенная сумма оптимизационных критериев (называемых регуляризаторами). В результате такой регуляризации теоретически обеспечиваются единственность и устойчивость искомого решения. Однако в рамках подхода ARTM свойства единственности и устойчивости решения были изучены слабо. Настоящее диссертационное исследование внесло существенный вклад в изучение названных вопросов.

Основными целями диссертации были исследование свойств алгоритма ARTM, поиск возможных улучшений этого алгоритма и проведение экспериментов на текстовых коллекциях, сформированных из открытых

публичных данных. Все названные цели достигнуты: получены достаточные условия сходимости алгоритма аддитивной регуляризации тематических моделей и достаточные условия единственности стохастического матричного разложения в точке сходимости этого алгоритма; эти условия проверены на реальных текстовых коллекциях; предложены модификации исходного алгоритма, улучшающие сходимость и повышающие значения метрик качества тематических моделей.

Таким образом, проведенное диссертационное исследование актуально для развития методологии анализа текстов на основе подхода ARTM и не только содержит теоретическое обоснование корректности используемого метода, но и существенную его модификацию, улучшающую значения основных метрик качества тематических моделей и апробированную практически.

Кратко опишем структуру и содержание диссертации.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, общий ее объем – 105 страниц. Библиография содержит 76 наименований.

В первой главе представлена постановка задачи тематического моделирования, в рамках подхода аддитивной регуляризации тематических моделей сформулирована соответствующая оптимизационная задача и приведено её решение с помощью EM-подобного алгоритма.

Сходимость этого алгоритма доказана **во второй главе**. Сформулированы условия, которым должен удовлетворять регуляризатор и при выполнении которых алгоритм будет сходиться. Далее предложена модификация M-шага алгоритма, основанная на анализе изменений значений регуляризатора на итерациях. Экспериментально доказано, что использование такой модификации будет приводить к увеличению значения оптимизируемого функционала в точке сходимости алгоритма. В заключительной части главы результат о сходимости итерационного алгоритма обобщён на случай произвольной функции потерь.

В третьей главе рассмотрена проблема единственности стохастического матричного разложения в точке сходимости алгоритма. Представлена геометрическая интерпретация стохастического матричного разложения, известная ранее. На основе этой интерпретации доказана тео-

рема о достаточных условиях единственности стохастического матричного разложения. Выполнение этих условий проверено экспериментально.

В четвёртой главе предложен новый способ разреживания тематических моделей. Проведена оценка изменения значений максимизируемого функционала при привинивании к нулю элементов матриц, содержащих параметры тематических моделей. Эта оценка использована далее в качестве критерия, по которому нужно производить разреживание тематической модели. В сравнении с регуляризатором разреживания показано, что предложенный способ позволяет получить более высокие значения показателя правдоподобия модели при том же уровне разреженности.

В пятой главе исследована оптимизационная задача тематического моделирования при использовании дополнительной функциональной зависимости между матрицами параметров тематической модели. Сформулирован новый оптимизационный алгоритм и доказана его сходимость. Показана его совместимость с подходом аддитивной регуляризации тематических моделей. В экспериментах продемонстрировано увеличение значений метрик качества тематических моделей, построенных с помощью нового способа, по сравнению с другими методами.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Основными результатами диссертации, по моему мнению, являются следующие:

1. Получены и обоснованы достаточные условия сходимости алгоритма аддитивной регуляризации тематических моделей. Возможность практического использования этих условий проверена в экспериментах, проведенных на текстовых коллекциях свободного доступа.
2. Доказана теорема о достаточных условиях единственности стохастического матричного разложения. Возможность практического использования этих условий также проверена в экспериментах на текстовых коллекциях свободного доступа.
3. Разработана модификация алгоритма ARTM, ускоряющая сходимость итерационного процесса и увеличивающая значение оптимизируемого функционала в точке сходимости.

4. Предложен и реализован метод разреживания тематических моделей, не ухудшающий значения метрик качества модели.

Научная новизна результатов диссертации состоит в следующем:

- впервые получены достаточные условия сходимости алгоритма аддитивной регуляризации тематических моделей;
- представлен новый способ интерпретации EM-подобного алгоритма аддитивной регуляризации тематических моделей как GEM-алгоритма; на основе этой интерпретации получен новый результат о сходимости рассматриваемого алгоритма;
- разработан новый подход к стохастическому матричному разложению в тематическом моделировании, когда одна из матриц находится в функциональной зависимости от другой;
- получены новые достаточные условия единственности стохастического матричного разложения, которые применены в задаче тематического моделирования;
- предложены модификации алгоритма аддитивной регуляризации тематических моделей, являющиеся новыми теоретически обоснованными подходами к улучшению данного алгоритма;
- обсуждены причины неединственности решения в задачах тематического моделирования.

Теоретическая значимость исследования, проведенного в диссертации, заключается в том, что полученные результаты вносят вклад в развитие теории аддитивной регуляризации тематических моделей. В частности, в диссертации впервые разработан и реализован подход с интерпретацией ARTM как GEM-алгоритма, что позволило получить достаточные условия сходимости этого алгоритма.

Достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы подтверждаются строгими доказательствами приведенных математических утверждений. Основные теоремы, доказанные автором, содержат в основном математические выкладки, которые проверены мной и сомнений не вызывают.

Практическая значимость результатов диссертации: разработанные подходы, модели и алгоритмы применены для создания программного обеспечения реализации ряда алгоритмов ARTM, которые реализо-

ваны в библиотеке TopicNet с открытым кодом. Модификации EM-алгоритма ARTM, полученные на основе теоретических результатов, значительно увеличивают значения основных метрик качества тематических моделей, что существенно для их практического применения.

Можно отметить следующие **недостатки и замечания по диссертации**.

Замечания по содержанию:

1. Не ясно, кому принадлежит Теорема 1 на стр. 13. Здесь нет ни ссылок, ни доказательства. В ней используется операция нормировки – нужно было сначала ее определить, а потом использовать, а не наоборот. Сказанное относится и к Теореме 2.
2. Со стр. 34 в тексте диссертации появились Утверждения. Совершенно не ясно, чем они отличаются от теорем и лемм. Судя по тексту, Утверждения в диссертации – это леммы (т. е. вспомогательные факты, используемые при доказательстве основных теорем). Именно так Утверждение 3 на с. 42 и названо леммой. А сразу после него идет лемма 1.
3. На с. 48 в п 3.1.1 введены без ссылок и как собственные известные определения (определения 7–15). Далее Определения 16 и 17 по сути определениями не являются – в них введены обозначения, которые используются далее. Вообще в тексте очень часто используются как собственные известные понятия, чужие постановки задач и определения без ссылок (быстрый E-шаг (с. 16); задачи, упомянутые в Заключение к главе 1, поставлены другими, а не диссертантом; определения разных регуляризаторов на сс. 25, 26; Теорема 5 на с. 23 – откуда, чья, нет ни ссылок, ни доказательства, и т.д.).
4. В Определении 13 (с. 51) определен паттерн разреженности вектора как множество тех индексов, которые соответствуют нулевым координатам этого вектора. И следом в качестве иллюстрации этого определения приведен тривиальный пример с абсолютно ошибочным результатом построения такого паттерна (утверждается, что паттерн разреженности вектора $(4,0,0,2,0)$ есть $\{1,2,4\}$). Трудно объяснить, даже при большом желании, как такое могло получиться.

5. Экспериментальная часть (в частности, раздел 5.3) описана не так тщательно, как теоретическая часть работы:

- не приведены данные по текстовым коллекциям (число документов, их размер);
- отсутствует оценка качества тем, построенных человеком-ассессором;
- согласно заключению главы 5, экспериментально показано улучшение качества тем, в том числе, их когерентность, однако в диссертации не приведено используемое определение когерентности;
- продемонстрировано повышение уникальности тем, однако нет никакого обсуждения, свидетельствует ли вообще повышение уникальности тем о повышении их качества; вероятно, текстовые коллекции не должны содержать совершенно различные темы, они должны в определенной степени пересекаться, и повышение уникальности — отрицательная характеристика модели; здесь, мне кажется, нужны ссылки на публикации по этому вопросу.

6. Недостатками являются: весьма скромная апробация результатов на конференциях (только 1 раз в 2016 г., очевидно, только предварительные результаты, основные результаты не апробировались на конференциях; перечислены какие-то семинары без указания, где они функционируют); скромное число публикаций (всего три, в разделе «Личный вклад» упомянуто 4, но работа [40] не содержит основные результаты диссертации, возможно, о ней вообще можно было не говорить; нет публикаций в зарубежных изданиях).

Отмеченные недостатки по содержанию работы не влияют на общую положительную оценку диссертации, которая выполнена на хорошем научном уровне и содержит значимые научные результаты.

Замечания по оформлению:

Диссертация и автореферат содержат очень много грамматических и стилистических погрешностей (расстановка запятых, пропуски слов и букв, согласование падежей и др.). Диссертацию очень трудно читать —

авторский текст настолько оригинален, что в некоторых частях понять содержание написанного не представляется возможным в принципе. Приведу лишь несколько таких примеров (в авторском исполнении):

- «На E-шаге необходимо оценить распределение на скрытых переменных при условии параметров и наблюдаемых величин» (с. 23);
- «Геометрически она означает насколько не плоским является многогранный угол при вершине темы t в многограннике, натянутом на вектора тем Φt » (с. 59);
- «Регуляризаторы разреживания зануляют являются неограниченными сверху способствует выделению фоновых тем с общей лексикой языка» (с. 31).

Диссертант ввел много новых понятий, смысл которых понять можно, но которые вряд ли войдут в математику: «словопозиция слова», «расширенная вероятность» (с. 23); «математическое ожидание проносятся внутрь суммы» (с. 24); «частичная сумма ряда не уходит в бесконечность» (с. 30), «полное отделение слов темы» (с. 59), «теоретические гарантии» (многократно), «значение функционала дооптимизируется» (с. 31) и др. В формулах используются разные обозначения логарифмической функции – то \log , то \ln .

Библиография в диссертации оформлена не по единому стандарту, иногда с пропуском годов издания соответствующих цитируемых источников; некоторые записи не содержат необходимый полный объем информации. Отмечу, что практически во всех приведенных источниках указан doi. При его использовании сразу попадаем на оригинал первоисточника, где, как правило, указано рекомендуемое к использованию правильное библиографическое описание соответствующих статьи или материалов конференций. К сожалению, эти описания существенно отличаются от тех, которые приведены в диссертации, причем отличия являются значительными.

Приведенные замечания по оформлению текста (а также большое количество других замечаний, имеющих в этом же направлении), к сожалению, значительно снижают впечатление от диссертации. Вместе с тем, она содержит высокоуровневые математические результаты и по-

этому несомненно заслуживает поддержки, а замечания по стилю изложения и терминологии, уверен, будут учтены диссертантом в дальнейшей работе.

Таким образом, в целом считаю, что результаты, полученные автором, обладают новизной, достоверны, обоснованы, практически значимы и отражены в опубликованных работах. Они доложены и обсуждены на ряде семинаров и получили одобрение. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Диссертационная работа И.А. Ирхина отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики, а ее автор, Илья Александрович Ирхин, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.17.

Официальный оппонент, профессор Подпись А.М. Елизаров удостоверяю кафедры «Программная инженерия»

Института информационных технологий и интеллектуальных систем Казанского (Приволжского) федерального университета, доктор физико-математических наук (01.02.05 – Механика жидкости и газа), профессор, Заслуженный деятель науки Республики Татарстан

Александр Михайлович Елизаров

«8» декабря 2020 г.

Казанский (Приволжский) федеральный университет, 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 35.

Тел. 8-9376151553,

e-mail: amelizarov@gmail.com

«8» декабря 2020 г.

