

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Петрова Сергея Владимировича
на тему: «Эффективные методы приближения
матриц и тензоров в условиях неполных и зашумленных данных»
по специальности 1.1.6. «Вычислительная математика»

Актуальность диссертационной работы. Структуры малого ранга встречаются повсеместно в научных и статистических приложениях, связанных с вычислительной математикой, динамикой жидкостей, машинным обучением, социальными сетями, рекомендательными системами, медицинскими исследованиями, и многими другими. Использование таких структур позволяет проводить нетривиальный анализ данных: например, фильтрацию шума, восстановление информации, оценку параметров процессов. Работа Петрова С. В. посвящена теоретическому и практическому анализу алгоритмов подобного анализа данных, допускающих приближения малого ранга, в том числе многомерных. Многомерные структуры малого ранга могут возникать как естественным образом в физических моделях, связанных, например, с обработкой сигналов беспроводной связи, так и искусственно: путем введения виртуальных дополнительных размерностей. Автор демонстрирует, что эффективность обработки данных, в частности очистки данных от шума, растет с ростом размерности тензора. Таким образом, исследования, представленные Петровым С. В. в своей диссертации имеют большую актуальность.

Новизна результатов диссертационной работы. В диссертации впервые получен теоретический результат об устойчивости тензорных приближений к шуму; выведена оценка численной характеристики такой устойчивости, быстро убывающая с ростом размерности. При этом

оптимальность тензорного приближения не подразумевается. Вместо этого вводится условие «приближения», часто выполняющееся для практических алгоритмов построения тензорных приближений, таких как метод попеременных проекций.

Кроме того, автором предложен расширенный набор алгоритмов анализа данных, имеющих матричную структуру малого ранга. В частности, изучена и теоретически обоснована возможность ускорения процедур восстановления неполных данных, а также предложен алгоритм фильтрации разреженных ошибок в матрице малого ранга, позиции которых неизвестны. Для всех предложенных алгоритмов проведен широкий набор численных экспериментов на искусственных данных.

Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы. Достоверность результатов работы следует из строгости математических рассуждений и надёжности использованных численных методов. Выводы аналитического и численного исследований подтверждают друг друга. Результаты опубликованы в 3 публикациях, индексируемых WoS и RSCI, и доложены на российских и международных конференциях.

Краткое содержание диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и заключения.

Первые две главы посвящены алгоритмам анализа данных, представимых в виде матриц малого ранга. Основным фокусом исследования в этих главах является метод проекции градиента, позволяющий восполнять все элементы матрицы малого ранга по небольшой их части. Первая глава при этом посвящена понижению вычислительной сложности такого метода путем использования быстро вычисляемых неточных проекций; во второй главе предложены модификации метода, позволяющие использовать его при наличии разреженных ошибок во входных данных. Результатом обеих глав является утверждение о сохранении геометрической сходимости метода

проекции градиента при предложенных модификациях, а также численные эксперименты, согласующиеся с таким утверждением.

В последующих главах автор переходит к рассмотрению тензорных приближений большей размерности. Аппарат возмущений малоранговых приближений, широко известный для матриц, ранее не исследован для случая тензоров малого ранга, и в третьей главе автор проводит свое исследование таких возмущений. В частности, вводятся условия на приближение, не требующие его оптимальности, при котором выполняется построение оценки возмущений тензорных приближений в условиях зашумленных входных данных.

В четвертой главе предлагается обобщение рассмотренного ранее для матриц метода проекции градиента на модель Таккера, а также рассмотрена возможность построения алгоритмов аппроксимации по модели Таккера низкой сложности на основе алгоритмов восполнения общего вида.

В пятой главе рассмотрены практические приложения построенной в работе теории и алгоритмов. При этом разработанные матричные методы применяются к сжатию матрицы дискретизации дифференциального уравнения, описывающего электромагнитные процессы, а разработанные тензорные методы — к задачам из области автомобильных радаров и обработки сигналов беспроводной связи. Для всех приложений приведено детальное описание численных результатов.

Критические замечания по диссертационной работе. Текст диссертационной работы написан понятным языком и ясно передает рассуждения автора. Автореферат соответствует содержанию диссертации. Ниже представлены обнаруженные недочеты и спорные моменты.

- Было бы удобно приводить расшифровку методов не в конце в Списке сокращений и условных обозначений, а по ходу диссертации;
- Матожидание -> математическое ожидание;
- Иногда автор использует слишком длинные предложения, включающие в себя серию оборотов;

- Стр. 77: возмущение является случайным и поэлементно гауссово распределено -> элементы имеют гауссовское распределение или вектор возмущения имеет гауссовское распределение;
- Стр. 77: связывабт -> связывают;
- Стр.79: величина ___ может быть значительно ниже ___. Думаю, что автор хотел сказать значительно меньше;
- Стр. 80: оценки, представляющие новизну -> получены новые оценки.
- Стр. 89: Пропущены индексы суммирования в формуле (3.14). непонятно почему после применения неравенства Коши-Буняковского (?) второе слагаемое не возводится в квадрат;
- Хотелось бы в разделе 3.3 более аккуратно сформулировать все результаты в виде теорем. Дело в том, что при переходе к квадратам соответствующих величин суб-гауссовские статистики становятся суб-экспоненциальными с другим поведением хвостов. Например, в каком смысле понимается результат 3.15? Аналогичные замечания касаются формата Таккера или тензорного поезда.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.1.6. «Вычислительная математика» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Петров Сергей Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.6. «Вычислительная математика».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,

доцент кафедры прикладных технологий моделирования сложных систем

ФГБОУ ВО «Высшая школа экономика»

НАУМОВ Алексей Александрович

подпись

30.11.2023

Контактные данные:

тел.: +7 (495) 7729590, 27358

Специальность, по которой официальным оппонентом

защищена диссертация:

1.2.1 – искусственный интеллект и машинное обучение

Адрес места работы:

109028, Россия, г. Москва, Покровский бульвар, д.11

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования «Высшая школа экономики»

Кафедра прикладных технологий моделирования сложных систем

Тел.: 8 (495) 531-00-00, 27267

Подпись сотрудника Федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования «Высшая школа
экономики» Наумова А.А. удостоверяю:

руководитель/кадровый работник

30. 11. 2023 / _____

дата



*специалист по персоналу
Неудачин П.Е.*