

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной и инновационной
деятельности Национального исследовательского
Томского государственного университета,
доктор физико-математических наук, профессор



Ворожцов Александр Борисович

«28» июля 2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Исаевой Елены Валерьевны
«Восстановление функции плотности и оценивание параметров
регрессионных зависимостей на основе вейвлет-анализа»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.13.17 – «Теоретические основы информатики»

На отзыв представлены: диссертация на 165 страницах машинописного текста, включая 41 рисунок и 27 таблиц; автореферат диссертации на 20 страницах, включая список из 10 публикаций автора по теме диссертации, в том числе 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК.

Актуальность темы выполненной работы. Регрессионный анализ является одним из основных инструментов прикладного статистического анализа, который нашел широкое применение в различных сферах, таких как экономическая, социальная, медицинская, сельскохозяйственная и др. Классические алгоритмы восстановления регрессионных зависимостей позволяют получать достаточно корректные и качественные результаты только при условии, что имеются достоверные предположения о свойствах случайной компоненты. Одним из таких способов определения неизвестных оценок является метод максимального правдоподобия. Одним из априорных предположений данного метода является фиксация закона распределения случайных ошибок наблюдений. Предположение о нормальности распределения ошибок наблюдений позволяет применить метод наименьших квадратов и тем самым упростить поиск оценок. На практике в большинстве случаев распределение случайной ошибки нельзя считать нормальным. Отклонение распределения случайной ошибки от нормального приводит, как правило, к ухудшению качества оценивания неизвестных параметров.

В качестве основного инструмента в диссертационной работе Е.В. Исаевой используется технология адаптивного оценивания неизвестных параметров, позволяющая достаточно гибко подстраиваться к изменяющимся

условиям эксперимента. Это достигается за счет извлечения информации о распределении случайной компоненты из имеющихся данных с использованием преобразования Фурье или вейвлет-анализа. В связи с этим, автором проведены исследования качества восстановления функции плотности с использованием Фурье-анализа и целого ряда материнских вейвлетов, таких как LITTLEWOOD&PALEY, Морле, DOG, «Мексиканская шляпа». Поэтому актуальность темы диссертационной работы Исаевой Е.В. и ее практическая значимость не вызывают сомнений.

Структура и содержание диссертационной работы. Диссертация Исаевой Е.В. состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и четырех приложений.

Во *введении* обосновывается актуальность темы, формулируются цели, задачи исследования, практическая значимость полученных результатов, результаты, выносимые на защиту, дается краткое содержание работы по главам.

В *первой главе* рассматриваются базовые понятия Фурье-анализа, а также основы вейвлет-анализа, практические аспекты их применения при решении задач, связанных с обработкой экспериментальных данных. Проанализированы наиболее известные подходы для восстановления регрессионных зависимостей. Кроме того, представлен обзор существующих программных средств, применимых для восстановления функции плотности распределения и для оценивания параметров регрессионных зависимостей.

Вторая глава посвящена построению оценок функции плотности распределения с помощью тригонометрического базиса или базиса на основе различных материнских вейвлетов. Для получения системы базисных функций был доказан ряд утверждений, на основе которых были вычислены нормы материнских вейвлетов. Сформулированы и доказаны 2 утверждения для неортогональных вейвлетов DOG и «Мексиканская шляпа», позволяющие нивелировать отсутствие ортогональности базисных функций. С помощью технологии статистического моделирования было выполнено исследование качества восстановления функции плотности. Кроме того, проведен сравнительный анализ вейвлет-оценок плотности распределения и оценок на основе преобразования Фурье.

В *третьей главе* предложены итерационные алгоритмы оценивания параметров регрессионных моделей на основе преобразования Фурье и вейвлет-анализа. Представлены логарифмические функции правдоподобия, полученные на основе преобразования Фурье и ортогональных вейвлетов, таких как вейвлет LITTLEWOOD&PALEY и вейвлет Морле, а также неортогональных вейвлетов, таких как вейвлеты DOG и «Мексиканская

шляпа» и их производные. С помощью вычислительных экспериментов проведено исследование предложенных алгоритмов на основе преобразования Фурье и различных материнских вейвлетов для оценивания неизвестных параметров регрессионной зависимости

В *четвертой главе* рассматривается разработанный программный комплекс для оценивания параметров регрессионных моделей и восстановления функции плотности WTiRM V1.0. Приводятся минимальные системные требования, функциональное назначение, логическая структура, технические характеристики. Описываются основные методы, алгоритмическое наполнение, принципы работы с входными и выходными данными.

В *пятой главе* с использованием разработанного инструментария решается задача построения регрессионной модели, адекватно описывающая температурные изменения и позволяющая прогнозировать температурные состояния грунтов.

В *заключении* диссертационной работы приведены выводы и сформулированы основные результаты. Список литературы содержит 107 наименований.

В *приложении* приведен интерфейс программного комплекса. (см. приложение А) Вынесены фактические данные температурного мониторинга состояния грунтов (приложение Б). Представлено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ (приложение В) и акты внедрения результатов научных исследований (приложение Г).

Научная новизна работы. Новизна результатов диссертационной работы Исаевой Е.В. заключается в следующем:

1) сформулированы и доказаны утверждения, которые позволяют построить системы базисных функций и использовать их для восстановления функции плотности распределения;

2) предложены алгоритмы на основе ортогональных и неортогональных вейвлетов и преобразования Фурье, позволяющие повысить качество восстановления функции плотности;

3) разработаны алгоритмы, которые повышают точность оценивания параметров линейно-параметризованных регрессионных моделей, где оценка функции плотности случайной компоненты получена с использованием вейвлет-анализа и преобразования Фурье; также получены выражения для логарифмической функции правдоподобия и ее производных.

Достоверность основных научных положений, выводов и рекомендаций. В работе используются методы математического анализа, линейной алгебры, вычислительной математики, теории вероятностей,

математической статистики, а также регрессионный анализ, вейвлет-анализ, Фурье-анализ, методы оптимизации и методы статистического моделирования. Используемые в диссертации методы исследований научно обоснованы. Достоверность научных положений, рекомендаций и выводов обеспечивается корректным использованием методов исследований, а также подтверждением полученных выводов результатами вычислительных экспериментов, проведенных с использованием технологии статистического моделирования.

Теоретическая и практическая значимость диссертации. Предложенная модификация алгоритма адаптивного оценивания неизвестных параметров, когда функция плотности восстанавливается на основе вейвлетов или преобразования Фурье, позволяет достаточно гибко подстраиваться к изменяющимся условиям эксперимента. Развитие теории вейвлет-анализа обеспечивает использование ненормированных вейвлетов для построения системы базисных функций. За счет использования новых оценок функции плотности расширены возможности регрессионного анализа. Полученные выражения для логарифмической функции правдоподобия и ее производных позволяют восстанавливать регрессионные зависимости при более общих предположениях о виде распределения случайных ошибок наблюдения. Разработанный программный комплекс позволяет оценивать параметры регрессионных моделей и восстанавливать функции плотности. Полученные в ходе исследования результаты могут быть рекомендованы к использованию в различных областях: экономика, контроль качества продукции, биология, медицина и др. Результаты диссертационной работы применяются в ООО «Мерзлотный инженерно-строительный центр», о чем имеется соответствующий акт внедрения.

Полнота опубликования научных результатов и апробация. По теме диссертации опубликовано 10 работ, в том числе 3 статьи в журналах, включенных в перечень ВАК, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, 1 статья в журнале, индексируемом в базах данных Scopus и Web of Science, получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Результаты работы докладывались на научных конференциях международного и всероссийского уровня. Полученные новые результаты диссертационного исследования достаточно полно отражены в опубликованных работах.

Замечания по содержанию диссертации.

1. На стр. 59 автор утверждает, что отсутствие свойства ортогональности системы базисных функций формально не является

препятствием для их использования в качестве базиса оценки функции плотности, но может негативно сказаться на ее качестве; однако далее при рассмотрении результатов исследования подтверждения этого факта в работе не обнаружено.

2. В работе рассматривается вейвлет-оценка функции плотности на основе вейвлета Хаара (см. стр. 51, 68), однако при оценивании неизвестных параметров регрессионной зависимости этот вейвлет не используется.

3. При решении задачи прогнозирования температурных состояний грунтов автор привел графическую интерпретацию результатов только для одного алгоритма на основе вейвлета DOG, однако причина такого ограничения в работе не объясняется.

Заключение

Отмеченные выше недостатки не носят принципиального характера и не снижают общей положительной оценки работы.

Работа Исаевой Е.В. выполнена на высоком научно-техническом уровне и написана грамотным научным языком. Содержание диссертации достаточно полно представляет научные исследования и практические разработки, проведенные автором. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации и отражает основные результаты исследований.

Достоверность результатов работы не вызывает сомнений, а сами результаты достаточно полно опубликованы. По своему содержанию работа соответствует паспорту специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики, а именно п. 5 – «Разработка и исследование моделей и алгоритмов анализа данных, обнаружения закономерностей в данных и их извлечение, разработка и исследование методов и алгоритмов анализа текста, устной речи и изображений».

Таким образом, диссертация Исаевой Е.В. имеет внутреннее единство и является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение важной научно-технической задачи по разработке математического и алгоритмического обеспечения для восстановления функции плотности с использованием вейвлет-анализа и преобразования Фурье, а также адаптивного оценивания параметров линейно-параметризованных регрессионных моделей.

По своей актуальности, научной новизне, объему выполненных экспериментальных исследований и практической значимости, представленная работа соответствует действующему положению «О присуждении учёных степеней» утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842,

предъявляемым к кандидатским диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики, а её автор Исаева Елена Валерьевна достойна присуждения учёной степени кандидата технических наук по указанной специальности.

Диссертационная работа Исаевой Е.В. представлена и обсуждена на заседании научного семинара кафедры системного анализа и математического моделирования Института прикладной математики и компьютерных наук Томского государственного университета, протокол № 13 от 27 июля 2022 г.

Отзыв составили:


Профессор кафедры системного анализа и математического моделирования Института прикладной математики и компьютерных наук Томского государственного университета, доктор физико-математических наук, (05.13.16 – Применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях (по отраслям наук)), профессор

 Кошкин Геннадий Михайлович

Заведующий кафедрой системного анализа и математического моделирования Института прикладной математики и компьютерных наук Томского государственного университета, доктор физико-математических наук, (05.13.16 – Применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях (по отраслям наук)), доцент

 Дмитриев Юрий Глебович

Зам. директора Института прикладной математики и компьютерных наук Томского государственного университета, доктор физико-математических наук, (05.13.01 – Управление в технических системах), профессор

 Сущенко Сергей Петрович

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»,

634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

(3822) 529- 852,

rector@tsu.ru, www.tsu.ru

*Поступил в совет
10.08.22, пр. № 08
ГМШ*

6

*Сотрудник организационного отдела
11.08.2022*