ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу **Булгаковой Татьяны Евгеньевны** «Оптимизация функциональных вычислительных статистических оценок и алгоритмов» по специальности 01.01.07 – Вычислительная математика на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

1. Актуальность темы исследований

С развитием высокопроизводительных вычислительных систем в настоящее время особенно возросла роль алгоритмов численного статистического моделирования и их эффективность при решении задач математической и статистической физики, геофизики, физической и химической кинетики и многих, многих других.

Диссертационная работа Булгаковой Татьяны Евгеньевны посвящена сравнительному анализу спектра рандомизированных функциональных алгоритмов с позиций применения этих алгоритмов для решения задач математической физики, а также численным исследованиям рассматриваемого множества алгоритмов. В этой связи актуальность поставленных и исследуемых в диссертационной работе задач не вызывает сомнений.

Содержание работы соответствует паспорту специальности 01.01.07, так как в ней рассматриваются вопросы разработки теории численных методов, решения математических задач, возникающих при моделировании естественнонаучных и прикладных проблем, а также реализация методов с применением современных ЭВМ. Основное внимание в диссертации уделено анализу и обоснованию алгоритмов и вопросам повышения их эффективности.

2. Научная новизна исследований и полученных результатов

Результаты, полученные в диссертационной работе, являются новыми, опубликованы в 30 работах автора, среди которых 8 статей в журналах из списка, рекомендованного ВАК, и/или в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования.

Диссертация объемом 170 страниц включает введение, 2 главы основного содержания, заключение, приложение, список использованных источников из 154 наименований.

Во **введении** (9 стр.) представлен обзор литературы, сформулированы цель и задачи исследования.

В **первой главе** (82 стр.) диссертации для приближенного решения интегрального уравнения Фредгольма второго рода определяются различные функциональные вычислительные статистические алгоритмы. В частности, локальный алгоритм метода зависимых испытаний, алгоритм метода сопряженных блужданий, проекционный статистический алгоритм, ядерный (проекционно-сеточный) статистический алгоритм, для которого показана возможность построения условно-оптимальных параметров. Для задачи приближения интеграла, зависящего от параметра, приведены алгоритм метода зависимых испытаний, алгоритм с независимыми оценками в узлах, а также ядерный и проекционный алгоритмы. Для задачи приближения вероятностных плотностей по заданным выборкам сформулирован проекционный алгоритм и предложен функциональный ядерный вычислительный алгоритм.

Описаны преимущества и недостатки алгоритмов. Подчеркивается универсальность ядерных алгоритмов и возможность выбора условно-оптимальных параметров. Приводятся результаты тестовых экспериментов. Разработана методика, позволяющая при разумном выборе числа узлов и (или) базисных функций выбирать число траекторий используемой прикладной цепи Маркова, гарантирующее получение заданного уровня погрешности.

Для предложенного функционального ядерного вычислительного алгоритма, применяемого для приближения вероятностных плотностей, показана возможность его условной оптимизации, целесообразная в случае использования многомерного аналога полигона частот. Приведены соответствующие доказательства. Получены выражения для условно-оптимальных параметров для заданного уровня погрешности.

Рассмотрено применение функционального ядерного вычислительного алгоритма для приближения вероятностных плотностей. Обсуждается применение приближений плотностей распределений вероятностей при рандомизации математических моделей. Приведены результаты тестовых расчетов, показывающих особенности применения оптимизированного полигона частот на примере приближения плотности усеченного экспоненциального распределения.

Во **второй главе** диссертации (31 стр.) исследуются специальные функциональные сеточные вычислительные статистические алгоритмы.

Рассмотрена условная оптимизация функционального итерационного алгоритма с умножением на «большие» матрицы. Обсуждается погрешность функционального итерационного алгоритма с рандомизацией «больших» матриц при L_2- подходе.

Рассматривается гипотеза о наличии минимума затрат по количеству K выбираемых столбцов при рандомизации матрицы, выдвинутая в источнике [104]. В разделе 2.1.4 проводится численная проверка справедливости этой гипотезы. Проведенные исследования, потребовавшие значительных вычислительных ресурсов, не подтвердили эту гипотезу.

Для ситуаций с интегралом, зависящим от параметра, и трудно вычислимой подынтегральной функцией сконструирован функциональный двусторонний геометрический вычислительный статистический алгоритм, включающий использование просто вычислимых мажоранты и миноранты. Для случая, когда мажоранта и миноранта являются кусочно-постоянными функциями, проведена оптимизация выбора параметров. Приведены результаты численных экспериментов, подтверждающих оптимальность предложенного выбора параметров.

В **заключении** (7 стр.) говорится о новизне результатов, о положениях и результатах, выносимых на защиту, о методологии проводимых исследований и используемых методах, о значимости и обоснованности результатов и их достоверности.

Приложение (20 стр.) посвящено проведенным численным исследованиям функциональных многоуровневых сеточных вычислительных статистических алгоритмов. В нём рассмотрены элементы теории функциональных многоуровневых сеточных вычислительных статистических алгоритмов. Приведены результаты численного тестирования многоуровневого статистического алгоритма для приближения интеграла, зависящего от параметра. Приведены результаты численного тестирования этого же алгоритма при поиске приближенного решения интегрального уравнения Фредгольма второго рода.

Все основные результаты диссертации хорошо опубликованы и апробированы на представительном множестве научных конференций и семинаров, в том числе международного уровня.

Диссертация изложена четко и грамотно.

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

3. Обоснованность и достоверность полученных результатов

Обоснованность и достоверность полученных в диссертации результатов подтверждается строгостью использования математического аппарата при выводе формул и соотношений, при доказательстве утверждений и теорем. Достоверность результатов тестирования и численных экспериментов подтверждается корректным использованием методологии и методов Монте-Карло, методов условной оптимизации, функционального анализа и математической статистики при численном приближении функций и оценивании вероятностных плотностей.

4. Научная и практическая ценность основных положений диссертации

Научная ценность диссертации связана:

– с результатами сравнительного анализа спектра рандомизированных функциональных алгоритмов численного решения интегрального уравнения Фредгольма второго рода;
– с предложенным конструктивным ядерным алгоритмом приближения

вероятностных плотностей и его условной оптимизацией;

- с условной оптимизацией и численным исследованием итерационного алгоритма, связанного с рандомизацией «больших» матриц на основе случайного выбора относительно малого числа столбцов;
- с численным исследованием многоуровневых рандомизированных сеточных алгоритмов приближения интеграла, зависящего от параметра, и решением интегрального уравнения Фредгольма второго рода.

Практическая ценность заключается в том, что полученные результаты исследований могут использоваться при решении практически значимых задач.

5. Рекомендации по возможности использования результатов и выводов диссертации

Результаты диссертационной работы Булгаковой Т.Е. могут быть использованы при разработке алгоритмического и программного обеспечения, предназначенного для решения задач математической и статистической физики, геофизики и т.п., а также могут быть использованы в учебных дисциплинах, опирающихся на вычислительную математику.

6. Замечания по диссертационной работе

По представленной диссертации Булгаковой Т.Е. могут быть сделаны следующие замечания:

1. На приводимых рисунках, как правило, отсутствуют обозначения осей координат.

2. При конструировании алгоритмов рассматривается только подбор параметров, влияющих на вычислительную схему. Например, на стр. 47. при выбранных параметрах *a, b, A* рассматривается нахождение условно-оптимальных параметров *M* (числа узлов сетки) и *n* (количества моделируемых траекторий цепи Маркова). А проблема оценивания параметра *A* закона никоим образом не затрагивается. В диссертации вообще исключается возможность использования параметрических оценок плотности?

3. Стр. 58. К результатам в таблицах 1.3, 1.4. Так как эффективность оценивается временем счета, то естественно ожидать, что при использовании ядерной функции (1.2.15) эффективность окажется ниже (больше вычислений). И естественно, что в таблице 1.4 меньше значения $\left[D\varsigma(x)\right]_{\max}$, Δ_1, Δ_2 (ядерная оценка точнее). Хотелось бы услышать пояснение, почему больше максимальная погрешность.

4. Стр. 59. Не является ли низкая эффективность алгоритма 1.4, отраженная в таблице 1.5, естественным следствием (большего) количества вычислений при использовании ядерной оценки (1.2.15)?

5. Стр. 81. Очевидно, что использование в качестве функции $f_{\hat{\eta}}(x)$ плотностей бета-, гамма- или нормального распределений связано с вычислительными проблемами и приводит к потере эффективности (как это понимается в диссертации). Конечно, с позиций экономичности целесообразно использование более простых моделей плотности, моделируемых без каких-либо затруднений. А с позиций адекватности модели неизвестному закону распределения? То, что просто моделируется, может и не быть подходящей моделью.

6. Стр. 84. В замечании 1.16 качество приближения неизвестной плотности $f_{\eta}(x)$ по выборке $\eta_1,\eta_2,...,\eta_n$ оценивается эффективностью и универсальностью (минимальными вычислительными затратами и удобством вычислений). За кадром остаётся вопрос, как такой выбор (и возможная неадекватность вероятностной модели) может отразиться на решении и свойствах решения «большой задачи», в рамках которой и будет использоваться такое приближение?

7. Стр. 86. Должно существовать какое-то разумное объяснение одинакового количества вычислений при различных значениях M! Например, если в сумме (1.4.9) по факту будет использоваться одинаковое количество слагаемых.

8. По рис. 1.2. Интересно, а как выглядит картина для $5<M<10$?

9. Стр. 50, 1-й абзац. Чем отличаются упомянутые здесь «аккуратные тестовые вычисления» от остальных результатов численного тестирования в диссертации?

Присутствует очень незначительное количество погрешностей оформления, например:

10. Стр. 43, 2-й абзац «.. с уравнением (В.2) с ядром (1.1.61) …». Такого номера формулы нет. Вероятно (1.1.51) или (1.1.55).

11. Стр. 105, в конце. « … в подразделе 2.1.5)». По-видимому, в 2.1.4, так как подраздела 2.1.5 нет.

Сделанные замечания не снижают научной и практической ценности диссертации и никоим образом не влияют на общую положительную оценку результатов исследований.

7. Заключение о работе

Представленная диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, содержит подходы к решению важной научной задачи, имеющей большую практическую значимость, и выполнена на высоком научном уровне. Представленные в работе исследования обладают научной новизной и достоверностью, все полученные выводы научно обоснованы. Основные положения диссертационной работы достаточно полно освещены в научных публикациях автора. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Вышесказанное позволяет утверждать, что диссертационная работа Булгаковой Татьяны Евгеньевны соответствует требованиям пунктов 9–14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.01.07 – вычислительная математика.

Официальный оппонент,
профессор кафедры теоретической
и прикладной информатики НГТУ,
д.т.н., профессор

22.04.2021

Лемешко Борис Юрьевич

Контактные данные: тел.:+7(383)346-06-00, e-mail: Lemeshko@ami.nstu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 05.13.16 – «Применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях» соответствует специальности 05.13.11 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей»

Адрес места работы: 630073, Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет». Тел.: (383) 346–50–01, rector@nstu.ru, www.nstu.ru

Подпись профессора Б.Ю. Лемешко заверяю.

Начальник ОК НГТУ Пустовалова Ольга Константиновна