

Отзыв официального оппонента

на диссертацию **Булгаковой Татьяны Евгеньевны** «Оптимизация функциональных вычислительных статистических оценок и алгоритмов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.01.07 - вычислительная математика.

Актуальность темы исследования.

Диссертация, представленная Булгаковой Т.Е., посвящена разработке и оптимизации функциональных алгоритмов статистического моделирования (метод Монте-Карло), а также исследованию особенностей их использования на примере ряда задач.

Метод Монте-Карло применяется для решения широкого круга задач. В силу своей достаточно большой трудоемкости изначально он использовался в основном для оценки решений в отдельных точках. С развитием вычислительной техники появилась возможность оценки решения задачи в целом в некоторой области: вычисление методом Монте-Карло решения в отдельных узлах с последующим восполнением (сеточные и проекционно-сеточные алгоритмы) или оценка методом Монте-Карло соответствующих коэффициентов разложения решения по некоторому базису ортонормированных функций с последующим восполнением (проекционные алгоритмы). Дополнительным стимулом к развитию функциональных алгоритмов является возможность эффективного распараллеливания алгоритмов метода Монте-Карло. Таким образом актуальность представленной работы не вызывает сомнений.

Достоверность и новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций.

Диссертация объемом 170 страниц включает введение, 2 главы основного содержания, заключение, приложение и список использованных источников из 154 наименований, включая публикации автора по теме диссертации. Результаты, полученные в диссертации, являются новыми, опубликованы в 30 работах: из них 4 статьи в журналах, входящих в перечень ВАК, 2 статьи в журналах, индексируемых в Scopus, 15 статей в материалах конференций и 9 тезисов докладов на конференциях.

Во введении обоснована актуальность работы, приведен обзор литературы, сформулированы цели и задачи исследования.

Первая глава посвящена анализу функциональных алгоритмов (сеточных, проекционных и проекционно-сеточных (ядерных)) для решения трех

классов задач: вычисление интеграла, зависящего от параметра, решение интегрального уравнения Фредгольма второго рода и вычисление вероятностной плотности по заданным выборочным значениям. Важным аспектом работы по конструированию функциональных алгоритмов является разработка подходов к оценке точности получаемого решения и к выбору условно-оптимальных параметров, обеспечивающих требуемую погрешность при минимальных вычислительных затратах. В диссертации рассматриваются оценки погрешности в метрике пространств L_2 и C (L_2 - и C -подходы). В разделе 1.1 первой главы проведен детальный анализ особенностей функциональных алгоритмов для вычисления интеграла, зависящего от параметра и решения интегрального уравнения Фредгольма второго рода. Для задачи вычисления вероятностной плотности по заданным выборочным значениям сформулирован проекционный алгоритм, а также предложен ядерный алгоритм. Кроме того, для задачи решения интегрального уравнения Фредгольма второго рода описаны детерминированные и статистические алгоритмы, основанные на применении кубатурных формул.

В разделе 1.2 представлены результаты тестовых экспериментов на примере одномерного интегрального уравнения с известным решением, которые позволили провести подробный анализ функциональных алгоритмов. В частности, подтверждены численная неустойчивость проекционного алгоритма и его зависимость от ортонормированного базиса. В разделе 1.3 для вычисления вероятностных плотностей ядерным алгоритмом в рамках L_2 и C -подходов построены верхние границы погрешности: доказаны три теоремы и ряд утверждений, получены выражения для условно-оптимальных параметров для достижения заданного уровня погрешности. В разделе 1.4 описаны результаты тестовых расчетов, демонстрирующие особенности применения ядерного алгоритма на основе полигона частот на примере приближения плотности усеченного экспоненциального распределения.

Во второй главе представлены функциональный итерационный вычислительный статистический алгоритм с умножением на «большие» матрицы и функциональный двусторонний геометрический вычислительный статистический алгоритм. На основании численных экспериментов показано, что перспективная гипотеза о существовании «внутреннего» минимума трудоемкости (по числу выбираемых столбцов) вычислительного статистического алгоритма умножения на «большие» матрицы, неверна. Для случая, когда в интеграле, зависящем от параметра, подынтегральная функция является трудно вычислимой, сконструирован функциональный

двусторонний геометрический алгоритм, основанный на использовании просто вычислимых мажоранты и миноранты подынтегральной функции. Проведена оптимизация выбора параметров этого алгоритма для случая, когда мажоранта и миноранта являются кусочно-постоянными функциями. Приведены результаты численных экспериментов, подтверждающих оптимальность предложенного выбора параметров.

В заключении формулируются основные результаты, полученные в работе.

В приложении представлены результаты численного сравнения функциональных алгоритмов с функциональным многоуровневым сеточным алгоритмом на примере вычисления интеграла, зависящего от параметра и решения уравнения Фредгольма второго рода. Отметим, что в рамках теории информационной сложности многоуровневые алгоритмы считаются оптимальными. Для сравнения была выполнена серия численных экспериментов для тестовых задач с известным решением. Получен ряд интересных результатов, позволяющих говорить о том, что многоуровневые алгоритмы проигрывают по эффективности более простым схемам метода Монте-Карло (при одинаковом уровне погрешности). Одна из возможных причин – использование в теории информационной сложности слишком простой стоимостной модели.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций.

Автором проведен подробный численно-теоретический анализ достоинств и недостатков рассматриваемых функциональных алгоритмов. Доказаны три теоремы и ряд утверждений. Проведена апробация рассматриваемых алгоритмов путем сравнения с имеющимися в литературе данными. Полученные в ходе численных экспериментов данные подтверждают теоретические выводы.

Значимость для науки и практики полученных результатов.

Значимость работы состоит в том, что в диссертации проведен детальный численно-теоретический анализ рассматриваемых функциональных алгоритмов, сформулированы их достоинства и недостатки. С практической точки зрения важны предложенные новые функциональные алгоритмы, для которых построены верхние границы погрешности и получены оптимальные параметры. Показано, что условно-оптимальные параметры обеспечивают эффективное вычисление решения на области в целом. Показано, что квалифицированный подход к выбору рассматриваемых алгоритмов и их

параметров, учет особенностей задачи позволяет существенно снизить трудоемкость вычислений.

Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации.

К недостаткам диссертации следует отнести избыточную структурированность текста: это затрудняет восприятие материала. С другой стороны, в ряде случаев представлены результаты отдельных расчетов из проведенных серий без конкретизации диапазонов изменений параметров задач. Также представляется интересным сравнение не только трудоемкости и затраченного времени при анализе гипотезы 2.1, но и полученной при этом погрешности. Можно только выразить сожаление, что при анализе функциональных алгоритмов для решения уравнения Фредгольма второго рода автор использовал только тестовое уравнение, а не проверил эффективность алгоритмов на примере более сложных задач, например на упомянутых в разделе 1.1.7. Не избежал автор диссертации и некоторого количества опечаток в тексте. В частности, несколько раз ошибочно указана ссылка на отсутствующий раздел 2.1.5. Также есть в приложении некоторая путаница с единицами измерения времени. Так при представлении результатов расчетов оценок интеграла (таблицы П.1-П.3) при описании формулы затрат используется время в секундах, в таблицах время, затраченное на вычисление одного значения, приведено в миллисекундах, а затраты – в милличасах.

Тем не менее, указанные замечания не снижают уровень диссертации. В ходе исследования диссертантом реализован ряд сложных алгоритмов и проведен большой объем вычислительной работы. Оценивая диссертацию в целом, можно констатировать, что ее результаты являются реальным вкладом в развитие теории метода Монте-Карло. Полученные диссертантом результаты позволяют сделать вывод о возможности эффективного использования функциональных алгоритмов метода Монте-Карло для решения рассматриваемого класса задач.

Заключение.

Представленная работа является завершенной научно-квалификационной работой и выполнена на высоком уровне. Представленные в работе исследования обладают новизной и достоверностью, все полученные выводы научно обоснованы. Основные положения диссертации достаточно полно освещены в публикациях автора, прошли апробацию на ряде конференций. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

