

РЕЦЕНЗИЯ

за дисертационния труд на **Венелин Любомиров Тодоров** на тема
“*Методи Монте Карло за многомерни интегрални и интегрални уравнения и приложения*”

от доц. д-р **Райна Георгиева**, секция “Паралелни алгоритми”,
Институт по информационни и комуникационни технологии
към Българската академия на науките (ИИКТ-БАН)

Със заповед № 102/14.06.2017 г. на директора на ИИКТ-БАН съм утвърдена за член на Научно жури във връзка с процедура за придобиване на образователната и научната степен „доктор“ по докторска програма “*Математическо моделиране и приложение на математиката*” в професионално направление 4.5 „*Математика*“ от Венелин Любомиров Тодоров с дисертация на тема „*Методи Монте Карло за многомерни интегрални и интегрални уравнения и приложения*“, научен ръководител проф. дн Иван Димов, ИИКТ-БАН. На първото заседание на Научното жури, състояло се на 15.06.2017 г. в ИИКТ-БАН, съм избрана за рецензент.

1. Област на изследванията, актуалност, цели и задачи

Представеният дисертационен труд на Венелин Тодоров е фокусиран в една безспорно актуална и развиваща се област от изчислителната математика и математическото моделиране. Дисертацията е посветена на разработването и изследването на ефективни методи и алгоритми Монте Карло (в частност, квази-Монте Карло) за приближено пресмятане на многомерни интегрални и решаване на интегрални уравнения. Това са задачи, които намират широко приложение в различни области, като изчислителна физика, химия и биология, финансова математика, компютърна графика. Методът Монте Карло е подходящ за задачи, чието решаване е свързано с отчитане на множество случайни фактори, като оценяване и прогнозиране на рискове за безопасност. Интензивното развитие на съвременните изчислителни системи и рязкото нарастване на компютърната мощ доведе до широкото приложение на методите Монте Карло, както и до налагането му като един от най-ефективните подходи за решаването на математически задачи, тъй като този тип методи оценяват неизвестните величини чрез усредняване на резултатите, получени от голям брой статистически опити.

В увода са формулирани основните цели на дисертационния труд и задачите за тяхното постигане. Целта на дисертацията е разработването, реализирането и изследването на ефективни алгоритми Монте Карло (квази-Монте Карло) за многомерни интегрални и интегрални уравнения, съответно линейни системи. Като цел е поставено и прилагането и изследването на поведението на разглежданите алгоритми за решаване на конкретни задачи от области, като финансова математика, квантова механика и екология. Допълнителна цел е конструирането на нови числени методи с висок ред на точност на базата на метода на диференчните схеми за модели, свързани с екологичната безопасност.

За постигането на тези цели са формулирани следните задачи:

1. Да се разработи нов почти оптимален алгоритъм Монте Карло за интегрални уравнения, базиран на балансиране на систематичната и стохастичната грешка. Да се изследва ефективността на алгоритъма върху интегрални уравнения с приложен характер.

2. Да се реализира квази-Монте Карло метод от тип решетки с генериращ вектор обобщената редица на Фибоначи, Монте Карло метод базиран на извадката латински хиперкуб и адаптивен алгоритъм Монте Карло. Да се изследва ефективността на алгоритмите в зависимост от размерността на интеграла и гладкостта на подинтегралната функция.
3. Да се приложат разработените алгоритми за многомерни интеграли с приложен характер във финансите за оценка на европейски опции и в Бейсовската статистика. Да се получат оценки за ядрото на Вигнер в квантовата механика и да се изследва кой от алгоритмите е най-ефективен за решаване на проблема на Ричард Файнман.
4. Да се конструира нов метод Монте Карло за линейни системи на базата на метода Монте Карло за линейни системи „случайно блуждаене по уравненията“ и да се направи сравнение между двата алгоритъма и рафинирания алгоритъм Монте Карло.
5. Да се разработи нова компактна схема с четвърти ред на точност за системи от слабо свързани частни диференциални параболични уравнения с нелинейни химични реакции с приложение при опазване на околната среда. Да се повиши точността с помощта на екстраполация по Ричардсон. Да се приложи компактната схема върху модел на далечен пренос на замърсители във въздуха, както и за други примери в едномерния и двумерния случай.

2. Познаване на състоянието на проблема от страна на дисертанта

В увода на дисертацията е направено подробно описание, класификация и анализ на съществуващите алгоритми Монте Карло за решаване на поставените задачи за числено интегриране и решаване на интегрални уравнения, в частност системи от линейни алгебрични уравнения (СЛАУ). Посочени са предимствата и недостатъците на метода Монте Карло в сравнение с детерминистичните подходи за разглеждания клас от задачи. Авторът на дисертацията познава добре разглежданата тематика, актуалното състояние и постигнатите резултати при решаването на поставените задачи.

3. Методология на изследването

Методологията на представените изследвания се основава на фундаментални резултати от области, като функционален анализ, теория на вероятностите, числен анализ, числени методи за диференциални уравнения и теория на диференчните схеми, оценка на изчислителната сложност на алгоритми.

4. Характеристика и оценка на приносите на дисертационния труд

Дисертационният труд на Венелин Тодоров съдържа 184 страници, като се състои от увод, 3 глави, заключение и литература, включваща 237 цитирани източници, сред които и 5-те авторски публикации по дисертационния труд. Почти 40% от цитираните източници са публикувани през последните 20 години. В дисертацията има 26 фигури и 45 таблици.

Основните **научни и научно-приложни приноси в дисертационния труд** могат да се обобщат така:

- Изследвани са различни подходи както за генериране на точкови множества (решетка от точки с генериращ вектор обобщена редица на Фибоначи, случайна извадка от тип “латински хиперкуб”), така и алгоритми за числено интегриране: алгоритми Монте Карло (обикновен, адаптивен) и алгоритъм квази-Монте Карло, използващ квазислучайни редици на Соболев. Алгоритмите са приложени върху гладки тестови функции с различни размерности (4-30), тестови функции с изчислителни особености (с размерност 5 и 18) и е сравнена тяхната ефективност за различни приложни задачи:
 - при пресмятане на ядрото на Вигнер, където се наблюдава по-висока ефективност на изследваните стохастични алгоритми спрямо съществуващи детерминистични алгоритми по отношение на относителната грешка (особено за по-високите размерности – в случая над 6) и по отношение на изчислителното време;
 - при оценки на Европейски опции, където са сравнявани различни стохастични алгоритми;
 - при пресмятане на интеграли, които имат важно значение в Бейсовската статистика.

Резултатите са описани в първа глава на дисертацията и са публикувани в две статии, съответно публикация № 3 и публикация № 5 от представения списък на публикациите по дисертацията.

- Конструиран е нов почти оптимален алгоритъм Монте Карло за интегрални уравнения, основан на балансиране на систематичната и стохастичната грешка, което да гарантира ефективност на алгоритъма при решаването на задачата с предварително зададена точност.

Резултатите са описани във втора глава на дисертацията (секция 2.1) и са публикувани в две статии, съответно публикация № 1 и публикация № 2 от представения списък на публикациите по дисертацията, като публикация № 2 е цитирана в издание с импакт-фактор.

- Предложен е алгоритъм Монте Карло за системи от линейни алгебрични уравнения (СЛАУ), който е подобрение на известен метод, наречен “случайно блуждаене по уравненията на СЛАУ”. Проведени са редица числени експерименти с матрици с различна размерност (7, 100, 1000, 5000) и плътност, включително от колекцията Harwell-Boeing. Резултатите от числените експерименти демонстрират по-малка относителна грешка и, в частност, по-малко изчислително време за подобрения алгоритъм спрямо оригиналния.

Резултатите са описани във втора глава на дисертацията (секция 2.2).

- Разработени са нови компактни диференчни схеми с висок ред на точност по пространството (четвърти и шести ред) за нелинейни системи от параболични частни диференциални уравнения (ЧДУ). Получена е компактна схема с шести ред на точност, като е приложена екстраполация по Ричардсон. Схемите са приложени за решаване на система от 10 уравнения ЧДУ от *Датския Ойлеров модел* (UNI-DEM), описващ далечен пренос на замърсители във въздуха. Подобреният алгоритъм на “случайното блуждаене по уравненията на СЛАУ” е приложен успешно за решаване на системи, получени след дискретизация на ЧДУ.

Резултатите са описани в трета глава на дисертацията, като част от тях са публикувани в една статия, съответно публикация № 4 от представения списък на публикациите по дисертацията.

5. Публикации по дисертацията

Дисертационният труд се основава на **5 научни публикации**, от които **4 са публикувани в специализирани международни издания с SJR ранг** при изискване от поне три научни публикации, поне една от които да е в списание с импакт-фактор или в специализирано международно издание, според Правилника за специфичните условия за придобиване на научни степени и за заемане на академични длъжности в ИИКТ-БАН. Представените работи са публикувани в периода 2015 г. – 2016 г. Една от представените публикации е **самостоятелна**. За една от публикациите е забелязано **едно цитиране** в издание с импакт-фактор.

Резултатите в публикациите са получени в рамките на **4 научноизследователски проекта**, сред които проект за млади учени на БАН, 2 проекта, финансирани от Фонд „Научни изследвания“, и един проект, финансиран по 7-ма Рамкова програма на Европейската комисия.

Получените резултати са представени на **редица международни форуми** в периода 2013 г. – 2016 г., сред които и специализирани конференции в областта на методите Монте Карло.

Авторефератът отразява правилно съдържанието и основните приноси на дисертацията. Той е в обем от 56 страници и съдържа 56 цитирани източници.

6. Критични бележки

Нямам съществени критични бележки, но бих отбелязала следното:

- Не е възприет единен стил за изписване на имената на авторите на цитираните източници – част от тях са изписани на латиница, а други на кирилица. Предполагам, че един възможен подход е изписване на имената на оригиналния език на публикацията, която се цитира;
- Две цитирания на заглавия от литературата не са видими след компилацията на TeX файла (стр. 26 и стр. 31).
- Във формулировката на Задача 5 на стр. 41 при второто си срещане думата „*системи*“ трябва да бъде „*уравнения*“.
- В коментарите на резултатите, представени в Таблица 1.9 на стр.74, изразът „*и започва да губи точност с увеличаване на размерността на интеграла*“ не е коректен. Възможна корекция е „*с увеличаване на размерността на интеграла изследваният алгоритъм води до по-голяма относителна грешка спрямо другите изследвани алгоритми, с което намалява ефективността му*“. За разглежданите примери на 3-, 6- и 9-мерен интеграл точността на алгоритъма (в термините на порядък на относителната грешка) се запазва.
- На стр. 75 на Фигура 1.2 и Фигура 1.3 не са отбелязани конкретните стойности на параметрите, за които са проведени съответните числени експерименти с обикновен и адаптивен алгоритъм Монте Карло. Не са дадени и в текста на дисертацията.
- Почти оптималният алгоритъм Монте Карло за решаване на интегрални уравнения, изследван в статия на проф. Димов от 1991 г. и известен в англоезичната литература като MAO алгоритъм, е споменаван в коментарите на направените числени експерименти на стр. 91, 97 и 98, а същността му е описана чак на стр. 103.
- Не е отбелязано, че публикации №3 и №4 от представения списък на публикациите по дисертацията са със статут „приети за печат“ или „*публикувани от издателството в Интернет пространството*“. Ако са излезли от печат, не са посочени страниците им.
- Забелязват се някои технически грешки при набирането на текста.

7. Лични впечатления

Познавам Венелин от няколко години, откакто е зачислен в докторантура. Работили сме заедно по 2 проекта, на единия от които съм била ръководител. Имаме и една съвместна публикация. Венелин е мотивиран за извършване на научна дейност, настойчив е в целите си и притежава добри организационни умения.

8. Заключение

Дисертационният труд съдържа резултати, които имат научен и научно-приложен принос в областта на изчислителната математика и математическото моделиране и повечето от тях са публикувани в специализирани международни издания с SJR ранг. Представената дисертация отговаря на всички изисквания на Закона за развитието на академичния състав в Република България (ЗРАСРБ), както и на Правилника за прилагане на ЗРАСРБ, Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени и за заемане на академични длъжности в БАН и Правилника за специфичните условия за придобиване на научни степени и за заемане на академични длъжности в ИИКТ-БАН. Посочените критични бележки в настоящата рецензия в никакъв случай не омаловажават получените резултати в дисертацията.

Изложеното дотук ми дава основание за положителна оценка на представения дисертационен труд, с което предлагам на Научното жури да присъди образователната и научната степен „доктор“ на Венелин Любомиров Тодоров по докторската програма *“Математическо моделиране и приложение на математиката”* в професионално направление 4.5 *„Математика“*.

10.08.2017 г.

