

**Резюмега на научните публикации за участие в конкурса - на български
на**

на д-р Тодор Василев Гюров, доцент в ИИКТ-БАН

представени за участие в **конкурса** за академичната длъжност “професор” по професионално направление 4.5. Математика, специалност „Математическо моделиране и приложение на математиката (Монте Карло и квази-Монте Карло алгоритми и приложения)“, обявен в ДВ бр. 41 от 21 май 2019 г ,

Публикации включени в групов показател В, точка 4. (6 броя)

1. Atanassov, E., **Gurov, T.**, Karaivanova, A.. Energy aware performance study for a class of computationally intensive Monte Carlo algorithms. *Computers and Mathematics with Applications*, 70, 11, Elsevier, **2015**, DOI:10.1016/j.camwa.2015.07.014, 2719-2725. ISI IF:1.697, [Линк](#).

Най-новите разработки в областта на високопроизводителните компютърни системи доведоха до внедряването на компютърни системи с ниска латентност на комуникациите, базирани на различни изчислителни устройства като: процесори с много изчислителни ядра (CPUs), графични карти (GPUs), ускорители (ко-процесори), като по този начин поставиха въпроса за скалируемост в светлината не само на паралелната ефективност, но и в светлината на енергийната ефективност. В тази статия са предложени нови метрики за оценка на енергийната ефективност въз основа на нашия опит и анализ на съществуващи метрики. Изследвана е производителността на Монте Карло приложения с висока изчислителна интензивност, разгърнати на хетерогенни компютърни системи. Акцента на изследването е върху енергийната ефективност и разходите за оборудване. Сравнени са числени резултати, получени при оценяване на енергийната ефективност на CPU и GPU варианти на предложените МК алгоритми по отношение на въведените метрики. Резултатите от нашето проучване демонстрират колко важно е да се вземе под внимание не само скалируемостта на приложенията с висока изчислителна интензивност, но и на изразходваната енергия от различните изчислителни възли и на разходите за оборудване. Резултатите също показват необходимостта от оптимизиране избора на броя от изчислителни процесори или броя на GPGPU устройствата при провеждане на паралелни изчисления. Резултатите могат да се използват от разработчици на приложения или от потребители на тези приложения, както и от доставчици на изчислителни ресурси.

2. Atanassov, E., **Gurov, T.**, Karaivanova, A., Nedjalkov, M., Vasilevska, D., Raleva, K.. Electron–phonon interaction in nanowires: A Monte Carlo study of the effect of the field. *Mathematics and Computers in Simulation*, 81, 3, **2010**, DOI:10.1016/j.matcom.2009.09.006, 515-521. ISI IF:1.476, [Линк](#)

В тази статия се анализира динамиката на силно неравновесни, ограничени носители във фемтосекундната скала чрез Монте Карло метод. Разглежданият физичен процес съответства на случая, когато нагreti носители са локално възбудени или инжектирани в полупроводникова наножица, под въздействието на приложено електрическо поле. Носителите се охлаждат от процеси на разсейване, причинени от взаимодействието им с фонони. Процесът се описва с квантово-кинетично уравнение, което обобщава класическото уравнение на Болцман по отношение на две класически допускания, а именно, взаимодействието носител-фонон се разглежда при времева и

пространствена локалност. Изследван е ефекта на електричното полето върху електронно-фононното взаимодействие (ефекта на полето при вътрешен сблъсък, вътрешен колизия, или вътрешен-колизийонен ефект на полето (intra-collisional field effect)). Използван е Монте Карло метод за симулиране на разглеждания процес. Получените резултати при МК симулациите за еволюцията на носителите в GaAs нанोजица са анализирани за феномена, свързан с ефекта на полето при вътрешна колизия (intra-collisional field effect (ICFE)).

3. Dimov, I. T., **Gurov, T. V.**, Penzov, A. A.. A Monte Carlo Approach for the Cook-Torrance model. Lecture Notes in Computer Science, 3401, Springer, **2005**, 257-265. SJR:0.334, ISI IF:0.402, [Линк1](#), [link2](#)

В тази работа сме разгледали уравнението на рендеринга, получено от модела на осветяване, наречен модел на Cook-Torrance. Конструирани и изследвани са Монте Карло (MC) оценители за числено пресмятане на това уравнение, което всъщност е интегрално уравнение на Фредхолм от втори вид. Получена е априорна оценка за дисперсията на конструирания МК оценител.

4. Atanassov, E., Karaivanova, A., **Gurov, T.**, Ivanovska, S., Durchova, M., Dimitrov, D.S.. Quasi-Monte Carlo integration on the grid for sensitivity studies. Earth Science Informatics, 3, 4, Springer-Verlag, **2010**, DOI:10.1007/s12145-010-0069-9, 289-296. SJR:0.24, ISI IF:1.628, [Линк](#)

В тази статия е представена важна част от грид приложението MCSAES (Monte Carlo Sensitivity Analysis for Environmental Studies), чиято цел е да разработи ефективно грид изпълнение на Монте Карло подхода за анализ на чувствителността на модели от областта на околната среда. Представена е схемата за грид изпълнение, която позволява напълно самостоятелна работа на двата основни модула: натрупване на данни от модела в хетерогенна изчислителна грид среда с използване на Lustre File System (LFS) и Монте Карло процедури за да се анализира чувствителността на разглеждания математически модел.

В работата са представени паралелни квази-Монте Карло алгоритми за пресмятане на многомерни интеграли в грид среда. Алгоритмите са тествани върху два класа тестови функции (гладки и негладки) с размерности до 100. Времето за изпълнение върху един процесор на квази-Монте Карло варианта е средно 10 пъти по-малко от времето на изпълнение на съответния Монте Карло вариант, поради използването на специални бързи генератори на редиците на Соболев. Паралелното изпълнение е тествано едновременно върху два основни грид кълстера, единият, от които е с Myninet карти, осигуряващи ниска латентност при комуникациите между изчислителните възли, а при другият изчислителните възли са свързани с обикновен комутатор. При изпълнението на алгоритмите върху грид изчислителна среда е използвана нова версия на разработената от авторите грид услуга –Job Track Service, която позволява:

- резервация на процесори за изпълнение на паралелни задачи;
- събиране и анализ на резултатите от изпълнение на паралелни задания.

Алгоритмите показват много добра паралелна ефективност.

5. Nedjalkov, M., **Gurov, T.**, Kosina, H., Vasileska, D., Palankovski, V.. Femtosecond Evolution of Spatially Inhomogeneous Carrier Excitations **Part I: Kinetic Approach**. LNCS, Vol. 3743, Springer, **2006**, DOI:10.1007/11666806_15, 149-153. SJR:0.317, [Линк](#)

Изследва се ултра-бързата еволюция на оптично възбудените носители, които се разпространяват в квантовата жица и взаимодействат с фонони в тримерното пространство. Уравнението, свързано с този физически проблем, е извлечено от първия принцип на квантовата механика. Електронно-фононното взаимодействие е описано на квантово-кинетично ниво чрез уравнението на Левинсън, но еволюционната задача става нехомогенна поради пространствената зависимост на първоначалното състояние. Началното разпределение на носителя се предполага да е Гаусово по енергийната и пространствената координати, а приложеното електрично поле е по дължината на квантовата жица. За решаване на уравнението се използва стохастичен метод, описан в част II от работата. Получените резултати от симулацията характеризират пространствената и енергийната зависимост на еволюцията в случай на нулево поле. Анализират се квантовите ефекти, при електрон-фононно взаимодействие във фемтосекундната времева скала при стойности от 50 fs и 150 fs.

6. **Gurov, T.**, Atanassov, E., Dimov, I. T., Palankovski, V.. Femtosecond evolution of spatially inhomogeneous carrier excitations **Part II: Stochastic approach and grid implementation**. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3743, Springer, **2006**, DOI:10.1007/11666806_16, 157-163. SJR:0.34, [Линк](#)

Представяме стохастичен подход за решаване на квантово-кинетичното уравнение, въведено в част I. Разработен е Монте Карло метод, базиран на еволюцията на числените траектории назад. Изчислителната сложност и стохастичната грешка се изследват числено. Прилагат се техники за намаляване на дисперсията, които демонстрират предимство по отношение на МК подхода, основан на симетрична трансформация. Паралелната реализация на алгоритъма е реализирана върху Грид изчислителна среда.

Научни публикации включени в групов показател Г, точки 7 и 8. (20 броя)

7. Atanassov, E., **Gurov, T.**, Karaivanova, A., Nedjalkov, M., Monte Carlo grid application for electron transport, (**2006**) Lecture Notes in Computer Science, 3993 LNCS - III, pp. 616-623. DOI: 10.1007/11758532_81, ISSN: 0302-9743, [link](#)

В тази статия е описана първата завършена версия на Монте Карло гريد-приложение, наречено от авторите SALUTE (Stochastic ALgorithms for Ultra-fast Transport in sEmiconductors), която включва няколко стохастични алгоритъма от тип Монте Карло за изследване на ултра-бърз транспорт в полупроводници, графичен интерфейс и схема за изпълнение. Физическият модел включва фемтосекунден релаксационен процес на оптически възбудени електрони, които взаимодействат с фонони в еднолентов полупроводник. За квантово кинетичен модел на разглеждания процес се използва уравнението на Бъркър и Фери, като е разгледан случая без приложено електрично поле. За числено решаване на различните варианти на уравнението се използват Монте Карло алгоритми. Изследвана е изчислителната

сложност на алгоритмите, и са предложени различни способы за изпълнение върху Грид с цел максимално натоварване. Описана е схема за пресмятания върху грид инфраструктурата в Югоизточна Европа. Показани са резултати от симулации върху грид за еднолентов проводник и квантова жица без приложено електрично поле (за еволюционно време 200 фемтосекунди). Приложението SALUTE се използва за получаване на иновативни резултати за разглежданата задача, при входящи данни за GaAs материали.

8. **Gurov, T.,** Atanassov, E., Ivanovska, S., A hybrid Monte Carlo method for simulation of quantum transport, (2007) Lecture Notes in Computer Science, 4310 LNCS, pp. 156-164. ISSN: 0302-9743, [link](#)

В тази работа е предложен хибриден метод Монте Карло за решаване на уравнението на Левинсън. Уравнение описва електронно-фононно взаимодействие на квантово-кинетично ниво в квантова жица. Проблемът на еволюцията става нехомогенен поради пространствената зависимост на първоначалното състояние. Свойствата на представения алгоритъм, като изчислителна сложност и точност, се изследват в Грид изчислителна среда чрез използване едновременно на квази-случайни числа и псевдо-случайни числа. Числовите резултати се получават за физически модел с GaAs параметри на материала при отсъствие на електрическо поле.

9. Karaivanova, A., Hongmei, C., **Gurov, T.,** Quasi-random walks on balls using C.U.D. sequences, (2007) Lecture Notes in Computer Science, 4310 LNCS, pp. 165-172. ISSN: 0302-9743, [link](#)

В тази статия е описан един нов вариант на метода “случайно блуждаене по кълба”, а именно квазислучайно блуждаене с използване на специални редици, наречени напълно равномерно разпределени редици (completely uniformly distributed), за които често се използва съкращението c.u.d. Този подход е нов при приближеното решаване на елиптични гранични задачи и води до подобрена сходимост в сравнение с вариантите, използващи псевдослучайни числа и класически квазислучайни редици от типа на Холтън, Собол и Фор. Направена е теоретична обосновка на подобрението в сходимостта. Представени са числени резултати от тестови задачи, илюстриращи подобрената сходимост.

10. Atanassov, E., **Gurov, T.,** Karaivanova, A., Ultra-fast semiconductor carrier transport simulation on the grid, (2008) Lecture Notes in Computer Science, 4818 LNCS, pp. 461-469. DOI: 10.1007/978-3-540-78827-0_52, ISSN: 0302-9743, [link](#)

Статията разглежда симулиране на свръхбърз пренос на електрони при използване на съвременните Грид технологии. След кратко изложение на задачата и използваните методи, е обоснована необходимостта от използване на Грид среда. За да получим резултати за различни еволюционни времена в разумен срок (поради трудоемкостта на задачата), задачата е разделена на хиляди подзадачи (задания), които се изпращат до различни сайтове в грид средата за изпълнение. За целта се използва графичния потребителски интерфейс за изпращане на подзадачите до различни грид сайтове (компютърни кълъстери, включени в Грид). Описана е използваната за експериментите Грид инфраструктура, както и необходимите Грид услуги за ефективна симулация. Представена е схема за Грид изпълнение и резултати от числените експерименти за нехомогенния случай на задачата с приложено електрично поле.

11. Karaivanova, A., Atanassov, E., **Gurov, T.**, Stevanovic, R., Skala, K., Variance Reduction MCMs with Application in Environmental Studies: Sensitivity Analysis, (2008) AIP Conference Proceedings, 1067 (1), pp. 549-558. DOI: 10.1063/1.3030829, ISSN: 0094-243X, [link](#)

Изследва се чувствителността на клас Монте Карло методи с намалена дисперсия за пресмятане на многомерни интеграли към генератори на случайни, псевдослучайни и квазислучайни числа, когато за моделиране на случайната величина се използва метод на селекцията. Това изследване е основа за разработване на Грид приложение за анализ на чувствителността на модели в областта на екологията.

Монте Карло са сред най-широко използваните методи при реални симулации. Тези методи могат да се разглеждат като методи за изчисляване на интеграл в единичния куб в подходящо (многомерно) измерение, наречен конструктивна размерност на метода.

Тъй като скоростта на сходимост към най-лошия случай $O(N^{-1/2})$ не зависи от размерността на интеграла, Монте Карло понякога е единственият жизнеспособен метод за широк спектър от проблеми с големи размерности. Много изследвания показват, че резултатът от симулацията може да бъде чувствителен към използваните случайни генератори, което означава, че получаването на неизместени (unbiased) оценки изисква внимателен подбор на генераторите. Генераторите на случайни числа, базирани на физически събития, представляват важен вариант в това отношение.

В тази статия се изучава чувствителността на клас Монте Карло методи с различни подходи (методи) за редуциране на дисперсията: (1) метод на важната (съществена) извадка), (2) метод на съществена извадка с използване на подхода на приемане-отхвърляне (acceptance-rejection) на генерираното случайно число, (3) равномерна извадка с тегла о вземане на проби и (4) обикновения (crude) Монте Карло метод. При прилагането на тези подходи за намаляване на дисперсията се използват различен тип генератори: генератор на квантови случайни битове, генератори на псевдослучайни числа и квази-случайни редици. Представени са обширни числени тестове на няколко тестови интеграла.

12. Atanassov, E., Dimitrov, D. Sl., **Gurov, T.**, SALUTE grid application using message-oriented middleware, (2009) AIP Conference Proceedings, 1186, pp. 183-191. DOI: 10.1063/1.3265328, ISSN: 0094-243X, [link](#)

Stochastic ALgorithms for Ultra-fast Transport in sEmiconductors (SALUTE) е приложение, разработено за решаване на различни интензивни изчислителни задачи, които описват свръхбърз транспорт в полупроводници. SALUTE изучава квантови ефекти по време на релаксационния процес, дължащи се на взаимодействието на електроните с фононите в еднолентови полупроводници или квантовите проводници (жици). Формално, SALUTE интегрира набор от нови Монте Карло, квази-Монте Карло и хибридни алгоритми за решаване на различни интензивни изчислителни задачи, описващи горния процес.

В тази статия е представена услугата Job Track Server (JTS), за подаване на заявки и управление на резервации. Тя е разработена с помощта на Message-Oriented мидълуер за имплементиране на стабилен, гъвкав механизъм при подаване и проследяване на задачите (заявките за изпълнение в грид среда). Услугата може да бъде приспособена към специфични приложения, изискващи качество на обслужване. Експерименти при

използване на JTS услугата са представени при подаване на заявки от SALUTE приложението.

13. Schwaha, P., Cervenka, J., Nedjalkov, M., **Gurov, T.**, Arsov, G., Misev, A., Zoric, A., Ilic, S., Computational electronics on GRID: A mixed mode carrier transport model, (2009) AIP Conference Proceedings, 1186, pp. 206-214. DOI: 10.1063/1.3265331, ISSN: 0094-243X, [link](#)

Нано-ерата на полупроводниковата електроника въвежда необходимостта от симулационни методи, които описват електронен транспорт в свръх малки устройства в смесен режим, където се разглеждат квантово-кохерентни процеси заедно с декохерентните процеси на разсейване. Последното може удобно да бъде описано в квантовата механика чрез функция на Вигнер, но кохерентния дубликат поражда тежки числени проблеми.

В тази работа предлагаме схема, която комбинира предимствата на функцията на Вигнер при сравнение с функцията на Грийн, която от своя страна е числено ефективна в кохерентния случай. Изведено е теоретично уравнение за корекциите на разсейването на кохерентната функция на Вигнер и е разработен и приложен Монте Карло алгоритъм за изчисляване на тези корекции. Численото изпълнение на предложения алгоритъм е реализирано в SEE-GRID инфраструктурата, за да се улесни бързото получаване на резултати.

14. Atanassov, E., Karaivanova, A., **Gurov T.**, Ivanovska, S., Durchova, M. Using Sobol Sequence in Grid Environment. Proceeding of 32nd International Convention MIPRO/GVS 2009, 1, 2009, ISBN:978-953-233-044-1, 290-294, **без SJR, индексирано в WoS или Scopus** [Линк](#)

Изчислителният грид е потенциално хетерогенна изчислителна среда, и потребителят не познава спецификата на използваната архитектура. Следователно, паралелните алгоритми трябва да са адаптируеми към хетерогенността, като е осигурено автоматично балансиране на натоварването. Монте Карло методите могат ефективно да работят в такава среда при наличие на паралелни генератори на псевдослучайни числа. Използването на квази-Монте Карло алгоритми е свързано с повече трудности. И в двата случая ефективното изпълнение на алгоритмите зависи от функционалността на пакетите за генериране на псевдослучайни или квазислучайни числа.

В тази работа е представен анализ на грешката и изпълнението на грид-приложими квази-Монте Карло алгоритми с намалена дисперсия, с използване на редицата на Соболю. Разгледана е редицата на Соболю и алгоритъм за генериране на разместена (разбъркана) редица, подходящ за грид приложения. Редицата е тествана със задачи за числено интегриране с размерност 100 върху хетерогенен грид. За тестовите резултати върху грид са използвани 20 процесорни ядра от грид клъстер BG04-ACAD и 32 процесорни ядра от грид клъстер BG03-NGCC едновременно. Паралелната ефективност се измерва със специално дефиниран параметър T_{opt}/T_m , където T_{opt} е теоретично оптималното време за изпълнение, а T_m е измереното. Точността на квази-Монте Карло алгоритъма е приблизително същата, както тази на обикновения Монте Карло метод (поради високата ефективна размерност), паралелната ефективност с редицата на Соболю е по-добра, но основната разлика е времето за изпълнение – квази-Монте Карло алгоритъма е 12 пъти по-бърз поради качествата на алгоритъма за генерация на редица на Соболю, предложен в статията.

15. Syrakov, D., Prodanova, M., Ganev, K., Miloshev, N., Atanassov, E., **Gurov, T.**, Karaivanova, A.. The grid computing – Powerful tool for Multi-Scale Atmospheric Composition Modelling. 9th International Multidisciplinary Scientific Geoconference and EXPO - Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, SGEM 2009, 2, Surveying Geology & Mining Ecology Management (SGEM), 2009, ISBN:978-954918181-4, 365-372, **без SJR – индексирано в WoS или Scopus** [Линк](#)

Подробните изследвания на състава на атмосферата изискват провеждането на числени експерименти на много нива, които да изяснят взаимодействието между процесите на различни нива, но също така да прецизират изискванията за входните данни (емисии, гранични условия, различни скали). Трябва да се съобразят моделните интерфейси за различните скали: от синоптичната през мезо- до локалната скала. Накратко казано, трябва да бъдат проведени обширни изследвания на чувствителността, съобразени с параметрите и настройката на модела – предвестник на ансамблови прогнози от единичен модел.

Извършването на обширни симулации от този вид със съвременните сложни числени модели очевидно изисква значителни компютърни ресурси. Областта на гريد пресмятанията се развива много активно напоследък, което я прави много подходяща за решаване на големи задачи, нерешими доскоро. Разработена е гريد-приложима версия на моделите.

Настоящата статия представя задачи в областта на околната среда, които са разработени напоследък, тествани и оформени като гريد приложения.

16. **Gurov, T.**, Ivanovska, S., Karaivanova, A., Manev, N., Monte Carlo methods using new class of congruential generators, (2012) Advances in Intelligent and Soft Computing, 150 AISC, pp. 257-267. DOI: 10.1007/978-3-642-28664-3_24, ISSN: 1867-5662, [link](#)

В тази статия се предлага нов клас конгруентен генератор (генератори, които използват модулна аритметика) на псевдо-случайни числа, базиран на последователности, генериращи пермутации. Ще отбележим, че конструирането на конгруентни генератори с голям период на повторяемост и изпълняващи всички качества при генериране на псевдослучайни числа в интервала (0,1), като равномерно разпределение, бързо генериране, малка корелация е важна задача в изчислителната математика и статистика. Най-приложимите конгруентни генератори обикновено са с изместени регистри.

В тази работа са разгледани два типа генератори с пермутиращи последователности, които са тествани при приближено пресмятане на интеграли и интегрални уравнения с Монте Карло методи. Резултатите показват че са подходящи за тази цел.

17. Karaivanova, A., Atanassov, E., **Gurov, T.**, Monte Carlo simulation of ultrafast carrier transport: Scalability study, (2013) Procedia Computer Science, 18, pp. 2298-2306. DOI: 10.1016/j.procs.2013.05.401, ISSN: 1877-0509, [link](#)

В тази работа се разглеждат методите и алгоритмите на Монте Карло за решаване на квантово-кинетични интегрални уравнения, които описват електронния транспорт в полупроводниците. Описана е паралелната имплементация на алгоритмите и е

изследвана скалируемостта върху наличните в момента на национално ниво високопроизводителни изчислителни системи (BlueGene/P и високопроизводителния хетерогенен клъстер в ИИКТ-БАН). Представени са числени резултати за паралелната ефективност и изчислителната цена. Дискутирана е възможността за координирано използване на хетерогенни високопроизводителни ресурси от едно и също задание, за да се постигне по-добра производителност.

18. Karaivanova, A., Ivanovska, S., **Gurov, T.**, Monte Carlo method for density reconstruction based on insufficient data, (2015) *Procedia Computer Science*, 51 (1), pp. 1782-1790. DOI: 10.1016/j.procs.2015.05.390, ISSN: 1877-0509, [link](#)

В тази работа е разгледана задачата за реконструиране на неизвестна плътност на базата на дадена проба. Представен е метод за реконструкция на плътността, който включва B-сплайн апроксимация, метод на най-малките квадрати и метод Монте Карло за изчисляване на интеграли. Предлага се анализ на грешките. Методът се сравнява числено с други статистически методи за оценка на плътността и показва много обещаващи резултати.

19. Atanassov, E., **Gurov, T.**, Karaivanova, A., Parallel grid applications, (2015) *Grid Computing: Techniques and Future Prospects*, pp. 129-155. ISBN: 978-163482326-5;978-163117704-0, [link](#)

В тази глава от книгата “Grid Computing. Technics and Future Prospects” (eds. Jorge Barbosa and Ines Dutra) е представено развитието на паралелни приложения, използващи грид изчислителна среда. Описани са две алтернативни стратегии: (i) при изпълняване на голям брой пакетни задания по координиран начин и (ii) при изпълняване на паралелни задачи (използвайки MPI и/или OpenMP). Главата започва с кратко описание на паралелните изчисления и стандарта MPI, след което се представя и обсъжда различни стратегии за паралелизация в грид среда, включително интегриране на MPI стандарта в мидълуера на грида. Специално внимание е отделено на инструменти, които ускоряват изпълнението на задачите, като услуга, разработена от авторите на главата, наречена JTS (Job Track Service), както и някои техники за модела “map-reduce”. Като „case-study” е представен Грид приложението SALUTE (стохастични алгоритми за свръхбърз електронен транспорт), за да илюстрира някои практически аспекти на горните теми, обхващащи схемите за реализация в Грид среда с и без MPI, графичен интерфейс, използване на услуги с резервации, визуализация и скалируемост.

20. Radenski, A., **Gurov, T.**, Kaloyanova, K., Kirov, N., Nisheva, M., Stanchev, P., Stoimenova, E., Big data techniques, systems, applications, and platforms: Case studies from academia, (2016) *Proceedings of the 2016 Federated Conference on Computer Science and Information Systems, FedCSIS 2016*, pp. 883-888. DOI: 10.15439/2016F91, ISBN:978-8-3608-1090-3 ISSN: 2300-5963, [link](#)

Големите данни са широк термин с многобройни измерения, най-вече: характеристики на големи данни, техники, софтуерни системи, приложни домейни, компютърни платформи и среда за големи данни (индустрия, правителство и академични среди). В тази статия ние представяме накратко основните характеристики на големите данни и след това представяме седем казуса за техники, системи, приложения и платформи за големи данни, от академична гледна точка (перспективите

на индустрията и правителството не са предмет на тази публикация). Макар да смятаме, че е трудно, ако изобщо е възможно, да се обхванат всички важни измерения на големите данни в строг и единен, но разбираем език, ние вярваме, че представения набор от разнообразни казуси - като тези, описани в статията, може наистина да бъде от полза за широката голяма общност, ползваща големи данни, като помага на експертите в една сфера да разберат по-добре тенденциите и в други сфери.

21. Atanassov, E., **Gurov, T.**, Karaivanova, A., Ivanovska, S., Durchova, M., Dimitrov, D., On the parallelization approaches for Intel MIC architecture, (2016) AIP Conference Proceedings, 1773. DOI: 10.1063/1.4964983, ISSN: 0094-243X, [link](#)

Архитектурата Intel MIC е една от основните процесорни архитектури, използвани за производството на изчислителни ускорители. Поскъпването на ел. енергията и икономичността на ускорителите от този тип архитектура е една важна възможност за изграждане на нови високопроизводителни изчислителни системи - суперкомпютри. Ефективното използване на ускорителите обаче изисква внимателна оптимизация на всички етапи на алгоритмите при програмиране и използване на подходящи подходи за паралелизация. В областта на статистическите методи, квази-Монте Карло алгоритмите притежават различни предизвикателства, когато например, хиляди изчислителни ядра могат да се включат в изчисленията.

В тази статия подробно описваме и изследваме производителността на алгоритмите за генериране на някои популярни редици с ниска латентност, чрез използване на ускорители, произведени на основата на Intel MIC архитектурата.

Като използваме мощните векторни инструкции на Intel MIC архитектурата за паралелно обработване на много координати на разглежданите редици, получаваме бързи реализации, които могат да бъдат включени във всяко паралелно квази-Монте Карло изчисление. Представяме подробни числени и времеви резултати, които демонстрират ползата от нашите алгоритми и тяхната паралелна ефективност. Изследват се и ефектите при включването на опцията хипер-трединг на изчислителните ядра на разглежданите ускорители.

22. **Gurov, T.**, Karaivanova, A., Alexandrov, V., Energy study of Monte Carlo and Quasi-Monte Carlo algorithms for solving integral equations, (2016) Procedia Computer Science, 80, pp. 1897-1905. DOI: 10.1016/j.procs.2016.05.492, ISSN:1877-0509, [link](#)

През последните няколко години разработването на exascale (10^{18} операции в секунда) изчислителна технология изисква получаване на оценка за консумацията на ел. енергия, когато се решават задачи с големи размерности с различни високопроизводителни компютърни системи - суперкомпютри. В тази статия авторите изучават енергийната ефективност на клас от Монте Карло (МК) алгоритми и квази-Монте Карло (КМК) алгоритми за даден тип интегрално уравнение, като се използват хибридни високопроизводителни системи (класическите процесори с изчислителни ядра (CPUs) и ядрата на графични карти (GPUs) . Алгоритмите се прилагат за решаване на квантови кинетични интегрални уравнения, описващи ултра-бърз транспорт в квантова жица. Енергийната ефективност на алгоритмите е сравнена, използвайки компютърна платформа базирана с GPU ядра, и компютърна платформа базирана на процесори с CPU ядра, които използват хипер-трединг (hyper-threading (HT)) технология.

SPRNG библиотеката и CURAND генераторът са използвани за да генерират паралелни псевдослучайни редици, когато се прилагат МК алгоритмите върху двата типа изчислителни платформи (CPU- и GPU-изчислителни платформи). При квази-Монте Карло алгоритмите се използват редиците на Собол и Холтън за получаване на паралелни квази-случайни редици. Получените числени резултати от изпълнението на алгоритмите се сравняват с дадена енергийна метрика. Резултатите от изследването показват важността на отчитането не само на скалируемостта на разглежданите алгоритми (паралелната ефективност), но и на тяхната енергийна ефективност. Резултатите показват, че е необходимо по-нататъшно оптимизиране на квази-Монте Карло алгоритмите при използване на GPU - базирани компютърни платформи.

23. **Gurov, T.**, Atanassov, E., Karaivanova, A., Serbezov, R., Spassov, N., Statistical Estimation of Brown Bears (*Ursus arctos* L.) Population in the Rhodope Mountains, (2017) *Procedia Computer Science*, 108, pp. 2028-2037. DOI: 10.1016/j.procs.2017.05.272, ISSN: 1877-0509, [link](#)

Кафявата мечка (*Ursus arctos* L.) е най-разпространената мечка в света. Тя може да се намери в Европа, Азия и Северна Америка в местообитания, вариращи от гори до сухи пустини и тундри. Едно от най-добрите природни местообитания на кафяви мечки (*Ursus arctos* L.) в Европа се намират в България. Тези местообитания са разположени в планинските масиви: Родопи, Стара планина, Рила, Пирин и Витоша. Видът е строго защитен, а Законът за опазване на природата обявява зони за опазване на нейните местообитания. Ето защо е важно да се оцени популацията на кафявите мечки и как тази популация се променя в страната през годините.

В тази работа изследваме популацията на кафяви мечки в Родопите, като се използват статистически данни, получени от Националните мониторинги, проведени през есента на 2011 и 2012 г. Събраните данни (следи от дейност на мечките) по време на Националните наблюдения са непълни и съдържат някои несъответствия. Тук предлагаме някои подходи за разрешаване на този проблем и получаване на задоволителна оценка на популацията от кафява мечка в Родопите. Предложените подходи могат да бъдат приложени за оценка на популацията на вида и в други планински масиви.

24. Karaivanova, A., Alexandrov, V., **Gurov, T.**, Ivanovska, S., On the Monte Carlo matrix computations on Intel MIC architecture, (2017) *Cybernetics and Information Technologies*, 17 (5), pp. 49-59. DOI: 10.1515/cait-2017-0054, ISSN: 1311-9702, [link](#)

По-строгите енергийни изисквания при проектирането на съвременни високопроизводителни изчислителни системи водят до увеличено използване на изчислителни ускорители. Intel компанията представи архитектурата за много интегрирани ядра (MIC) за своята линия от ускорители и успешно се конкурира с NVIDIA въз основа на цена/производителност и лесен подход за развитие. Въпреки че някои програмни кодове могат да бъдат успешно пренесени в архитектурата на Intel MIC без значителни модификации, за да се постигне оптимална производителност, трябва да се използват оптимално възможностите на векторната обработка на архитектурата. В тази работа представяме прилагането на квази-Монте Карло методи за матрични изчисления, специално оптимизирани за Intel Xeon Phi ускорители. За да постигнем оптимална паралелна ефективност, използваме както MPI, така и OpenMP.

25. Atanassov, E., **Gurov, T.**, Ivanovska, S., Karaivanova, A., Simchev, T., On the parallel implementation of quasi-monte carlo algorithms, (2018) Lecture Notes in Computer Science, 10665 LNCS, pp. 258-265. DOI: 10.1007/978-3-319-73441-5_27, ISSN: 0302-9743, [link](#)

Квази-Монте Карло алгоритми използват детерминистични редици с ниска латентност, за да увеличат скоростта на сходимост на стохастичните алгоритми (от типа МК). Такива алгоритми са широко приложими и консумират голяма част от изчислителното време върху високопроизводителните компютърни системи, сравнено с времето за комуникации. Последните постижения в суперкомпютърната индустрия все повече разчитат на ускорители и други подобни устройства, които подобряват енергийната ефективност и предлагат по-добра производителност за определен тип изчисления. Копроцесорите на Intel Xeon Phi комбинират ефективни векторни изчисления с плаваща запетая с позната операционна и развойна среда. Една потенциално трудна част от преобразуването на Монте Карло алгоритъм в квази-Монте Карло е генерирането на редици с ниска латентност. На такова специализирано оборудване като Xeon Phi, стойността на паметта се увеличава поради наличието на голям брой изчислителни ядра. С цел да се даде възможност на квази-Монте Карло алгоритмите да използват хибридно програмиране на OpenMP+MPI, ние реализирахме генерални процедури, които спестяват както пространството на паметта, така и честотната лента на паметта, с цел разширяване на приложимостта на квази-Монте Карло алгоритмите в среди с изключително голям брой изчислителни елементи. В тази работа е представена хибридна реализация, която е сравнена с обикновения Монте Карло, използвайки популярен генератор на псевдослучайни числа, като се демонстрира приложимостта и предимствата на нашия подход.

26. Alexandrov, V., Davila, D., Esquivel-Flores, O., Karaivanova, A., **Gurov, T.**, Atanassov, E., On monte carlo and quasi-monte carlo for matrix computations, (2018) Lecture Notes in Computer Science, 10665 LNCS, pp. 249-257. DOI: 10.1007/978-3-319-73441-5_26, ISSN: 0302-9743, [link](#)

Тази статия се фокусира върху свеждане до минимум на комуникациите в методите на Монте Карло за линейна алгебра и по този начин се подобрява производителността на метода като цялост. Фокусът е върху производството на малък брой покриващи се марковски вериги, които са много по-дълги от обичайно необходимите. Така този подход позволява много ефективен модел на комуникация, който дава възможност за предаване на извадачната (семплирана) част от матрицата в паралелен случай. Понататък подходът се прилага и към квази-Монте Карло. Направено е сравнение на ефективността на новия подход в случай на разредени обратни матрици и с използване на хибридни Монте Карло и квази-Монте Карло алгоритми при решаване на системи от линейни алгебрични уравнения. Представени са експериментални резултати, показващи ефективността на нашия подход върху набор от тестови матрици. Числовите експерименти са изпълнени на суперкомпютъра MareNostrum III в суперкомпютърния център на Барселона (BSC) и на суперкомпютъра Авитохол в Института за информационни и комуникационни технологии, София.