

## ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

**I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ**

1. Датум и орган који је именовео комисију:

30.03.2017, Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад,  
Решење бр. 012-199/22-2016

2. Састав комисије са знаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:

1. др Жарко Живанов, доцент, председник комисије  
УНО: Примењене рачунарске науке и информатика  
Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука Нови Сад
2. др Срђан Шкрбић, ванредни професор, члан комисије  
УНО: Информационе технологије и системи  
Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет Нови Сад
3. др Душан Илић, доцент, члан комисије  
УНО: Физика  
Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука Нови Сад
4. др Антун Балаж, научни саветник, члан комисије и ментор  
УНО: Физика  
Универзитет у Београду, Институт за физику у Београду
5. др Мирослав Хајдуковић, редовни професор, члан комисије и ментор  
УНО: Примењене рачунарске науке и информатика  
Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука Нови Сад

**II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ**

1. Име, име једног родитеља, презиме:

Богдан, Миљко, Сатарић

2. Датум рођења, општина, држава:

12. 12. 1983. године, Београд, Србија

3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив

Факултет техничких наука, рачунарство и аутоматика (интегрисане основне и мастер студије), дипломирани инжењер електротехнике и рачунарства – мастер

4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија  
2009, Рачунарство и аутоматика

5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране:

Кандидат није студирао на магистарским студијама према претходном Закону о високом образовању.

6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука:

-

### **III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Паралелно транспоновање података у оквиру нумеричког алгоритма за решавање Грос-Питаевски једначине

### **IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Навести кратак садржај са знаком броја страна, поглавља, слика, шема, графика и сл.

Ова докторска дисертација припада научној области Примењене рачунарске науке и информатика. Написана је на српском језику (латиница), док је апстракт тезе у кључној документацијској информацији дат на српском и на енглеском језику. Дисертација садржи седам поглавља, као и библиографију, индекс слика и индекс програмских листинга. Написана је на 151 страна А4 формата (не узимајући у обзир насловну страну, кључну документацијску информацију, садржај, захвалницу и сажетак) и обухвата 88 референци, 26 слика и 51 програмски листинг. Дисертација се састоји од следећих поглавља:

1. Увод
2. Проблем резолуције физичког система
3. Декомпозиција и транспоновање дистрибуираних 2Д матрица
4. Развој алгоритма за транспоновање дистрибуираних 3Д матрица
5. Техничка имплементација хибридног C/OpenMP/MPI решења
6. Мерење ефикасности и дискусија
7. Закључак
8. Библиографија
9. Индекс слика
10. Индекс листинга

У првом поглављу описана је физичка позадина Бозе-Ајнштајн кондензације, Кренк Николсон нумерички алгоритам у 1Д и 3Д, као и тема, предмет, главни циљеви и задаци истраживања. Основни мотив истраживања ове дисертације јесте развијање ефикасног алгоритма дистрибуције и паралелног транспоновања 3Д матрица, као и његово укључивање у постојећи алгоритам Кренк-Николсон пропагације за решавање Грос-Питаевски једначине

са циљем убрзавања програма у случају када је резолуција физичког система изразито велика.

У другом поглављу разматран је проблем нумеричких симулација за решавање Грос-Питаевски једначине у великој резолуцији и представљено је C/OpenMP решење Кренк-Николсон нумеричког алгорита за примену на рачунарима са дељеном меморијом. Описани су сви битни фајлови и функције нумеричког алгорита како би се читалац ближе упознао са програмским мапирањем нумеричких поступака описаних у уводном поглављу. Поред овога, анализиран је програмски код постојећег решења како би се у петом поглављу лакше разумео преглед измена неопходних за хибридно решење. На крају другог поглавља објашњена су ограничења постојећег решења везана са резолуцију физичког система и дат је предлог хибридног C/OpenMP/MPI решења које ће уклонити ова ограничења.

У трећем поглављу разматрани су различити изазови декомпозиције и транспоновања дистрибуираних матрица у 2Д. Представљени су алгоритми блоковске и блок-цикличне дистрибуције дводимензионалних матрица, као и алгоритми транспоновања дводимензионалних матрица за различите случајеве односа броја чворова по врстама и колонама матрице.

У четвртном поглављу представљена је еволуција алгорита дистрибуције и транспоновања дводимензионалних и тродимензионалних матрица од референтних алгорита описаних у трећем поглављу, до оригиналног хибридног алгорита реализованог у пројекту GP-SCL-HYB.

У петом поглављу је приказана техничка имплементација предложеног хибридног алгорита. Приказано је креирање MPI типова података за аутоматизовану декомпозицију и транспоновање. Направљен је осврт на све неопходне измене у фајловима и функцијама описаним у другом поглављу како би се имплементирало хибридно решење. На крају поглавља дат је преглед сценарија тестирања хибридног алгорита.

У шестом поглављу је представљена методологија за мерење ефикасности и перформанси развијеног хибридног алгорита. Добијени резултати су дискутовани у контексту даљих примена.

У седмом поглављу дат је краћи приказ постигнутих резултата, главних доприноса докторске тезе и могућности њихове примене. Такође, предложени су могући правци даљег истраживања.

У осмом поглављу дата је библиографија свих референци које су коришћене у истраживању и припреми докторске тезе, а у последња два поглавља су дати индекси слика и програмских листинга у тези.

## **V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Оригинални научни резултати ове докторске дисертације приказани су у другом, четвртном и петом поглављу, а односе се на следеће теоријске и практичне аспекте.

У другом поглављу кандидат је анализирао постојећи програм за временску пропагацију таласне функције Бозе-Ајнштајн кондензата уз помоћ Кренк-Николсон алгорита за примену на рачунару са дељеном меморијом. Недвосмислено је доказано да такав програм уводи стриктна ограничења на доступну резолуцију физичког система која може да се проучава у нумеричким симулацијама.

Као последица претходног, кандидат је указао на неопходност коришћења дистрибуиране меморије и 3Д транспоновања у случају високе резолуције неопходне за проучавање многих класа физичких система. Један од важних доприноса је да је кандидат формулисао предлог хибридног решења које комбинује постојеће решење на бази OpenMP-а и дељене меморије са употребом MPI библиотеке и дистрибуираном меморијом. Приказана је предност датог решења у виду мањег заузећа меморије по једном рачунару кластера, као и ограничења у виду односа броја просторних тачака према броју рачунара у кластеру. У

другом поглављу је представљен и предлог транспоновања дистрибуираних података у 3Д, као кључног елемента у развоју паралелног Кренк-Николсон алгоритма.

У трећем поглављу кандидат се бавио проблемима који проистичу из дистрибуирања и транспоновања дистрибуираних дводимензионалних матрица. Описане су блоковска и блок циклична дистрибуција дводимензионалних матрица. Кандидат се бавио проблемима транспоновања дистрибуираних 2Д матрица, а посебно су представљени референтни алгоритми транспоновања у случају када је највећи заједнички делилац броја чворова по врстама и колонама процесорске мреже једнак јединици или већи од јединице. Дати алгоритми су представљени као почетна тачка развоја новог алгоритма транспоновања у 3Д.

У четвртном поглављу кандидат је представио развојни циклус хибридног решења од 2Д случаја представљеног у трећем поглављу до пуног 3Д хибридног решења предложеног у другом поглављу. Свака итерација у развојном циклусу програма представљена је као засебан пројекат, при чему је свака нова верзија доносила нове функционалности у односу на претходну верзију и поправљала уочене проблеме. У оквиру коначног хибридног решења GP-SCL-HYB представљено је креирање MPI типова података за аутоматизовану декомпозицију и транспоновање 3Д матрица.

Након овога, у петом поглављу представљене су измене постојећих функција и новоуведене функционалности ради имплементације хибридног решења. Измене су документоване детаљно, наглашавајући њихов број и комплексност.

Кандидат је посебну пажњу посветио тестирању тачности хибридног решења кроз поређење нумеричких резултата са оригиналним решењем на сваком нивоу програма – линији кода, групи линија кода, функција и целог програма. Развијене су помоћне функције које су омогућиле лакше тестирање на комплексном систему какав је кластер рачунара.

Шесто поглавље је у потпуности посвећено развоју и опису аутоматизованих тестова за мерење ефикасности, убрзања и скалирања хибридног решења, као и утицај хибридног алгоритма на перформансе програма. Приказани су и дискутовани детаљни резултати мерења ефикасности, указујући на веома добре перформансе реализованог хибридног решења.

## **VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ**

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у часопису са ISI листе односно са листе министарства надлежног за науку када су у питању друштвено-хуманистичке науке или радове који могу заменити овај услов до 01. јануара 2012. године. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду о томе.

Кандидат је објавио један научни рад који представља резултат ове докторске дисертације и четири научна рада који представљају резултат других истраживачких активности у току докторских студија. Као резултат истраживања у оквиру ове докторске дисертације, кандидат има објављен један рад у часопису међународног значаја који се налази на SCI листи [1] категорије M21a. Резултате других истраживања у току докторских студија представљају три рада међународног значаја који се налазе на SCI листи [2, 3] категорије M21, један рад [4] категорије M22, као и један рад у зборнику радова са међународног скупа, штампаног у целини [5] категорије M33.

Списак радова које је објавио кандидат:

[1] **B. Satarić**, V. Slavnić, A. Belić, A. Balaž, P. Muruganandam, S. K. Adhikari, "Hybrid

OpenMP/MPI programs for solving the time-dependent Gross-Pitaveskii equation in a fully anisotropic trap", Computer Physics Communications **200**, 411 (2016).

DOI: 10.1016/j.cpc.2015.12.006

[2] M. Satarić, D. Sekulić, **B. Satarić**, "Actin filaments as the fast pathways for calcium ions involved in auditory processes", Journal of Biosciences **40**, 549 (2015).

DOI: 10.1007/S12038-015-9547-Z

[3] D. Sekulić, **B. Satarić**, J. Tuszynski, M. Satarić, "Nonlinear ionic pulses along microtubules", European Physical Journal E **34**, 49 (2011).

DOI: 10.1140/epje/i2011-11049-0

[4] M. Satarić, D. Sekulić, **B. Satarić**, S. Zdravković, "Role of nonlinear localized  $Ca^{2+}$  pulses along microtubules in tuning the mechano-sensitivity of hair cells", Progress in Biophysics and Molecular Biology **119**, 162 (2015).

DOI: 10.1016/J.PBIOMOLBIO.2015.07.009

[5] M. Satarić, **B. Satarić**, "Ionic pulses along cytoskeletal protofilaments", Journal of Physics: Conference Series **329**, 012009 (2011).

DOI: 10.1088/1742-6596/329/1/012009

## VII ZAKЉUČCI OДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

У овој докторској дисертацији је показано да су раније развијени нумерички алгоритми и програми за решавање Грос-Питаевски једначине уз помоћ Кренк-Николсон методе на рачунарима са дељеном меморијом недовољни за проучавање широке класе система код којих је неопходно коришћење високе резолуције за таласну функцију система. Ово ограничење произилази из недовољне количине радне меморије на једном рачунару за системе проучаване у високој резолуцији, као и због недовољне брзине обраде великог скупа података који би такав систем описивао.

У дисертацији је формулисан хибридни алгоритам који омогућава проширење постојећег решења из парадигме дељене меморије на хибридну парадигму дистрибуиране и дељене меморије. Проширење се огледа у дистрибуирању и обради података на кластеру рачунара, чиме се имплицитно омогућава временска еволуција физичког система са великим нивоом детаља. Као подршка остварењу основног циља, развијено је више верзија алгоритама дистрибуције и транспоновања тродимензионалних матрица, при чему је коначан алгоритам искоришћен за формулисање и имплементацију хибридног алгоритма за решавање Грос-Питаевски једначине. У сврху верфикације тачности рада новог алгоритма и његове имплементације, развијено је аутоматско тестирање нумеричке тачности хибридног алгоритма у односу на алгоритам који користи дељену меморију. Развијени су и аутоматски тестови за мерење убрзања и скалирања који су показали одличне перформансе и скалабилност новог хибридног решења.

Резултати добијени овим истраживањем омогућиће поуздано проучавање временске еволуције Бозе-Ајнштајн-кондензованих система са великим нивоом детаља, што је неопходно у многим случајевима, а посебно код система са неколико дужинских скала, код којих најмања од њих диктира неопходну резолуцију. Тиме ће се широј научној заједници, која укључује истраживачке групе које проучавају ултрахладне атоме, као и нелинеарну и квантну оптику омогућити проширење досадашњих истраживања и проучавање различитих нових феномена.

Комисија сматра да су наведени резултати значајни и да одговарају очекиваним резултатима једне докторске дисертације. Комисија такође сматра да су остварени резултати

важни у ширем контексту, јер представљају основу за реализацију даљих истраживања и примену у пракси.

Посебно наглашавамо да је у овој докторској дисертацији предложено неколико праваца даљих истраживања у области Примењене рачунарске науке и информатика, за које ова дисертација пружа добре основе.

Први правац будућих истраживања представља проширење хибридног решења са циљем да се направи још један ниво хибридизације. Додатни ниво би омогућио убрзање локалних прорачуна користећи графичке картице - GPGPU (у CUDA или OpenACC окружењу), уместо искључивог коришћења процесора (CPU у OpenMP окружењу).

Други правац представља додатну оптимизацију хибридног алгорита уз висок ниво употребе кеш меморије, као и смањење потрошње RAM меморије. Оптимизација би била спроведена и кроз елиминисање међузависности између петљи са циљем додатног убрзања кода који се извршава на процесорима (CPU) или графичким картицама.

Трећи правац представља развој аутоматског софтвера који би проналазио оптималну конфигурацију кластера (број чворова кластера и OpenMP нити) за одређену величину улаза и понуђене рачунарске ресурсе кластера.

Сви представљени правци истраживања пружају одговарајућу основу за потенцијалне нове теме докторских дисертација.

## **VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА**

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Кандидат је на систематичан и коректан начин приказао стање у области истраживања, анализирао предметни проблем, формулисао метод за решавање предметног проблема, верификовало добијене резултате, предложио могућности њихове примене и указао на даље правце истраживања.

Стога Комисија позитивно оцењује начин приказа и тумачења резултата истраживања.

## **IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме

**ДА**

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе

**ДА**

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци

Кандидат је самостално и успешно осмислио оригиналан хибридни алгоритам и развио паралелна софтверска решења која представљају главни допринос ове докторске дисертације, путем којих се омогућава ефикасно проучавање временске еволуције Бозе-Ајнштајн-кондензованих система у високој резолуцији. Тиме је остварен значајан помак у односу на анализирано стање у области истраживања.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања

Дисертација је комплетна и сви приказани резултати су научно засновани, коректни,

и репродуцибилни. Дисертација нема недостатака који би имали негативан утицај на остварене резултате истраживања. Постоји простор за даља истраживања и унапређивање резултата представљених у овој дисертацији.

#### **X ПРЕДЛОГ:**

На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:

**да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана.**

На основу укупне оцене дисертације, увида у истраживачки рад кандидата, и сагласно свим претходно изнетим чињеницама у овом Извештају, Комисија предлаже да се докторска дисертација под називом

**Паралелно транспоновање података у оквиру нумеричког алгоритма за решавање  
Грос-Питаевски једначине**

кандидата **Богдана Сатарића**, мастер инжењера електротехнике и рачунарства, прихвати, а кандидату одобри одбрана.

#### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

---

др Жарко Живанов, доцент  
Факултет техничких наука у Новом Саду

---

др Срђан Шкрбић, ванредни професор  
Природно-математички факултет у Новом Саду

---

др Душан Илић, доцент  
Факултет техничких наука у Новом Саду

---

др Антун Балаж, научни саветник  
Институт за физику у Београду

---

др Мирослав Хајдуковић, редовни професор  
Факултет техничких наука у Новом Саду

**НАПОМЕНА:** Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај.