

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ  
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата мр Ђорђа Ђурђевића.

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду бр. 2116/2, донетом на 758. седници од 22.01.2013. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Ђорђа Ђурђевића под насловом

ЕФИКАСНА ПАРАЛЕЛНА КОМПРЕСИЈА ПОЉА ВИСИНА

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

**РЕФЕРАТ**

**1. УВОД**

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат мр Ђорђе Ђурђевић стекао је звање магистра електротехнике 2006. године на Електротехничком факултету у Београду, са темом рада "Динамичка реконфигурација модела терена са неправилним ивицама" из уже научне области Рачунарска техника и информатика, односно подобласти Рачунарска графика, под менторством др Игора Тартаље.

Кандидат је пријавио тему докторске дисертације на Електротехничком факултету у Београду 31. октобра 2012. године. Наставно-научно Веће Електротехничког факултета, на 755. седници Изборног и Наставно-научног већа, одржаној 6.11.2012. године, именовало је Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације у саставу др Игор Тартаља, доцент (ментор, Електротехнички факултет у Београду), др Мило Томашевић, ванредни професор (Електротехнички факултет у Београду) и др Душан Старчевић, редовни професор (Факултет организационих наука у Београду). Извештај Комисије усвојен је од стране Наставно-научног Већа Електротехничког факултета на 756. седници Изборног и Наставно-научног већа, одржаној 27.11.2012. године, и од стране Већа научних области на Универзитету на седници одржаној 24.12.2012. године.

Кандидат је предао докторску дисертацију дана 11.1.2013. године. На 758. седници Изборног и Наставно-научног већа, одржаној 22.1.2013. године, именована је Комисија за преглед и оцену докторске дисертације мр Ђорђа Ђурђевића, под насловом "Ефикасна паралелна компресија поља висина". Чланови именоване комисије су: др Игор Тартаља, доцент (ментор, Електротехнички факултет у Београду), др Зоран Јовановић, редовни професор

(Електротехнички факултет у Београду), др Душан Старчевић, редовни професор (Факултет организационих наука у Београду), др Мило Томашевић, ванредни професор (Електротехнички факултет у Београду) и др Милан Прокин, редовни професор (Електротехнички факултет у Београду).

## 1.2. Научна област дисертације

Научна област дисертације је Електротехника и рачунарство, а ужа научна област је Рачунарска техника и информатика. За ову ужу научну област матичан је Електротехнички факултет у Београду.

Дисертација је рађена под менторством доцента др Игора Тартаље. Ментор испуњава законске услове за ментора, бави се научним радом у ужој области Рачунарска техника и информатика, професионално се бави развојем софтвера за презентацију дигиталних терена, а предаје између осталих и предмет Рачунарска графика на којем се изучава презентација тродимензионалних сцена.

## 1.3. Биографски подаци о кандидату

Мр Ђорђе Ђурђевић рођен је 21.6.1976. године у Београду. Дипломирао је 2001. године на Електротехничком факултету у Београду, са највећом просечном оценом у школској 2000/01. години на Одсеку за рачунарску технику и информатику. Магистрирао је 2006. године на Електротехничком факултету у Београду. Од октобра 2001. године до јануара 2005. године ради на Електротехничком факултету у Београду, у звању асистента-приправника при Катедри за Општу електротехнику. Од јануара 2005. године ради при Катедри за Рачунарску технику и информатику, најпре у звању асистента приправника, а затим, од 2007. године, у звању асистента. Држао је аудиторне вежбе на предметима Теорија електричних кола, Рачунарска графика, Програмирање 1, Програмирање 2, Алгоритми и структуре података, Објектно оријентисано програмирање 1 и Објектно оријентисано програмирање 2. На предметима Рачунарска графика, Алгоритми и структуре података, Објектно оријентисано програмирање 1 и 2 учествовао је у организовању и одржавању лабораторијских вежби. У периоду од 2001. године до 2005. године држао је аудиторне вежбе из предмета Рачунарска графика на Војнотехничкој академији у Жаркову. Објавио је око 20 радова на конференцијама и у часописима, од домаћег или међународног значаја. Учествовао је у једном ТЕМПУС пројекту и неколико пројеката Министарства за науку и технолошки развој републике Србије. Учествовао је у изради неколико софтверских решења од домаћег или међународног значаја, која се успешно примењују у пракси.

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### 2.1. Садржај дисертације

Дисертација садржи насловну страну и кратак резиме рада на српском и енглеском језику, садржај, 9 поглавља, списак коришћене литературе, кратку биографију аутора, изјаву о ауторству, изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторске дисертације и изјаву о коришћењу. Поглавља су насловљена: 1. Увод, 2. Проблем, 3. Постојећа решења, 4. Суштина методе, 5. Детаљи методе, 6. Имплементација методе, 7. Резултати и дискусија, 8. Примена предложене методе, 9. Закључак. Дисертација садржи 116 страна (не рачунајући изјаве дате у прилогу), 27 илустрација и 6 табела.

## 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Уводно поглавље истиче значај компресије поља висина, којима се у пракси често представљају дигитални модели терена, уз осврт на разноврсне области њихове примене: визуелизација уз интерактиван рад, планирање у грађевини, симулација геоморфолошких процеса и друге. Уочава се нарочит значај компресије поља висина са напретком технологија за детектовање на даљину (енг. *remote sensing*) у протеклој деценији, који је омогућио снимање реалних терена на хоризонталним резолуцијама реда метра и вертикалним реда дециметра. Описује се и основна идеја методе која се предлаже у дисертацији. Посебно се наглашавају њене квалитативне предности у односу на постојеће методе, уз истицање високог степена паралелизма, погодног за примену на модерним графичким процесорима.

У другом поглављу, најпре су дате дефиниције значајних термина који се користе у дисертацији. Затим је представљен проблем истраживан у оквиру дисертације и објашњена је мотивација за истраживање у домену компресије терена, поткрепљена бројним примерима. На пример, меморијски простор потребан за складиштење снимљене површине целе планете величине Земље износи неколико десетина терабајта. Појава апликација на Интернету за интерактивно разгледање површи планете Земље у 3D, попут Google Earth компаније Google, или Virtual Earth компаније Microsoft, показала је да постоји велико интересовање корисника за том врстом информација. Обрада велике количине података од којих се састоје модели реалних терена захтева ефикасно складиштење и пренос од места складиштења до места обраде. Зато су и за произвођаче и за кориснике софтвера за приказивање терена од великог значаја могућности ефикасне компресије поља висина.

У трећем поглављу најпре је дат преглед постојећих решења из области компресије поља висина (дигиталних терена), са или без губитака. Посебно су разматране секвенцијалне методе, намењене извршењу на централном процесору, као и паралелне методе, намењене извршењу на модерним графичким процесорима. Затим је дат опис методе RBUC која је у дисертацији употребљена као основа за додатну паралелну компресију података.

У четвртом поглављу објашњена је суштина развијене методе за компресију поља висина. Објашњење је поткрепљено и илустровано једноставним примером. Затим су детаљно описане особине развијене методе, које у целини ову методу чине јединственом у односу на претходно објављене методе.

У петом поглављу описани су детаљи методе. Најпре је дат кратак опис квадратних Безјеових кривих и површи, којима се врши груба апроксимација поља висина и на којима је заснована основна идеја компресије код ове методе. Затим је објашњен начин на који се у методи рачунају параметри Безјеових кривих и површи, и начин на који се кодирају резидуали (грешке апроксимације). Разматрана је могућа генерализација методе. У наставку поглавља извршена је процена временске сложености алгоритама за компресију и декомпресију података. Коначно, објашњен је начин измене методе RBUC којом је извршена додатна компресија резидуала.

У шестом поглављу дати су детаљи имплементације методе. Најпре је образложен избор технологије и језика CUDA C за рачунски-оријентисане апликације. Затим је дат преглед CUDA архитектуре и програмског модела. Потом су дати детаљи имплементације на изабраној платформи и дат је псеудокод алгоритама за компресију и декомпресију. Посебно је разматрана имплементација и оптимизација модификације RBUC методе за додатну компресију резидуала.

У седмом поглављу најпре су изложени циљ и услови под којима су спроведена мерења перформанси предложене методе. Затим су приказани и анализирани добијени резултати у

вези са степеном компресије, грешком апроксимације компресије са губицима и перформансама методе. Дискутовани су узроци и последице добијених резултата. Потом је извршено детаљно поређење предложене методе са савременим компетитивним приступом у погледу перформанси и квалитативних особина. На крају поглавља дат је резиме анализе резултата.

У осмом поглављу разматрана је употреба предложене методе у оквиру система за визуелизацију модела дигиталних терена са интерактивним управљањем виртуелном камером. Најпре је објашњен начин функционисања система, и дати су најбитнији детаљи његове имплементације. Затим је објашњен начин на који је метода компресије употребљена у оквиру система и приказани су резултати мерења перформанси које систем остварује уз примену предложене методе компресије, са или без додатне компресије резидуала. Извршено је поређење остварених перформанси са перформансама система без употребе компресије поља висина. На крају поглавља дат је резиме остварених резултата.

У закључку дисертације изнет је скуп најважнијих особина предложене методе, уз истицање јединствености тог скупа у односу на друге методе. Предочено је да је постигнута брзина декомпресије поредива (мало већа) са брзином декомпресије претходно објављене најбоље методе прилагођене графичком процесору, али да предложена метода постиже велику брзину декомпресије и под значајно мањим оптерећењем (количином података које треба декомпримовати). Поред наведених јединствених карактеристика, ово представља посебну предност у односу на најбољу претходно објављену методу, чија брзина декомпресије значајно опада са смањењем оптерећења. Такође, за разлику од претходне методе, која успешно паралелизује само алгоритам декомпресије, предложена метода решава и проблем ефикасне паралелне компресије, отварајући перспективу за пренос преко мреже и визуелизацију удаљених променљивих терена у реалном времену. На крају закључка, дискутовано је о неколико могућих праваца даљег истраживања.

### 3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Предмет истраживања у докторској дисертацији кандидата је компресија података који представљају поље висина. У оквиру истраживања, развијена је ефикасна метода која, користећи висок расположиви степен паралелизма савремених графичких процесора, врши компресију и декомпресију поља висина. Тема дисертације је веома актуелна, с обзиром на то да су се технологије за ефикасно програмирање графичких процесора за општенаменско паралелно рачунање појавиле недавно, а широка доступност графичких процесора чини их атрактивном платформом за развој и имплементацију паралелних алгоритама. До сада је обављен релативно мали број истраживања у циљу проналажења решења за ефикасну употребу графичких процесора за компресију и декомпресију поља висина, што предложену методу чини једном од првих у тој области. Грануларност паралелизма у развијеној методи је на нивоу појединачних тачака поља висина, чиме се постиже максимално искоришћење графичког процесора. Уместо *предикције*, која је уобичајена код секвенцијалних алгоритама, развијени паралелни алгоритам компресије користи *апроксимацију* квадратним Безјеовим површима, чиме се при декомпресији обезбеђује да се приближне висине појединих тачака израчунавају независно и у паралели. Тако се добија и могућност декомпресије појединачне тачке из компримованих података. Апроксимација може бити довољна за грубу реконструкцију (декомпресију) поља висина, чиме се остварује компресија са губицима. Додавањем резидуала (грешака апроксимације) на грубо реконструисано поље висина добија се прецизно реконструисано поље висина, чиме се остварује компресија без губитака. На тај начин добија се још једна важна карактеристика методе – могућност прогресивне декомпресије. Коначно, метода обезбеђује непрекидност реконструисане површи на месту

споја две суседне парцеле поља висина. Развијена метода је потпуно оригинална, јер се ниједна од до сада објављених метода не заснива на идејама које су обликовале предложену методу и ни једна од постојећих метода се не одликује свим особинама предложене методе.

### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Кандидат је детаљно претражио и упознао се са одговарајућом литературом. У дисертацији је прецизно навео 41 библиографску референцу на радове који су у вези са темом дисертације. Литература садржи и најновије радове релевантне за тему дисертације, као и одговарајуће радове чији је аутор или коаутор Ђорђе Ђурђевић. Једно поглавље дисертације је посвећено само анализи релевантних приступа у решавању проблема компресије терена. Искazi у том поглављу, као и у осталим деловима дисертације, добро су поткрепљени цитатима одговарајућих радова.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методологија истраживања у оквиру докторске дисертације састојала се у следећем:

- Детаљно је проучена литература у којој се разматра компресија правилних поља висина; посебно су разматрана решења која врше секвенцијалну компресију, односно паралелну компресију на графичком процесору.
- Резултати објављени у доступној литератури су сумирани и систематизовани.
- Анализирани су квалитативни недостаци доступних метода, као и недостаци који онемогућавају њихову ефикасну имплементацију на графичком процесору.
- Посебно је анализирана постојећа метода RBUC за компресију података представљених кодним речима различите дужине, која је послужила као основа за додатну компресију резидуала.
- Приказане су и анализиране основне карактеристике квадратних Безјеових кривих и површи, које се користе у предложеној методи.
- Дата је теоријска основа за израчунавање оптималних вредности параметара Безјеових кривих и површи, под ограничењима које намећу карактеристике методе.
- Извршена је процена реда временске сложености развијених алгоритама за компресију и декомпресију поља висина.
- На основу процене реда сложености, извршено је квантитативно и квалитативно поређење развијене методе са најбољом претходно објављеном методом.
- Извршена је модификација и паралелна реализација методе RBUC за компресију резидуала.
- Изабран је скуп дигиталних модела терена за утврђивање брзине и степена компресије које остварује предложена метода. Неки од изабраних терена често се користе у релевантној литератури.
- Експериментално су утврђене перформансе предложене методе, резултати су анализирани и извршено је поређење са најбољом претходно објављеном методом.
- Уочене су предности предложене методе и изведени су закључци корисни за њену примену.
- Практична применљивост предложене методе утврђена је њеном употребом у оквиру система за интерактивну визуелизацију модела дигиталних терена.
- Анализирани су и недостаци методе, као и могућа унапређења, те је указано на интересантне правце даљих истраживања.

### 3.4. Применљивост остварених резултата

Развијена метода остварује велику брзину компресије и декомпресије података, што је чини нарочито погодном за компресију поља висина којима се представљају брзо променљиве површи. Метода омогућава компресију са или без губитака, прогресивну декомпресију, као и независну декомпресију појединачних тачака, захваљујући чему има широк спектар примене. На основу декомпресије без губитака, метода се може примењивати у апликацијама које захтевају потпуну прецизност података, као што су пројектовање саобраћајница и великих грађевинских објеката, или анализа терена, попут анализе ерозије или анализе ризика од лавина и поплава. Раздвајање компримованих података на три слоја дозвољава прогресивну декомпресију на основу чега апликације, попут интерактивне визуелизације терена, могу да балансирају између прецизности декомпримованих података и потребне пропусне моћи комуникационог канала. Захваљујући независној декомпресији појединачних тачака, метода је ефикасна за утврђивање постојања оптичке видљивости између задатих тачака терена, што је често неопходно код пројектовања бежичних телекомуникационих мрежа. Коначно, метода обезбеђује непрекидност декомпримоване површи чак и код декомпресије са губицима, што је посебно угодно за визуелизацију терена уз анимацију кретања објеката по терену, јер није потребна додатна обрада за визуелно маскирање пукотина и решавање проблема дисконтинуитета путање покретног објекта. Експерименталним путем утврђено је да предложена метода повећава ефикасност система за визуелизацију дигиталних терена.

### 3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је у изради дисертације показао способност за самостални научни рад. Извршио је систематичну и критичку анализу постојећих решења, уз уочавање њихових недостатака. Развио је оригиналну методу која ефикасно користи модерне графичке процесоре за брзу паралелну компресију и декомпресију поља висина. Показао је да је метода практично применљива њеном употребом у систему за интерактивну визуелизацију дигиталних терена. Резултате својих истраживања објавио је у часописима од међународног значаја са признатим фактором утицаја.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

У дисертацији су остварени следећи научни доприноси:

- детаљан преглед и класификација литературе из области паралелних алгоритама за компресију поља висина;
- развој оригиналне методе за паралелну компресију и декомпресију поља висина са јединственим скупом особина:
  - подршка компресије са и без губитака, којом се остварују степени компресије поредиви са компетитивним методама;
  - могућност прогресивне декомпресије – од грубе апроксимације до најфинијих детаља поља висина;
  - могућност дохватања поједине тачке из компримованих података;
  - брз поступак не само декомпресије, већ и компресије, за подршку променљивих поља висина;
  - непрекидност реконструсане површине након декомпресије, чак и код декомпресије са губицима;

- опсежна мерења и анализа степена компресије и брзине компресије, односно декомпресије, у зависности од параметара методе, на реалним узорцима терена различитих карактеристика;
- провера практичне употребљивости предложене методе за компресију поља висина интеграцијом прототипских имплементација алгоритама у систем за интерактивну визуелизацију терена;
- отворени нови правци истраживања у домену паралелне компресије података.

Посебан допринос представља развој посебне методе (*Domino Tiling*) за динамичко састављање мреже троуглова који моделирају поље висина (терен), а на основу унапред припремљених узорака мрежа. Метода такође користи могућности високог паралелизма модерних графичких процесора и има веома практичну применљивост у визуелизацији терена. Резултати тог дела истраживања објављени су у посебном научном раду.

#### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Увидом у дисертацију, полазне хипотезе и циљеве истраживања, Комисија констатује да је кандидат успешно одговорио на постављене изазове, и да остварени резултати оправдавају почетна очекивања. Предложен је оригиналан приступ паралелној компресији поља висина. Формулисање паралелних алгоритама изузетно је добило на значају у протеклих неколико година са појавом широко доступних графичких процесора са високим степеном паралелизма. Провера практичне употребљивости методе у оквиру система за интерактивну визуелизацију терена потврђује да предложен приступ нема само теоријски значај. Особине приступа чине га јединственим у односу на конкурентске приступе и употребљивим у великом броју реалних примена. Развијени алати за мерења и анализу степена компресије и перформанси методе обезбеђују значајну основу за квантитативна поређења предложеног приступа са сродним постојећим и будућим решењима. Анализе резултата указују на мање недостатке, али сугеришу и могуће правце даљих истраживања у циљу повећања ефикасности или степена компресије.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

Из најуже области непосредно везане за тему доктората, кандидат је објавио следеће радове у часописима од међународног значаја са фактором утицаја:

1. **Ђурђевић, Ђ.**, Tartalja, I.: HFPaC: GPU friendly height field parallel compression, *Geoinformatica*, vol. 17, no. 1, pp. 207-233, 2013 (IF=1.143, категорија M22) (ISSN: 1384-1675) (DOI: 10.1007/s10707-012-0171-x)
2. **Ђурђевић, Ђ.**, Tartalja, I.: Domino tiling: A new method of real-time conforming mesh construction for rendering changeable height fields, *Journal Of Computer Science And Technology*, vol. 26, no. 6, pp. 971–987, 2011 (IF=0.564, категорија M23) (ISSN: 1000-9000) (DOI: 10.1007/s11390-011-1194-8)

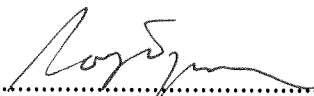
## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Дисертација кандидата мр Ђорђа Ђурђевића, под насловом **"Ефикасна паралелна компресија поља висина"** представља оригиналан, савремен и значајан научни допринос. Текст дисертације написан је јасно и разумљиво и добро је организован кроз поглавља и одељке. Циљеви дисертације јасно су формулисани и мотивисани, а резултати истраживања систематски изложени, тако да се научни доприноси могу недвосмислено утврдити. У спроведеним истраживањима предложена је нова метода за паралелну компресију поља висина која се одликује оригиналном идејом, а према свом јединственом скупу карактеристика значајно разликује од претходних метода. Практична примена предложене методе потврђена је њеном употребом у оквиру система за интерактивну визуелизацију дигиталних терена. Објављивањем резултата својих истраживања у истакнутим часописима од међународног значаја, кандидат је показао способност за самосталан научни рад, а доприноси истраживања добили адекватну потврду ваљаности.


Комисија констатује да дисертација садржи оригиналне научне доприносе, испуњава све законске, формалне и суштинске услове, као и све критеријуме који се уобичајено примењују приликом вредновања докторских дисертација на Електротехничком факултету у Београду. Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да се докторска дисертација под називом **"Ефикасна паралелна компресија поља висина"** кандидата мр Ђорђа Ђурђевића прихвати, а кандидату одобри усмена одбрана.

У Београду, 8.2.2013. године.

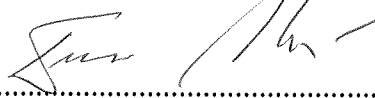
### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....  


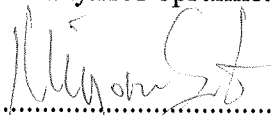
Доц. др Игор Тартаља,  
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет

.....  


Проф. др Зоран Јовановић,  
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет

.....  


Проф. др Душан Старчевић,  
Универзитет у Београду - Факултет организационих наука

.....  


В. проф. Др Мило Томашевић,  
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет

.....  


Проф. др Милан Прокин,  
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет