

ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ
<p>1. Датум и орган који је именовao комисију Дана 13.06.2019. године Наставно-научно веће Природно-математичког факултета у Новом Саду је именовало Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације Metadata-Supported Object-Oriented Extension of Dynamic Geometry Software (<i>Објектно-оријентисано проширење софтвера за динамичку геометрију подржано метаподацима</i>) и кандидата Даворке Радаковић, магистра информатичких наука за стицање академског назива доктора наука – рачунарске науке.</p> <p>2. Састав комисије са назнаком 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:</p> <p>1. др Зоран Будимац, редовни професор, Рачунарске науке и информатика, 15.06.2004, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, председник</p> <p>2. др Милош Радовановић, ванредни професор, Рачунарске науке, 12.12.2016, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, ментор</p> <p>3. др Ђорђе Херцег, редовни професор, Нумеричка анализа, 17.12.2009, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, члан</p> <p>4. др Милан Видаковић, редовни професор, Примењене рачунарске науке и информатика, 02.07.2014, Факултет техничких наука, Нови Сад, члан</p>
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ
<p>1. Име, име једног родитеља, презиме: Даворка, Дамјан, Радаковић</p> <p>2. Датум рођења, општина, држава: 04.10.1977. Загреб, Црномерец, Република Хрватска</p> <p>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив Универзитет у Новом Саду, Природно-математички Факултет, математика - дипломирани математичар</p> <p>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија На докторске академске студије информатике, уписала се први пут 2010/2011. године, те поново 2017/2018. године на Природно-математичком факултету у Новом Саду. Предвиђене испите је положила са просечном оценом 10.</p> <p>5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране: Универзитет у Новом Саду, Природно-математички Факултет, Проширива модуларна платформа за динамичку геометрију, рачунарске науке, 02.09.2010.</p> <p>6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука: Магистар информатичких наука</p>
III НАСЛОВ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:
<p>Metadata-Supported Object-Oriented Extension of Dynamic Geometry Software (Објектно-оријентисано проширење софтвера за динамичку геометрију подржано метаподацима)</p>

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Докторска дисертација припада области Информатике, ужа научна област Рачунарске науке. Написана је на енглеском језику. Извод тезе је на српском/енглеском језику. Дисертација садржи укупно 175 (xxvi+149) страна А4 формата, три дела са укупно 8 поглавља, библиографију са 241 библиографских референци, 19 табела, 31 слику и 35 листинга. Поред наведеног, дисертација садржи и предговор, захвалницу, списакове слика, табела, листинга и скраћеница, проширени извод на српском језику, биографију кандидата на енглеском и српском језику, те кључну документацијску информацију на српском и енглеском језику.

Предмет истраживања у дисертацији је објектно-оријентисано проширење софтвера за динамичку геометрију (DGS) подржано метаподацима и засновано на евалуатору израза који подржава лењо израчунавање и парцијално компајлирање. Развијен је нов алат за динамичку геометрију који је лако проширив и подржан метаподацима. Конкретно истраживање се бави: уједињењем објеката са њиховим особинама; реализацијом приступа особинама без употребе посебних функција; дефинисањем механизма за проширивост новим типовима, функцијама и визуелним објектима; уопштавањем стратегије верификације евалуације и оптимизације; спецификацијом метаподатака за DGS.

Садржај дисертације је организован у три дела: уводна разматрања, имплементација, и валидација. Делови су организовани у поглавља на следећи начин.

Part I: Preliminaries (Део I: Уводна разматрања)

Chapter 1: Introduction (Поглавље 1: Увод)

Chapter 2: Related Work (Поглавље 2: Преглед постојећих резултата)

Part II: Implementation (Део II: Имплементација)

Chapter 3: Motivation (Поглавље 3: Мотивација)

Chapter 4: System Architecture Overview (Поглавље 4: Преглед архитектуре система)

Chapter 5: Implementation Details (Поглавље 5: Детаљи имплементације)

Part III: Validation (Део III: Валидација)

Chapter 6: Subject-Specific Components in DGS (Поглавље 6: Предметно-специфичне компоненте у DGS)

Chapter 7: Testing Lazy Evaluation (Поглавље 7: Тестирање лењог израчунавања)

Chapter 8: Conclusion and Future Work (Поглавље 8: Закључак и будуће смернице)

Део I - Уводна разматрања даје преглед основних појмова, као и тренутног стања постојећих решења. Поглавље 1 даје кратак увод представљајући: формулацију проблема које желимо да решимо, главне циљеве у развоју оквира, као и листу експлицитних доприноса ове дисертације. У Поглављу 2 даје се кратак преглед тренутног стања добро познатих софтвера за динамичку геометрију, лењог израчунавања, метаподатака и објектно-оријентисаних проширења, те употребе компоненти.

Део II - Имплементација представља неколико мотивацијских примера који наглашавају проблеме у имплементацији атрибута и коришћење софтвера за динамичку геометрију са чисто функционалним језицима, те даје детаље имплементације предложеног решења заједно са прегледом архитектуре система. Поглавље 3 даје: преглед атрибута у .NET-у и приказује њихове недостатке; дискутује о предностима објеката са особинама и дот ('.') нотације; уводи семантичке екстензије и композиције језика засноване на функционалном домен-специфичном језику (FLG). У поглављу 4 су описани SLGeometry оквир и његова архитектура, представљен је опис FLG језика и инфраструктура класа израза. Детаљно описана имплементација даје главне доприносе које се тичу објектно-оријентисаног проширења софтвера за динамичку геометрију подржаног метаподацима, и механизма за лењо израчунавање израчунатих особина. У Поглављу 5 су такође представљене конверзије типова, операције са кеширањем резултата, парцијално компајлирање стабала израза и XML репрезентација цртежа.

Део III - Валидација се бави валидацијом датих концепата и механизма које смо увели у претходном делу. Образац за креирање математичких игара у SLGeometry укомбинован са својствима наших компоненти је представљен у Поглављу 6. Осим тога, спровели смо

неколико експеримената са ученицима и студентима где смо тестирали наше приступе у учионици. За експерименталну верификацију предложене инфраструктуре метаподатака са лењим израчунавањем, кориштени су резултати испитивања упоређивања брзина извршавања и броја објеката и заузећа меморије презентовани у Поглављу 7. Експерименти су спроведени у три различите стратегије израчунавања стабла израза: марљиво (енг. *eager*), функционално и лењо (енг. *lazy*) израчунавање. Поглавље 8, на крају, закључује дисертацију и дискутује о тренутним резултатима и будућим правцима за даља истраживања.

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Наслов докторске дисертације је јасно и прецизно формулисан, одражава текст и садржај истраживања.

Дисертација је добро структурирана, подељена у три дела са 8 поглавља, од којих свако поглавље чини по једну логичку целину. Поглавља се настављају једна на друго, и заједно презентују комплетан истраживачки рад на развоју објектно-оријентисаног проширења софтвера за динамичку геометрију подржаног метаподацима. На тај начин дат је јасан и прегледан опис приказаних резултата, те дисертација самим тиме задовољава постављене циљеве и очекиване резултате наведене у извештају о оцени подобности теме за израду докторске дисертације.

Први део дисертације садржи полазне основе за реализацију циљева дисертације. У првом поглављу су јасно и прецизно дефинисани предмет и циљеви истраживања, те доприноси дисертације. Друго поглавље даје релевантан преглед постојећих резултата истраживања предметне области, подељен у четири дела. Први део обухвата преглед тренутног стања добро познатих софтвера за динамичку геометрију. Други део садржи основне принципе лењог израчунавања. Употреба и преглед метаподатака и објектно-оријентисаних проширења су дати у трећем делу, док је употреба компоненти описана у четвртном делу.

Оригинални резултати истраживања приказани су у четвртном, петом, шестом и седмом поглављу.

Други део дисертације је посвећен имплементацији. Треће поглавље садржи неколико мотивационих примера који наглашавају проблеме у имплементацији атрибута, као што су: немогућности употребе типова података који нису CLR (Common Language Runtime) типа у атрибутима, недостатак структурне кореспонденције и уређености међу атрибутима, те недостатак провере коректности кориштења самих атрибута. Такође, треће поглавље дискутује о предности објеката који имају у себи све особине (а не само најнеопходније), те са таквом структуром омогућују увођење дот (‘.’) нотације. Такође је дат преглед семантичких екстензија, композиције језика засноване на функционалном домен-специфичном језику (FLG) и приказ предности објектно-оријентисаног приступа израчунавању, тј. на тај начин добијене оптимизације израчунавања. Оквир SLGeometry и његова архитектура су описани у четвртном поглављу. Уведен је опис FLG језика и инфраструктура класа израза: функција, визуалних функција, константи и објектних константи. Централни део дисертације је изнет у петом поглављу где се даје прецизан преглед објектно-оријентисаног проширења софтвера за динамичку геометрију подржаног метаподацима, и механизма за лењо израчунавање особина. Дефинисана је структура метаподатака, који су погодни за софтвере за динамичку геометрију, тј. метаподаци за аргументе, потписе функција, особине, функције, контроле, константе и константне објекте, те корисничке контроле. Дата структура је приказана кроз имплементацију на конкретним функцијама и објектима који се користе у софтверима за динамичку геометрију. Механизам за лењо израчунавање са активацијом особина је такође један од главних доприноса дисертације. Приказан је алгоритам активације особина, који прати референце у изразима, и стога активира особине које су референциране, а деактивира их кад за њиховим израчунавањем више нема потребе. Сликвито је приказана шема активирања особина са дубоким зависностима, као што је израчунавање неке од медијана у троуглу, и њихова структурна кореспонденција. Заједно с тим је објашњен концепт кеширања особина, евалуатори особина, те иницијализација и ажурирање објеката. Затим су представљене

конверзије типова, операције са кеширањем резултата, парцијално компајлирање стабала израза и XML репрезентација цртежа.

Трећи део дисертације експериментално потврђује раније представљене концепте и механизме. У шестом поглављу је демонстрирано како се софтвери за динамичку геометрију, проширени са компонентама, могу применити у настави географије, на сличном принципу како се већ користе у настави математике. Експерименти су вршени у рачунарским учионицама са студентима и средњошколцима. У седмом поглављу дати су резултати тестирања на три различите конфигурације где су се поредиле три различите стратегије израчунавања стабла израза: лењо (енг. *lazy*), функционално и марљиво (енг. *eager*). Такође се упоређује ефикасност алгоритама на основу броја објеката и заузећа меморије за сва три приступа. Конструкције које су кориштене за тестирање су садржале различите бројеве троуглова који су, такође, имали постепено повећаван број особина који је потребан да се израчуна. На овај начин је извршена верификација концепата и алгоритама описаних у поглављима четри и пет.

У Закључку су јасно истакнути добијени научни резултати као и могући правци за будући рад.

Коришћена литература обухвата велики број научних и стручних публикација које су наведене на крају дисертације. Највећи број цитираних публикација је новијег датума из међународних научних часописа са SCI листе.

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.

Од 21 рада које је кандидаткиња до сада публиковала, 9 се директно односи на истраживања у оквиру рада на докторској дисертацији.

M21 – Рад у врхунском међународном часопису

1. **Radaković D.**, Herceg Đ., *Towards a Completely Extensible Dynamic Geometry Software with Metadata*, Computer Languages, Systems & Structures, (ISSN 1477-8424), Vol. 52, 2018, pp. 1-20, DOI: 10.1016/j.cl.2017.11.001

M33 – Саопштење са међународног скупа штампано у целини

1. **Radaković D.**, Herceg Đ., *Metadata Specification in a Dynamic Geometry Software*, Proc. of International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics ICNAAM2016, 6th Symposium on Computer Languages, Implementations and Tools (SCLIT), Rhodes, Vol. 1863, 2017, pp. 330006-1-5. DOI: 10.1063/1.4992504
2. Herceg Đ., **Radaković D.**, Herceg, D., *Generalizing the Extensibility of a Dynamic Geometry Software*, AIP Proceedings, Numerical analysis and applied mathematics ICNAAM 2012: International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics, Kos, Vol. 1479, 2012, pp. 482-485.
3. Herceg Đ., Herceg-Mandić V., **Radaković D.**, *The Teaching of Geography Using Dynamic Geometry Software*, Local Proceedings of the Fifth Balkan Conference in Informatics (ISBN: 978-86-7031-200-5), BCI2012, Novi Sad, 2012, pp. 11-15.

4. Herceg Đ., Radaković D., *The Extensibility of an Interpreted Language Using Plugin Libraries*, AIP Proceedings, Numerical Analysis and Applied Mathematics ICNAAM 2011: International Conference on Numerical Analysis and Applied Mathematics, Halkidiki, Kallithea, Vol. 1389, 2011, pp. 837-840.

M52 – Рад у часопису националног значаја

1. Steingartner W., Radaković D., Valkošák F., Macko P., *Some properties of coalgebras and their rôle in computer science*, Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics (p-ISSN 2299-9965 (print), e-ISSN 2353-0588 (online)), Vol 16, No 3, 2016, pp. 145-156. DOI: 10.17512/jamcm.2016.4.16

M53 – Рад у научном часопису

1. Herceg Đ., Radaković D., *A Platform for Development of Mathematical games on Silverlight*, Acta Didactica Napocensia (ISSN: 2065-1430), Vol 6, No 1, 2013, pp. 77-90.
2. Radaković D., Herceg Đ., *The Use of WPF for Development of Interactive Geometry Software*, Acta Universitatis Matthiae Belii. Series Mathematics (ISBN 978-80-8083-955-0), Vol 16, 2010, pp. 65-79.
3. Herceg Dj., Radaković D., Herceg D., Herceg Mandić V., *Subject-specific components in dynamic geometry software*, International Journal for Technology in Mathematics Education, Vol 26, No 2, 2019, pp. 97-102. DOI: 10.1564/tme_v26.2.07

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Основни циљ истраживања је спецификација метаподатака за софтвере за динамичку геометрију која превазилази ограничења атрибута у виду применљивости искључиво на CLR типове података, уз захтев да садрже податке о типу и вредности својих особина. Уз то је креирана стратегија оптимизације израчунавања, и алгоритам за активацију и деактивацију особина које треба да се израчунавају у неком објекту. Предмет истраживања је објектно-оријентисано проширење софтвера за динамичку геометрију (DGS) подржано метаподацима и засновано на евалуатору израза који подржава лењо израчунавање и парцијално компајлирање.

Оригинални резултати истраживања су приказани у четвртом, петом, шестом и седмом поглављу.

Добијени научни доприноси дисертације су:

- Детаљно је дат опис алтернативе за .NET атрибуте, која је погодна за представљање метаподатака комплексне хијерархијске структуре. Спецификација метаподатака је дата за унарне и бинарне операције и конверзије типова, објектне типове података, уводећи зависне особине и дубоке зависности;
- Представљена је проширива платформа за динамичку геометрију SLGeometry, чије су главне компоненте: парсер, евалуатор израза и графичка подлога, и њена архитектура
- Распрострањена употреба анотација метаподатака омогућује одвајање уопштених алгоритама од конкретне семантике;
- Имплементиран је и дискутован даљи развој спецификације метаподатака погодних за изражавање комплексних хијерархијских структура и зависности;
- Имплементирана је типски и операцијски неутрална шема оптимизације израчунавања, а спецификација метаподатака подржава развој и имплементацију нових функционалности у виду plug-in компоненти;
- Представљен је генерички функционалан језик чија је семантика одвојена од језичке

- имплементације и реализована у форми plug-in типова, операција и функција;
- Уведени су објектни типови података са особинама које се израчунавају;
 - За корисника, објектна (дот) нотација смањује комплексност написаних израза;
 - Програмерима је олакшан концепт логички повезаног кода унутар једне јединице;
 - У практичној примени нису уочени заостаци у извршавању.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

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

Кандидаткиња је у целости обавила истраживања предвиђена планом датим у пријави теме докторске дисертације. Резултати истраживања, остварени у оквиру ове докторске дисертације, приказани су и тумачени на јасан и разумљив начин, у складу са карактером проблема истраживања и општеприхваћеном праксом у области истраживане проблематике, што је и потврђено цитатима из кредибилних и актуелних извора.

Дисертација у целини, као и њени појединачни делови имају добро систематизовану структуру и план излагања. Проблематика истраживања је јасно формулисана и мотивисана. Уводни део дисертације је добро организован и садржи релевантан преглед тренутног стања добро познатих софтвера за динамичку геометрију, лењог израчунавања, метаподатака и објектно-оријентисаних проширења, те употребе компоненти. Излагање резултата је јасно и прецизно организовано у логичке целине. Четврта, пета, шеста и седма глава дисертације садрже оригиналне резултате истраживања кандидата који припадају актуелним токовима науке.

Резултати истраживања потврђују постављене концепте и механизме, што је кроз дискусију резултата детаљно и образложено. Добијени резултати у дисертацији су актуелни, а приказ свих резултата истраживања је добро организован по логичким целинама. Тумачење добијених резултата је коректно изведено, уз детаљну анализу.

Део резултата дисертације је објављен у часопису категорије M21 чиме је и на међународном нивоу верификован оригинални допринос ове дисертације.

Комисија констатује да је кандидаткиња адекватно тумачила добијене резултате и да начин приказа резултата у потпуности одговара карактеру спроведеног истраживања. Докторска дисертација је у библиотеци Природно-математичког факултета проверена софтвером за детекцију плагијаризма *iThenticate*, који је показао да је индекс сличности 34%.

Увидом у добијене податке Комисија је утврдила да преклапање постоји само са публикованим радовима саме кандидаткиње (преклапање од 23% са радом 1. (M21) из тачке VI), али управо претходно публикување се захтева као услов за одбрану дисертације, те се не сме рачунати као плагијат. Пошто преклапање преосталог дела дисертације са другим појединачним изворима износи свуда <1% и засновано је на погрешној идентификацији фрагмената реченица, Комисија закључује да је ова докторска дисертација оригинално дело и да не представља плагијат.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ 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

Дисертација је у потпуности написана у складу са образложењем датим у пријави теме и добијени резултати одговарају циљевима постављеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе

Дисертација садржи све битне елементе карактеристичне за докторске дисертације у области рачунарских наука. Дефинисани су предмет и циљ истраживања. Дат је приказ преглед постојећих резултата на које се дисертација ослања, детаљан преглед добијених нових оригиналних резултата (поглавља 4, 5, 6 и 7), као и исцрпан списак релевантних референци. Дисертација је прегледна и добро организована.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци

Дисертација садржи оригиналан научни допринос из области рачунарских наука. У дисертацији се истиче недостатак атрибута у .NET-у, тј. рестрикције које лимитирају њихову употребу за представљање метаподатака комплексне структуре. У дисертацији је предложена струкурирана инфраструктура метаподатака која је независна од атрибута, флексибилна и једноставна за употребу, а доступна користећи рефлексiju. Такође је предложено проширење за једноставне и комплексне типове података, унарне и бинарне операторе, конверзије типова, функција и визуелних елемената. Програмери су омогућени да на лак начин додају нове функционалности у SLGeometry имплементирајући их као C# класе означене метаподацима. Презентована архитектура и инфраструктура активације особина, користећи лењо израчунавање, резултира битно нижом комплексношћу израчунавања у успоредби са традиционалним функционалним решењима.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања

Докторска дисертација нема недостатака који би имали утицај на остварене резултате истраживања.

X ПРЕДЛОГ:

На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже да се докторска дисертација кандидатиње **мр Даворке Радаковић**, под називом „**Metadata-Supported Object-Oriented Extension of Dynamic Geometry Software**“ („*Објектно-оријентисано проширење софтвера за динамичку геометрију подржано метаподацима*“), прихвати, а кандидаткињи одобри јавна одбрана дисертације.

У Новом Саду, 12.8.2019.

ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

председник комисије
др Зоран Будимац, редовни професор,
ПМФ у Новом Саду

ментор
др Милош Радовановић, ванредни професор,
ПМФ у Новом Саду

члан
др Ђорђе Херцег, редовни професор,
ПМФ у Новом Саду

члан
др Милан Видаковић, ванредни професор,
ФТН у Новом Саду