УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ **ОБРАЗАЦ 6.**

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ

1. Датум и орган који је именовао комисију

   27. 10. 2016, на основу Одлуке Наставно Научног већа Факултета техничких наука Декан Факултета техничких наука донео је Решење о именовању комисије за оцену и одбрану докторске дисертације бр. 012-199/23-2015.

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:

   1. др Соња Ристић, ванредни професор,
      УНО: Информационо-комуникациони системи, 20. 6. 2013.
      Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад,
      председник комисије
   2. др Силвиа Гилезан, редовни професор,
      УНО: Математика, 24. 2. 2005,
      Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад,
      члан комисије
   3. др Зоран Боснић, ванредни професор,
      УНО: Рачунарство и информатика, 11. 3. 2014,
      Универзитет у Љубљани, Факултет за рачунарство и информатику, Љубљана,
      члан комисије
   4. др Александар Ковачевић, доцент,
      УНО: Примењене рачунарске науке и информатика, 27. 1. 2012,
      Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад,
      члан комисије
   5. др Иван Луковић, редовни професор,
      УНО: Примењене рачунарске науке и информатика, 15. 6. 2006,
      Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад,
      члан комисије, ментор

II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1. Име, име једног родитеља, презиме:

   Владимир, Димитрије, Иванчевић

2. Датум рођења, општина, држава:

   21. 2. 1986, Нови Сад, Србија

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

Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Рачунарство и аутоматика, мастер инжењер електротехнике и рачунарства

4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија

2010, Рачунарство и аутоматика

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

/

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

/

III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Поређење скупова података помоћу графова

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Навести кратак садржај са назнаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикона и сл.

Докторска дисертација кандидата написана је на 195 страна формата А4. Садржи 12 поглавља и 1 прилог, у којима се налази 38 слика, 3 графика и 16 табела. Дисертација обухвата 285 литературних навода. Поглавља у дисертацији су:

1. Увод,
2. Савремени изазови у раду над подацима,
3. Поређење помоћу рачунара,
4. Визуализација података,
5. Савремена примена графова,
6. Представа вредности из скупа података помоћу графа,
7. Представа разлика између скупова података помоћу графа,
8. Поређење скупова података помоћу графовских представа,
9. Оцена приступа поређењу скупова података помоћу графова,
10. Примењивост резултата истраживања,
11. Етичка питања и
12. Закључак.

Прилог у дисертацији је:

1. Прототип софтверског решења за поређење скупова података помоћу графова.

Поред кључних документацијских информација и резимеа с кључним речима, који су дати и на енглеском и на српском језику, дисертација садржи и Предговор, списак слика, списак табела, списак графика, списак израза, формула и дефиниција, као и списак референци.

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Резултати истраживања који су представљени у докторској дисертацији кандидата припадају научној области Електротехничко и рачунарско инжењерство и ужој научној области Примењене рачунарске науке и информатика.

У првом поглављу, односно Уводу, представљена је главна тема истраживања – развој методолошког приступа и помоћних поступака за поређење два истоструктурирана скупа података која су представљена помоћу представа заснованих на математичким графовима. Опредељена тема истраживања примарно припада истражној анализи података. У почетном

делу Увода, налази се опис савременог контекста области истраживања који је значајан за постављену тему истраживања, а, након тога дати су прегледи предмета истраживања, истраживачких хипотеза, циљева с очекиваним ефектима истраживања, постављених истраживачких задатака, примењених истраживачких метода и остварених резултата. На крају Увода, налази се преглед структуре дисертације. Увод нуди за спроведена истраживања јасан синопсис истраживања по свим кључним аспектима савременог научно-истраживачког рада.

Приказ и разматрање постојећих сазнања и достигнућа у области теме истраживања простиру се кроз друго, треће, четврто и пето поглавље. Обимност теме дисертације, која се дотиче анализе и искоришћења података, разумевања проблема поређења, визуализације података и примене теорије графова, захтева свеобухватне прегледе литературе по свакој од ових подтема, што је и постигнуто у четири наведена поглавља. У другом поглављу, представљени су неки од кључних савремених изазова и трендова у раду над подацима, што обухвата рад над великим количинама података и повећање потребе за анализом и искоришћењем све већих количина доступних података. У истом поглављу такође се указује на повезаност наведених изазова и трендова с темом дисертације и на могући значај резултата спроведеног истраживања у савременом научном истраживању и пословању. У трећем поглављу, побројани су одабрани примери поређења истоврсних структура у којем се користе савремени методи засновани на употреби рачунара. Наведени примери поређења илуструју разнолике приступе поређењу и покривају широк распон области примене, укључујући софтверско инжењерство, информационе системе, машинско учење, анализу података, метеорологију, биоинформатику, образовање и друге области. У четвртом поглављу, дат је приказ више техника визуализације података које могу бити искоришћене у визуализацији скупова података и визуализацији разлика и сличности између поређених структура. Звездасти дијаграми, звездасти координатни систем и кошничасти дијаграми описани су у овом поглављу и послужили су као основ у визуализацији скупова података и визуализацији резултата поређења скупова података у оквиру поступка поређења који је развијен у раду на овој докторској дисертацији. У петом поглављу, истакнути су одабрани софтверски алати и формати који омогућавају рад над графовима помоћу рачунара, а такође је и кроз бројне дате примере примене графова у рачунарству и повезаним областима наглашена погодност примене графова и у истраживању описаном у дисертацији. У овом поглављу, препозната је неопходност развоја софтверског решења које би омогућило примену основних резултата истраживања у пракси и препознати су софтверски формати за спецификацију графова које би такво софтверско решење требало да подржи у циљу што веће употребљивости. За сваки од прегледа литературе у другом, трећем, четвртом и петом поглављу дат је и закључак прегледа који на прикладан начин указује на везу између доступних знања и спроведеног истраживања, као и на то како су појединачна сазнања из литературе искоришћена или прилагођена потребама истраживања представљеног у дисертацији.

Теоријски резултати истраживања описани су у шестом, седмом и осмом поглављу. Ови резултати тичу се начина представљања скупа података помоћу графовске представе и развоја методолошког приступа поређењу два скупа података преко поређења њихових одговарајућих графовских представа. У шестом поглављу, уведени су и дефинисани појмови скупа података, графа вредности и представе вредности као основни појмови који се користе у представљању скупа података помоћу графа. Ово поглавље садржи и листу критеријума за представљање скупа података помоћу графа према којима је у оквиру истраживања осмишљен основни облик представе скупа података помоћу графа вредности, односно представа вредности и њена визуализација. У овом поглављу, такође су дефинисане четири врсте представе вредности, које су међусобно разликују по својствима повезаности и детаљности, а за сваку врсту представе вредности описани су и начин њеног формирања и њена визуализација. У седмом поглављу, уведени су и дефинисани појмови графа разлика и представе разлика као основни појмови који се користе у формирању представе резултата поређења два скупа података представљена помоћу графа разлика. Описани су начин формирања представе разлике за две упоредиве представе вредности и визуализације

представе разлика. У осмом поглављу, изложен је приступ поређењу скупова података помоћу графовских представа, који обухвата преглед основних корака поређења и заснива се на принципу „подели па пореди”. У овом поглављу, дат је и приказ помоћних поступака чија примена је предложена у изложеном приступу поређењу. Ови помоћни поступци обухватају обраду нумеричких вредности у подацима и прочишћавање графовских представа у циљу стварања прегледнијих графовских представа, а темеље се на сличним методима који су доступни у научној литератури. У овом поглављу, уведена су и три коефицијента сличности за потребе нумеричког описа сличности између два поређена скупа података и додатни поступци чија намена је препознавање оних обележја у подацима по којима се поређени скупови података изразито разликују. Појмови који су уведени у шестом и седмом поглављу представљају неопходан основ за формирање методолошког приступа истражном поређењу скупова података путем графова, као централног резултата истраживања, који је описан у осмом поглављу.

У деветом поглављу, демонстрирана је примена развијеног приступа поређењу у виду студија случаја које су обухватиле и синтетичке и реалне скупове података, а затим је формирана и оцена за развијени приступ поређењу на основу резултата који су добијени у спроведеним студијама случаја. У овом поглављу, на примеру синтетичких скупова података, описано је како се вештачки уметнуте разлике између поређених скупова података манифестују у одговарајућим графовским представама разлика, док је на примерима реалних скупова података приказано како примена развијеног приступа поређењу резултује откривањем изражених образаца који су претходно потврђени применом других поступака анализе над истим скуповима података. Кроз студије случаја које обухватају реалне скупове података из три различита домена примене, образовања, психологије и епидемиологије, успешно је демонстрирана вредност развијеног приступа поређењу и помоћних поступака у практичној примени у разноврсним доменима. Коректно изведена позитивна оцена приступа поређењу у овом поглављу додатно потврђује примењивост овог приступа.

У десетом поглављу, размотрене су опште могућности примене остварених резултата истраживања у науци и пословању и указано је на одређена општа ограничења која се тичу тумачења резултата добијених применом развијеног приступа поређењу. Истакнуто је да резултате примене развијеног приступа поређењу не треба превасходно схватати као основ за потврду истраживачких претпоставки, већ би их требало користити претежно приликом формирања и одабира претпоставки. У овом поглављу, приказан је додатни пример примене развијеног приступа поређењу у визуализацији разлика између два модела апликативног система, који илуструје постојање капацитета за проширење и прилагођење развијеног приступа поређењу конкретним областима примене.

У једанаестом поглављу, у контексту резултата истраживања, продискутована су одабрана етичка питања која се тичу етичког искоришћења података, што обухвата веродостојност коришћеног скупа података, разумевање скупа података, разумевање примењеног метода истраживања и његових ограничења и рад над подацима с осетљивим садржајем. За потребе етичке примене остварених резултата истраживања, указано је на неке од постојећих нормативних вредности које могу послужити у доношењу етички прихватљивих одлука у ситуацијама када не постоје јасне етичке смернице. Кроз дискусију релевантних етичких питања успешно је сагледан шири контекст примене остварених резултата истраживања.

У дванаестом поглављу, односно Закључку, дата је рекапитулација остварених резултата истраживања и препознати су многобројни правци за даље истраживање у области поређења скупова података и разраду и унапређење развијеног приступа поређењу. Наведени правци будућег истраживања представљају природан и неопходан наставак истраживања која су описана у дисертацији, што може бити стабилан основ за нове истраживачке пројекте на тему поређења скупова података.

У прилогу, као апликативни резултат истраживања, представљено је софтверско решење које подржава развијени приступ поређењу и служи као прототип који илуструје примењивост

развијеног приступа у пракси. У овом поглављу, приказано је и како развијено софтверско решење подржава седам основних задатака који се тичу визуализације података и препознати су у научној литератури.

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 1. 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 током истраживачког рада на докторским студијама објавио 24 рада у научним часописима, монографијама и зборницима научних скупова. Међу тим радовима, укупно 14 радова је уже повезано с темом докторске дисертације кандидата и резултатима који су у тој докторској дисертацији представљени, укључујући један рад у врхунском међународном часопису (M21) [1], два рада у међународном часопису (M23) [2, 3], једну монографску студију/поглавље у књизи M11 (M13) [4] и десет саопштења с међународних скупова штампаних у целини (M33) [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14]:

[1] **Ivančević V**, Tušek I, Tušek J, Knežević M, Elheshk S, Luković I. Using Association Rule Mining to Identify Risk Factors for Early Childhood Caries. Computer Methods and Programs in Biomedicine. 2015;122(2):175-81. **(M21)**

[2] Đukić V, Luković I, Popović A, **Ivančević V**. Model execution: An approach based on extending domain-specific modeling with action reports. Computer Science and Information Systems. 2013;10(4):1585-620. **(M23)**

[3] Čeliković M, Luković I, Aleksić S, **Ivančević V**. A MOF based meta-model and a concrete DSL syntax of IIS*Case PIM concepts. Computer Science and Information Systems. 2012;9(3):1075-104. **(M23)**

[4] Luković I, **Ivančević V**, Čeliković M, Aleksić S, "DSLs in Action with Model Based Approaches to Information System Development", Mernik, M. Formal and Practical Aspects of Domain-Specific Languages: Recent Developments (pp. 1-410) doi:10.4018/978-1-4666-2092-6, IGI Global, 2012. **(M13)**

[5] **Ivančević V**, Igić N, Terzić B, Knežević M, Luković I. Decision trees as readable models for early childhood caries. In: Czarnowski I, Caballero AM, Howlett RJ, Jain LC, editors. Intelligent Decision Technologies - Proceedings of the 8th KES International Conference on Intelligent Decision Technologies — Part II; 2016 June 15-17; Puerto de la Cruz, Tenerife, Spain. Cham, Switzerland: Springer; 2016. p. 441-51. **(M33)**

[6] **Ivančević V**, Luković I. A systematic mapping study on the usage of software tools for graphs within the EDM community. In: Porayska-Pomsta K, Verbert K, editors. EDM 2015 Workshops Proceedings - 8th International Conference on Educational Data Mining; 2015 June 26-29; Madrid, Spain. CEUR-WS.org; 2015. p. 75-80. **(M33)**

[7] **Ivančević V**, Knežević M, Tušek I, Tušek J, Luković I. Human friendly associative classifiers for early childhood caries. In: Neves-Silva R, Jain LC, Howlett RJ, editors. Intelligent Decision Technologies - Proceedings of the 7th KES International Conference on Intelligent Decision Technologies; 2015 June 17-19; Sorrento, Italy. Cham, Switzerland: Springer; 2015. p. 243-53. **(M33)**

[8] **Ivančević V**, Knežević M, Luković I. Academic achievement and choices of computing and control engineering students in relation to gender. Proceedings of the 41st SEFI Annual Conference; 2013 Sep 16-20; Leuven, Belgium. Brussels, Belgium: SEFI; 2013. p. 1-9. **(M33)**

[9] **Ivančević V**, Knežević M, Čeliković M, Aleksić S, Luković I. Database courses: Curriculum changes and student results. In: Katić V, editor. Proceedings of the 6th PSU-UNS International Conference on Engineering and Technology; 2013 May 15-17; Novi Sad, Serbia. Novi Sad, Serbia: PSU-UNS ICET 2013 Conference Secretariat, University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences; 2013. p. 1-5. **(M33)**

[10] **Ivančević V**, Knežević M, Simić M, Luković I, Mandić D. Dr Warehouse - an intelligent software system for epidemiological monitoring, prediction, and research. In: Laux F, Strömbäck L, editors. Proceedings of the 5th International Conference on Advances in Databases, Knowledge, and Data Applications; 2013 Jan 27-Feb 1; Seville, Spain. Red Hook (NY): Curran Associates; 2013. p. 204-10. **(M33)**

[11] **Ivančević V**, Čeliković M, Luković I. The individual stability of student spatial deployment and its implications. In: García FJ, Vicent Ll, Ribó M, Climent A, Sierra JL, Sarasa A, editors. Proceedings of the 14th International Symposium on Computers in Education; 2012 Oct 29-31; Andorra la Vella, Andorra. IEEE; 2012. p. 1-4. **(M33)**

[12] Djukić V, Luković I, Popović A, **Ivančević V**. Using action reports for testing meta-models, models, generators and target interpreter in domain-specific modeling. In: Ganzha M, Maciaszek L, Paprzycki M, editors. Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems; 2012 Sep 9–12; Wrocław, Poland. Warsaw, Poland: Polskie Towarzystwo Informatyczne; 2012. p. 1365-72. Jointly published by IEEE Computer Society Press. **(M33)**

[13] Čeliković M, Luković I, Aleksić S, **Ivančević V**. A MOF based meta-model of IIS* Case PIM concepts. In: Ganzha M, Maciaszek L, Paprzycki M, editors. Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems; 2011 Sep 18–21; Szczecin, Poland. Los Alamitos (CA): IEEE Computer Society Press; 2011. p. 825-32. **(M33)**

[14] **Ivančević V**, Čeliković M, Luković I. Analysing student spatial deployment in a computer laboratory. In: Pechenizkiy M, Calders T, Conati C, Ventura S, Romero C, Stamper J, editors. Proceedings of the 4th International Conference on Educational Data Mining; 2011 Jul 6-8; Eindhoven, the Netherlands. Eindhoven, the Netherlands: Eindhoven University of Technology; 2011. p. 265-9. **(M33)**

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

У докторској дисертацији кандидата представљени су резултати остварени у раду на развоју методолошког приступа поређењу скупова података помоћу графова који је примењив на савременим рачунарским системима. На основу прегледа релевантне литературе, може се уочити да остварени резултати представљају искоришћење, разраду и синтезу постојећих концепата и сазнања, што је довело до једног новог приступа решавању проблема поређења скупова у истражној анализи података. У дисертацији, представљени су теоријски, апликативни и практични резултати и доприноси истраживања.

Најважнији теоријски резултати и доприноси обухватају: а) предлог нове формалне представе скупа података, која је заснована на графу, и њене визуализације, затим б) предлог нове формалне представе разлика између две представе скупа података, која је такође заснована на графу, и њене визуализације, в) нови методолошки приступ поређењу два истоструктурирана скупа података који се заснива на употреби предложених формалних представа скупова података и формалних представа разлика, као и г) развој помоћних поступака за обраду и формирање описа поменутих формалних представа.

Главни апликативни резултат и допринос је софтверско решење које је намењено поређењу скупова података према развијеном методолошком приступу. Софтверско решење је имплементирано помоћу програмског језика Java, а, у својој тренутној верзији, оно представља прототип који је искоришћен приликом спровођења студија случаја у циљу оцењивања развијеног приступа поређењу.

Практични доприноси су стварање предуслова за систематично и приступачно истражно поређење скупова података у произвољној области примене и практично искоришћење развијеног приступа поређењу скупова података помоћу имплементираног софтверског решења, што је демонстрирано у посебним студијама случаја.

Остварени резултати истраживања отварају нова истраживачка питања, од којих немали број је препознат и наведен у овој дисертацији. Остављен је простор за будуће истраживање које би се бавило проширењем основних графовских представа новим карактеристикама, а поменута је и могућност употребе хиперграфова као основне врсте представе скупова података и разлика између њих. Планирано је проширење постојећих поступака за обраду и формирање описа графовских представа, а такође је предвиђено и искоришћење техника за „рударење графова” и „рударење веза” над графовским представама. Ради што веће примењивости остварених резултата у пракси, захтева се формирање додатних препорука за примену развијеног приступа поређењу, проширење развијених графовских представа и софтверског решења које би погодовало примени над великим количинама података и прилагођење резултата конкретним доменима примене.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

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

Кандидат је у оквиру докторске дисертације на јасан, прегледан и систематичан начин спровео: анализу тренутног стања у релевантној области истраживања у складу с доступном литературом, формулисање теоријских основа неопходних за остварење истраживачких резултата, представљање теоријских и апликативних резултата и доприноса, демонстрацију примењивости и оцењивање истраживачких резултата, дискусију практичних доприноса и питања битних за примену и идентификацију сличних будућих истраживачких пројеката.

Комисија даје позитивну оцену за начин приказа и тумачења резултата истраживања.

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 написана у складу с образложењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе

   Дисертација садржи све битне елементе.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци

   Кандидат је у истраживачком раду на дисертацији, у области поређења два истоструктурирана скупа података помоћу графова, остварио теоријске, апликативне и практичне резултате који представљају оригиналан допринос науци и искорак у односу на тренутно стање приказано у доступној литератури. Развијене су формалне графовске представе за скупове података и за разлике између скупова података, што, заједно с развијеним методолошким приступом који користи ове формалне графовске представе и имплементираним софтверским решењем, у пракси омогућава приступачно, систематично и заокружено истражно поређење два истоструктурирана скупа података.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања

   Дисертација не поседује недостатке који би могли негативно да утичу на вредност постигнутих резултата истраживања.

X ПРЕДЛОГ:

На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:

- **<u>да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана</u>**

  Комисија позитивно оцењује докторску дисертацију под насловом „Поређење скупова података помоћу графова” и предлаже да буде прихваћена од стране надлежних тела Факултета техничких наука и Универзитета у Новом Саду, а да кандидату Владимиру Иванчевићу буде одобрена њена одбрана.

ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

_____

др Соња Ристић, ванредни професор
Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука
председник комисије

_____

др Силвиа Гилезан, редовни професор
Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука
члан комисије

_____

др Зоран Боснић, ванредни професор
Универзитет у Љубљани, Факултет за рачунарство и информатику
члан комисије

_____

др Александар Ковачевић, доцент
Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука
члан комисије

_____

др Иван Луковић, редовни професор
Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука
члан комисије, ментор

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.