

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ФАКУЛТЕТ ОРГАНИЗАЦИОНИХ НАУКА

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Милоша Јовановића**

Одлуком Наставно-научног већа Факултета организационих наука бр. **3/18-4** од **20.01.2016.** године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Милоша Јовановића** под насловом:

„Аутоматско генерисање алгоритама стабала одлучивања за класификацију“.

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 Милош (Златко) Јовановић је уписао докторске студије **2008/2009** школске године. Кандидат је положио све испите на докторским студијама и на тај начин стекао право израде приступног рада, који је успешно одбранио **16.09.2013.** године и потом започео рад на изради докторске дисертације. Наставно-научно веће Факултета организационих наука је именovalo Комисију за оцену научне заснованости теме **10.07.2013.** године, бр. Одлуке **3/109-13.** Извештај Комисије за оцену научне заснованости теме усвојен је на Наставно-научном већу **18.09.2013.** године, бр. **3/122-5.** Од Универзитета је добијена сагласност за израду докторске дисертације **14.10.2013.** године, бр. Одлуке **61206-4494/2-13.** Одлуком Наставно-научног већа Факултета организационих наука од **24.09.2014.** године, бр. Одлуке **3/79-17** кандидату је одобрено продужење рока за годину дана за одбрану докторске дисертације. Наставно-научно веће Факултета организационих наука је такође одобрило додатно продужење израде дисертације за још годину дана, Одлуком бр. **3/107-22,** од **23.09.2015.** Ментор, проф. др Милија Сукновић је известио да је завршен рад на докторској дисертацији **15.01.2016.** године, а Наставно-научно веће Факултета организационих наука именovalo је **20.01.2016.** године, бр. Одлуке **3/18-4,** Комисију за оцену завршене докторске дисертације у саставу:

1. **др Милија Сукновић,** редовни професор Факултета организационих наука, Универзитета у Београду
2. **др Борис Делибашић,** ванредни професор Факултета организационих наука, Универзитета у Београду
3. **др Драган Радојевић,** научни саветник, Институт "Михајло Пупин", Београд

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација припада области техничких наука и подручју организационих наука. Уже научне области којом се бави дисертација су моделирање пословних система и пословно одлучивање. Ментор дисертације је **проф. др Милија Сукновић**, редовни професор Факултета Организационих Наука, Универзитета у Београду, изабран за исту ужу научну област.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Милош Јовановић је рођен 28.02.1982. године у Струги, Република Македонија. Од тада живи у Београду, где је завршио основно и средње образовање (I Земунска гимназија).

Образовање:

Факултет Организационих Наука, Универзитета у Београду, уписује 2001. године. Дипломира на одсеку за Информационе системе 2006. године, са просечном оценом 8,93. Тема дипломског рада је: „Репрезентација знања као мост између Дејта-мајнинга и Експертних система“, а оцена 10.

Докторске студије уписује 2008. године на Факултету организационих наука, Универзитета у Београду, на одсеку за Операциона истраживања. На докторским студијама је положио следеће испите (просек оцена 10.0):

- Нелинеарно програмирање, проф. др Вера Ковачевић-Вујчић
- Комбинаторна оптимизација, проф. др Мирјана Чангаловић
- Вишекритеријумска оптимизација, проф. др Милан Мартић
- Метакеуристике, проф. др Мирјана Чангаловић
- Пословна интелигенција – изабрана поглавља, проф. др Борис Делибашић
- Одлучивање - изабрана поглавља, проф. др Милија Сукновић
- Меко рачунање - одабрана поглавља, проф. др Мирко Вујошевић
- Нови трендови у операционим истраживањима, проф. др Милан Мартић
- Вештачка интелигенција - одабрана поглавља, проф. др Владан Девеџић

Током 2009. године завршава и два курса за усавршавање научно-истраживачких знања и вештина, организованих од стране Министарства Науке Републике Србије. Курсеве на тему „Академске вештине“ спровео је др Steve A. Quagrie.

У 2012. години постаје лиценцирани експерт за софтвер *RapidMiner*, један од најкоришћенијих софтвера отвореног кода за откривање законитости у подацима и анализу података.

Педагошко искуство:

Од децембра 2007. године је запослен на Факултету организационих наука, на Катедри за Организацију пословних система, Центар а пословно одлучивање, где ради до данас. Предмети на којима је радио на основним академским студијама су:

- Теорија одлучивања,
- Пословна интелигенција,
- Системи за подршку одлучивању,
- Машинско учење;

а на мастер академским студијама:

- Системи пословне интелигенције,

- Складишта података,
- Откривање законитости у подацима,
- Развој алгоритама машинског учења.

Педагошки рад кандидата се може оценити као изузетно успешан, што потврђују резултати вишегодишњих анкета које Факултет спроводи код студената (просек оцена 4.5, на скали 1-5).

Такође је у току рада на Факултету организационих наука био члан на више комисија за одбрану завршних радова.

Коаутор је једне стручне књиге „Алгоритми машинског учења за откривање законитости у подацима“ (Делибашић, Сукновић, Јовановић - 2009.), која се користи као литература на предмету Развој алгоритама машинског учења, на мастер академским студијама Факултета организационих наука.

У марту 2012. године је био ангажован као гостујући предавач на предмету „MW 31.1 Business intelligence“, на *Friedrich-Schiller* Универзитету у Јени (Немачка), у оквиру катедре за Информационе системе.

Истраживачко искуство:

Кандидат је објавио већи број радова на домаћим и страним конференцијама, као и у међународним часописима, од чега и 9 радова на часописима са импакт фактором из релевантне уже научне области.

Такође је коаутор и пријављеног техничког решења, који представља софтверски оквир и имплементацију истраживачких концепата који су директно повезани са дисертацијом.

Током свог истраживачког рада је био и рецензент у неколико међународних часописа, међу којима и: *International Journal of Computational Intelligence Systems* и *International Journal of Engeneering Education*.

Од октобра 2014. до јула 2015. године гостује као истраживач на Темпл Универзитету, у Филадельфији, Пенсилванија, САД, у Центру за анализу података и биоинформатику, под руководством др Зорана Обрадовића.

Након тога, Наставно-научно веће Факултета организационих наука 2014. године одобрава продужење рока за израду и одбрану дисертације за годину дана, а такође и 2015. године исто Веће одобрава продужење рока за завршетак докторских студија, до октобра 2016. године.

Научноистраживачки пројекти у којима је кандидат учествовао:

- Пројекат Министарства науке Републике Србије, 2008/09., број пројекта: TP12013, Тема: *Развој платформе за моделовање компоненти и документовање развијених модела унутар стандардног процеса дејта мајнинга*, руководиоца: др Борис Делибашић.
- Пројекат Министарства науке Републике Србије, 2011-2014., број пројекта: ИИИ 47003, Тема: *Инфраструктура за електронски подржано учење у Србији*, руководиоца: др Владан Девецић.
- Пројекат Министарства науке Републике Србије, 2011-2014., број пројекта: ИИИ 47008, Тема: *Интеракција етиопатогенетских механизма парадонтопатије и периимплантитиса са системским болестима данашњице*, руководиоца др Војислав Лековић.

- Пројекат *DARPA GRAPHS*, америчке агенције за напредна истраживања за одбрану: *Prospective Analysis of Large and Complex Partially Observed Temporal Social Networks*, руководиоца: др Зоран Обрадовић, Темпл Универзитет, Филадефија, Пенсилванија, САД. Број пројекта: AFOSR FA 9550-12-1-0406.
- Пројекат Швајцарске Националне Научне Фондације SCOPES 2014-2016. *Предвиђање будућих стања пацијената: Развој и примена брзих, ефективних и интерпретабилних алгоритама за здравство*, Број пројекта: IZ73Z0_152415.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

Докторска дисертација кандидата Милоша Јовановића бави се изучавањем и изградњом метода за аутоматско генерисање алгоритама који из података граде модел стабла одлучивања за потребе класификације.

Алгоритми за стабла одлучивања су врло распрострањени и у научној и стручној заједници, а за циљ имају да из предходних примера објеката који припадају различитим класама (нпр. "добар/лош" клијент, регуларна/нерегуларна трансакција, кишовит/сунчан дан, итд.) направе модел у облику стабла који разврстава нове објекте у класе на основу доступних података о објектима.

У овој дисертацији се изучавају компонентни алгоритми, који представљају алгоритме као композицију делова (компоненти), који се могу размењивати, како би се добре особине једних алгоритама комбиновале са добрим деловима из других алгоритама. За сваки проблем на који се примењују стабла одлучивања постоји други низ компоненти који је оптималан.

Нови алгоритми се генеришу претрагом простора могућих компонентних алгоритама, за шта је осмишљена и имплементирана реализација метахеуристике еволутивних алгоритама. Експериментална провера показује да је такав метод за претрагу простора алгоритама ефикасан и ефективан, како у односу на позната оптимална решења (у мањим просторима), тако и у односу на бенчмарк алгоритме из литературе.

Употребљивост ове методе за генерисање специфичних алгоритама за различите проблеме класификације је веома велика, јер се може употребити у свакој примени где су раније примењивани алгоритми за стабла одлучивања. У дисертацији је приказан и пример на класификацији студената, као и пропратне анализе пређеног простора, чиме се, поред генерисаног алгоритма, додатно стиче и увид који делови алгоритама су битни, а који мање битни за укупне перформансе алгоритма.

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Милоша Јовановића, под насловом „Аутоматско генерисање алгоритама стабала одлучивања за класификацију“ садржи 124 страна, а рад је подељен на 7 поглавља и литературу, структурираних на следећи начин:

1. УВОД

- 1.1. Предмет истраживања
- 1.2. Циљеви истраживања
- 1.3. Хипотезе
- 1.4. Методе истраживања

2. СТАБЛА ОДЛУЧИВАЊА ЗА КЛАСИФИКАЦИЈУ

2.1. Алгоритми стабала одлучивања из литературе

2.1.1. *ID3* алгоритам

2.1.2. *C4.5* алгоритам

2.1.3. *CART* алгоритам

2.1.4. *CHAID* алгоритам

2.1.5. *QUEST* алгоритам

2.2. Поређење алгоритама

2.3. Унапређења предложена у литератури

3. АЛГОРИТМИ БАЗИРАНИ НА КОМПОНЕНТАМА

3.1. Генерички приказ постојећих алгоритама

3.2. Реализација генеричког оквира - надградња *RapidMiner* софтвера

3.2.1. Детаљи софтверског решења

3.3. Експериментална евалуација приступа

3.3.1. Први скуп експеримената

3.3.2. Други скуп експеримената

3.3.3. Евалуација корисничког доживљаја

4. АУТОМАТСКО ГЕНЕРИСАЊЕ АЛГОРИТАМА

4.1. Простор алгоритама и оптимизациони проблем

4.2. Еволуциони алгоритам за претрагу

3.3.2. Функција прилагођености

3.3.2. Репрезентација

3.3.2. Оператори

3.3.2. Остале специфичности

4.3. Имплементација

4.3. Експериментална провера

4.3. Примена у предвиђању успеха студената

5. СРОДНА ПРЕДХОДНА ИСТРАЖИВАЊА

6. ДИСКУСИЈА И ЗАКЉУЧАК

7. НАУЧНИ И СТРУЧНИ ДОПРИНОСИ

ЛИТЕРАТУРА

Кратак приказ појединачних поглавља

У првом поглављу дефинисан је предмет истраживања и циљеви. Такође су дефинисане основна и додатне хипотезе, које требају бити верификоване или оповргнуте експерименталном провером, применом научног метода описаног у наставку поглавља.

Друго поглавље описује постојеће алгоритме за изградњу стабала одлучивања из литературе. Алгоритми су поред описа и анализирани, а истакнуте су и разлике између познатих алгоритама, као и њихова поређења. У овом поглављу се приказују сви аспекти и добра решења у алгоритмима за стабла одлучивања који потичу из различитих оригиналних алгоритама и од различитих аутора. Такође су приказана и унапређења основних алгоритама која у описана у литератури, а која су прављена да отклоне недостатке познатих алгоритама у одређеним ситуацијама.

Треће поглавље изучава алгоритме базиране на компонентама, што представља скорашњи приступ у овој области, у коме је и кандидат имао парцијални допринос. Прво се приказује генерализација алгоритма за изградњу стабла одлучивања, где се постојећи алгоритми описују као композиција компоненти за решавање више потпроблема које је потребно решити при изградњи стабла. Приказано је како различитим избором компоненти могу да се репродукују постојећи алгоритми, али и праве хибриди разменом компоненти. Даље је описана реализација оквира компонентних алгоритама, која може бити примењена потенцијално и на друге фамилије алгоритама. Приказано је како је решење уграђено у један од најпопуларнијих софтвера отвореног кода за откривање законитости у подацима, *RapidMiner*. Такође је приказана и софтверска архитектура и реализација оваквог решења. Посебна пажња посвећена је опису експерименталне провере приступа алгоритама базираних на компонентама. У неколико скупова експеримената испитане су карактеристике компонентних алгоритама, истакнуте предности и потенцијали које овај приступ носи. Такође су приказани и експерименти који евалуирају како корисници (тј. студенти) перципирају особине овог оквира, када су изложени задатку да примене ове алгоритме на решавање задатих проблема класификације.

Четврто поглавље приказује основни допринос ове дисертације, што је дизајн, имплементација и тестирање метода за аутоматско генерисање компонентних алгоритама. Прво се описује простор алгоритама који настаје када се алгоритми посматрају као композиција компоненти. Тиме заправо настаје нови проблем, јер број могућих алгоритама (где треба одабрати један за специфичну примену) може бити јако велики. Проблем се дефинише као оптимизациони, и то као проблем комбинаторне оптимизације. У наставку се разматра могућност примене метахеуристике еволуционих алгоритама за претрагу дефинисаног простора алгоритама. Као функција циља се предлаже тачност предвиђања (класификације) коју алгоритам постиже. Даље се предлажу начини реализације такве метахеуристике, где се дефинише репрезентација хромозома, генетски оператори, параметри и други детаљи метахеуристике који треба да омогуће ефикасност у претрази. Имплементација у језику *Java*, као надградња софтвера отвореног кода *RapidMiner* се приказује у наставку, као и начин на који корисник користи изграђен софтвер. У делу поглавља о експерименталној провери су описани експерименти којима се испитује ефикасност и ефективност реализације алгоритма претраге. Прво се пронађени алгоритми упоређују са оптималним, на мањим проблемима, где се утврђује да претрага проналази оптимална решења или решења блиска њима. Затим се проширује претрага и решења упоређују са бенчмарк алгоритмима из литературе. На крају се приказује једна примена на предвиђање успеха студената, где се поред самог генерисања алгоритма додатно анализира и корисност сваке компоненте у изградњи квалитетних стабала, тј. оних који добро решавају овај проблем предвиђања.

У **петом поглављу** се приказују сродна истраживања из литературе, која или решавају сличан проблем другим приступом, или се могу прилагодити за решавање претраге простора алгоритама. У поглављу се дискутују разлике између приступа, сличности, али и могућности интеграције више приступа, како би се отклониле препреке које сваки од приступа има. Предходна истраживања су груписана по приступима решавања, уз спомен свих референци где се могу пронаћи више детаља.

Шесто поглавље прво сумаризује тезу и изграђено решења, а затим се критички осврће на детаље и могућности унапређења. Дискутују се и нови проблеми који су настали, као и начини како би се могли решити у будућности.

Седмо поглавље сумаризује остварене научне и стручне доприносе. Истичу се објављени радови где су доприноси верификовани од стране заједнице. Приказ доприноса је подељен по поглављима дисертације. Такође се помињу и стручни доприноси и како се практичарима који примењују алгоритме за стабла омогућава ефективнији рад и алат за коришћење.

На крају рада дат је списак коришћене литературе која је цитирана у дисертацији.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Област развоја и примене алгоритама за класификацију је у сталном порасту, а посебно убрзано расте са развојем моћнијих рачунара, што илуструју бројне савремене публикације. Притом, специфични алгоритми стабла одлучивања су незаобилазни метод са којим се пореде други алгоритми у многим применама, и присутни су у готово свим софтверима за откривање законитости у подацима. Поред самих алгоритама, савремена литература обрађује и модификације појединих делова алгоритама, што је и био основ за примену приступа изложеног у дисертацији.

Приступ претраживања простора алгоритама је нов и оригиналан, а омогућен је скорашњим развојем компонентних алгоритама, који датира свега неколико година, иако идеја од генерисању алгоритама постоји од раније. Додатно, експериментални резултати дају додатни нови увид у особине самог простора алгоритама, као и увид у ефикасност метода које су изабране за решавање тог оптимизационог проблема.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У дисертацији је коришћена релевантна и савремена литература, објављена на међународно признатим часописима и конференцијама из области директно везаним за тему дисертације. Литература је коришћена да дефинише и мотивише проблем и прикаже досадашње напоре у решавање сличних проблема.

Такође су помињане референце на које се израда решења у овој дисертацији ослањала, са којима су се поредили резултати и приступи, као и референце са чијим приступима је могуће интегрисати предложено решење.

У списак коришћене литературе дате на крају рада увршћени су само они наслови који су у раду цитирани и који су били релевантни за дисертацију.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Из презентираних резултата види се да су у току израде ове дисертације коришћене опште методе истраживања.

Рад на дисертацији је отпочео сагледавањем постојећих научних резултата у области класификације моделом стабла одлучивања. У тој фази коришћене су методе прикупљања, дедукције и анализе. На основу критичке анализе постојећих резултата дедукцијом се дошло до уочавања кључних проблема за које постојећи приступи не нуде одговарајућа решења.

У следећој фази истраживања учињен је покушај да се уочени проблем формализује и да се препознају методе оптимизације које се могу прилагодити за решавање тако дефинисаног проблема. У овој фази коришћене су методе моделовања, методе савремених приступа у решавању комбинаторних оптимизационих проблема, као и методе евалуације самих алгоритама за стабла одлучивања, мерењем тачности предвиђања и спречавање проблема претренирања.

У трећој фази истраживања, применом савремених метода за развој софтвера, развијено је прототипско софтверско решење којим се обезбеђује имплементација предложених метода.

Коначно, у завршној фази истраживања, извршена је експериментална провера предложених метода, мерењем учинка алгоритама претраге и статистичком анализом резултата експеримената.

На основу анализе докторске дисертације, може се закључити да примењене научне методе и технике одговарају, по свом значају и структури, теми дисертације и спроведеном истраживању.

3.4. Применљивост остварених резултата

Успешност изграђеног приступа је експериментално провераван на јавно доступним проблемима за класификацију који потичу из реалних система, из различитих домена примене класификационих техника.

Такође је приказана примена на проблем предвиђања успеха студената, уз анализу генерисаних алгоритама и делова алгоритама који су највише одговорни за измерене перформансе. Овим се стиче додатни увид у функционисање делова алгоритама за стабла одлучивања, што може бити корисно и изван приказаног решења.

Имплементирано софтверско решење је интегрисано као модул за популарни софтвер отвореног кода за откривање законитости у подацима, *RapidMiner*, чиме се знатно олашава коришћење методе и приближава постојећој стручној заједници. Такође је омогућен оквир за даљу надоградњу софтвера и проширење, посебно проузроковано имплементацијом нових компоненти за алгоритама за стабла одлучивања.

Коначно, изграђено решење претраге простора алгоритама се може лако користити и за генерисање алгоритама из друге фамилије (осим стабала одлучивања), попут алгоритама за кластеровање, за шта постоје већ зрели напори у дефинисању компонентног приступа у тој области.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је у досадашњем научно-истраживачком раду показао да поседује темељитост и озбиљност у приступу проблему, креативност у његовом решавању, као и способност сагледавања примене постојећих научних резултата у другачијем контексту.

Током рада на дисертацији кандидат је објавио, као аутор или коаутор, радове у међународним часописима, као и у зборницима са домаћих и међународних конференција, међу којима и девет радова у часописима са импакт фактором.

Као истраживач, учествовао је на више домаћих и међународних научних пројеката, где је имао прилику да решава реалне истраживачке проблеме, финансиране од стране научних институција.

Узевши у обзир целокупни ток истраживања и остварене резултате у досадашњем научно-истраживачком раду, закључујемо да је кандидат способан да се у потпуности самостално бави научно-истраживачким радом.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У оквиру ове дисертације као кључни *научни доприноси* могу се издвојити:

- **Формулација новог проблема претраживања простора компонентних алгоритама (тј. новог модела комбинаторне оптимизације)**, чијим решавањем се могу генерисати алгоритми за специфичну примену. Овим се отвара нови истраживачки проблем, вредан решавања и другим методама које ова дисертација не обрађује.
- **Развој нове методе за претрагу простора компонентних алгоритама за стабла одлучивања**, дефинисањем реализације хиперхеуристике еволуционих алгоритама. Оквир ове метахеуристике је проширен специфичном репрезентацијом решења, генетским операторима, и надоградњама које унапређују ефикасност претраге.
- **Емпиријска евалуација изграђеног приступа**, низом пажљиво осмишљених експеримената, чиме се добија потврда о ефикасности и ефикасности метода, поређењем у односу на оптимална решења и у односу на бенчмарк алгоритме, на јавно доступним подацима за проверу. Емпиријска провера омогућила је и карактеризацију креираних алгоритама у виду значајности појединих компоненти за укупан учинак алгоритма.
- **Иновативна примена** изграђеног приступа на проблем предвиђања успеха студената, уз анализу решења и компоненти алгоритама за стабла одлучивања који играју кључну улогу у решавају тог проблема.
- Допринос ове дисертације огледа се и у датом исцрпном критичком осврту на досадашња истраживања у предметној области са посебним акцентом на релевантне приступе.
- Коначно, својеврсни допринос ове дисертације је мултидисциплинарност остварена повезивањем области откривања законитости у подацима, метода оптимизације и софтверског инжењерства.

Стручни допринос:

- **Нова софтверска имплементација** предложеног решења, уз интеграцију као модул за популарни софтвер отвореног кода за откривање законитости у подацима, *RapidMiner*, чиме се знатно олакшава коришћење методе и приближава постојећој стручној заједници. Такође је омогућен оквир за даљу надоградњу софтвера и проширење, посебно проузроковано имплементацијом нових компоненти за алгоритама за стабла одлучивања.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Остварени резултати истраживања испуњавају захтеве за квалитет докторске дисертације. Поред оствареног научног доприноса, дисертација садржи и резултате који су значајни за практичну примену предложеног решења. Све постављене хипотезе су верификоване кроз теоријска разматрања и проверене експериментално те је тиме остварен значајан допринос и добијена су сазнања која су релевантна за научну и стручну заједницу у овој области.

4.3. Верификација научних доприноса

У наставку ће бити приказани научни резултати кандидата, објављени у часописима међународног значаја, као и у зборницима са домаћих и међународних конференција. Сви приказани радови су објављени у часописима и конференцијама релевантним за ужу научну област дисертације.

Категорија M21:

Vukićević Milan, Kirchner Kathrin, Delibašić Boris, **Jovanović Miloš**, Ruhland Johannes, Suknović Milija. Finding best algorithmic components for clustering microarray data. *Knowledge and Information Systems*, Vol 35 , No 1, (2012), pp. 111-130, <http://dx.doi.org/10.1007/s10115-012-0542-5>, **IF:2.49** (ISSN: 0219-1377)

Категорија M22:

Delibašić Boris, Vukićević Milan, **Jovanović Miloš**, Kirchner Kathrin, Ruhland Johannes, Suknović Milija. An architecture for component-based design of representative-based clustering algorithms. *Data & Knowledge Engineering*, Vol 75, (2012), pp. 78-98, <http://dx.doi.org/10.1016/j.datak.2012.03.005>, **IF:1.519** (ISSN: 0169-023X)

Jovanović Miloš, Vukićević Milan, Milovanović Miloš, Minović Miroslav. Using data mining on student behavior and cognitive style data for improving e-learning systems: a case study. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, Vol 5, No 3, (2012), pp. 597-610, <http://dx.doi.org/10.1080/18756891.2012.696923>, **IF:0.451** (ISSN: 1875-6891)

Delibašić Boris, Vukićević Milan, **Jovanović Miloš**, Suknović Milija. White-Box or Black-Box Decision Tree Algorithms: Which to Use in Education?. *IEEE Transactions on Education*, Vol 56, No 3, (2011), pp. 287-291, <http://dx.doi.org/10.1109/TE.2012.2217342>, **IF:0.95** (ISSN: 0018-9359)

Категорија M23:

Jovanović Miloš, Delibašić Boris, Vukićević Milan, Suknović Milija, Martić Milan. Evolutionary approach for automated component-based decision tree algorithm design. *Intelligent Data Analysis*, Vol 18, (2014), pp. 63-77, <http://dx.doi.org/10.3233/IDA-130628>, **IF:0.5** (ISSN: 1088-467X)

Delibašić Boris, **Jovanović Miloš**, Vukićević Milan, Suknović Milija, Obradović Zoran. Component-based decision trees for classification. *Intelligent Data Analysis*, Vol 15, No 5, (2011), pp. 671-693, <http://dx.doi.org/10.3233/IDA-2011-0489>, **IF:0.448** (ISSN: 1088-467X)

Suknović Milija, Delibašić Boris, **Jovanović Miloš**, Vukićević Milan, Bečejski-Vujaklija Dragana, Obradović Zoran. Reusable Components in Decision Tree Induction Algorithms. *Computational Statistics*, Vol 27, No 1, (2012), pp. 127-148, <http://dx.doi.org/10.1007/s00180-011-0242-8>, **IF:0.482** (ISSN: 0943-4062)

Vukićević Milan, **Jovanović Miloš**, Delibašić Boris, Išljamović Sonja, Suknović Milija. Reusable component-based architecture for decision tree algorithm design. *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, Vol 21, No 5, (2012), <http://dx.doi.org/10.1142/S0218213012500224>, **IF:0.25** (ISSN: 0218-2130)

Delibašić Boris, Kirchner Kathrin, Ruhland Johannes, **Jovanović Miloš**, Vukićević Milan. Reusable components for partitioning clustering algorithms. *Artificial Intelligence Review*, Vol 32, No 1, (2009), pp. 59-75, <http://dx.doi.org/10.1007/s10462-009-9133-6>, **IF:0.057** (ISSN: 0269-2821)

Kategorija M33:

Jovanović Miloš, Delibašić Boris, Vukićević Milan, Suknović Milija. Optimizing performance of decision tree component-based algorithms using evolutionary algorithm in RapidMiner, *Proceedings of the 2nd RapidMiner Community Meeting and Conference*, Dublin, Ireland, 2011., pp. 135-149.

Vukićević Milan, **Jovanović Miloš**, Delibašić Boris, Suknović Milija: WhiBo - RapidMiner plug-in for component based data mining algorithm design, *Proceedings of the 1st RapidMiner Community Meeting and Conference*, Dortmund, Germany, 2010., pp. 30-35.

Kategorija M34:

Jovanović Miloš, Delibašić Boris, Vukićević Milan: A "white box" data mining platform for decision support in decision tree induction algorithm design, *Proceedings of the 23 EURO conference*, Bonn, Germany, 2009., pp. 137.

Delibašić Boris, Suknović Milija, **Jovanović Miloš**: Patterns as building blocks in decision-tree algorithms, *Proceedings of the 23 EURO conference*, Bonn, Germany, 2009., pp. 269.

Delibašić Boris, **Jovanović Miloš**, Vukićević Milan, Suknović Milija, Kirchner Kathrin, Ruhland Johannes, Obradović Zoran: A decision support system architecture for data mining based on reusable components (patterns), *Proceedings of the EWG-DSS London 2011 Workshop on Decision Support Systems*, London, UK, 2011., pp. 35.

Jovanović Miloš, Vukićević Milan, Išljamović Sonja, Suknović Milija: Automatic evolutionary design of decision tree algorithm for prediction of university student success, *Proceedings of the Stochastic Modeling Techniques and Data Analysis International Conference (SMTDA 2012)*, Chania, Crete, Greece, 2012., pp. 48-49.

Категорија M63:

Jovanović Miloš, Suknović Milija, Vukićević Milan, Delibašić Boris: A white box approach in modeling phase of the data mining process, *Zbornik radova sa konferencije SYMOPIS*, Ivanjica 2009., pp. 709-712.

Jovanović Miloš, Delibašić Boris, Vukićević Milan, Suknović Milija: An open-source platform for design and testing of data mining algorithms, *Zbornik radova sa konferencije SYMOPIS*, Tara 2010., pp. 769-772.

Delibašić Boris, Suknović Milija, Bečejski-Vujaklija Dragana, **Jovanović Miloš**, Vukićević Milan: Patern platforma za dejta majning, *Zbornik radova sa konferencije SYMOPIS*, Soko Banja 2008., pp. 287 - 290.

Категорија M85:

Delibašić Boris, **Jovanović Miloš**, Vukićević Milan, Suknović Milija: WhiBo: An open-source data mining framework, *Platforma za razvoj algoritama za otkrivanje zakonitosti u podacima napisana u programskom jeziku Java*, besplatno dostupna na Internet adresi: www.whibo.fon.bg.ac.rs, 2009.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледа и анализе докторске дисертације, Комисија сматра да докторска дисертација под називом „Аутоматско генерисање алгоритама стабала одлучивања за класификацију“ кандидата Милоша Јовановића садржи значајне научне и стручне доприносе у области техничких наука, уже научне области моделирање пословних система и пословно одлучивање.

Докторска дисертација се бави проблемом аутоматског генерисања алгоритама за изградњу стабла одлучивања за класификацију, решавајући оптимизациони проблем претраге простора алгоритама дефинисаних као композиције компоненти за решавање више потпроблема приликом изградње стабла.

Дефинисан је нови простор алгоритама као комбинаторни проблем претраге, и предложена је метода за нетривијалну претрагу тог простора, која се базира на реализацији метахеуристике еволуционих алгоритама. Овим приступом се омогућава конструисање алгоритама за стабла одлучивања који одговарају специфичним применама и расположивим подацима. Тиме се добијају прецизнији алгоритми који су прилагођенији класификационом проблему који се решава.

Нова метода је имплементирана и уграђена као модул популарног софтвера отвореног кода за откривање законitosti у подацима, *RapidMiner*. Тиме се омогућује лако коришћење и приближава великом броју корисника ове платформе.

Приступ је емпиријски тестиран спровођењем низа експеримената који дају потврду дефинисаним хипотезама о ефикасности и ефикасности овог метода претраге. Емпиријска провера омогућила је и карактеризацију креираних алгоритама у виду значајности појединих компоненти за укупан утицај алгоритма. Резултати су упоређени и са алгоритмима познатим у литератури и резултатима добијеним на бенчмарк примерима.

Такође је приказан и пример примене, као и могућности унапређења метода, као и интеграције са сродним приступима.

Комисија је закључила да је кандидат самостално урадио рад уз коришћење релевантне и савремене литературе и да је кроз овај рад дао значајан допринос развоју ове области.

Комисија такође закључује да је садржајем докторске дисертације обухваћено значајно подручје истраживања, како са теоријског тако и са апликативног аспекта. Ценећи научне и стручне доприносе, који су израдом докторске дисертације остварени, Комисија констатује да су остварени постављени циљеви истраживања и дисертацију позитивно оцењује.

На основу свега изложеног предлажемо да се приложена докторска дисертација под насловом „**АУТОМАТСКО ГЕНЕРИСАЊЕ АЛГОРИТАМА СТАБАЛА ОДЛУЧИВАЊА ЗА КЛАСИФИКАЦИЈУ**“ кандидата **Милоша Јовановића** прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду 05.02.2016. године,

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Милија Сукновић, редовни професор,
Факултет организационих наука, Универзитет у Београду

др Борис Делибашић, ванредни професор,
Факултет организационих наука, Универзитет у Београду

др Драган Радојевић, научни саветник,
Институт „Михајло Пупин“, Београд