

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње Мирославе Игњатовић, дипломираног инжењера електротехнике

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета Универзитета у Београду бр. 5042/16-3 од 29.04.2022 године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње Мирославе Игњатовић под насловом

Хеуристика за аутоматско састављање паралелних тестова знања

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

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Мирослава Игњатовић је први пут уписала докторске академске студије Електротехнике и рачунарства, модул Софтверско инжењерство, 2009. године и у периоду до 2013. године положила свих 10 испита са средњом оценом 9,9. Поново је уписала академске докторске студије Електротехнике и рачунарства, модул Софтверско инжењерство, 2016. године, уписом на 3. годину студија, уз признавање свих положених испита. Кандидаткиња је имала статус мировања у школској 2017/18. години, школској 2018/19. години и школској 2020/21. години. На основу члана 101. Статута Универзитета у Београду, члана 74. Статута Универзитета у Београду-Електротехничког факултета и захтева студента, одобрено је продужење рока за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма.

Тему докторске дисертације под насловом „Хеуристика за аутоматско састављање паралелних тестова знања“ кандидаткиња је пријавила Комисији за студије трећег степена и предложила др Игора Тартаљу, ванредног професора Електротехничког факултета, за ментора 28.5.2021. године.

Комисија за студије трећег степена разматрала је предлог теме докторске дисертације и ментора на седници од 1.6.2021. године, дала сагласност на предлог, те упутила Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду предлог Комисије за оцену научне заснованости теме дисертације и ментора.

Наставно-научно веће Електротехничког факултета у Београду је 8.6.2021. године, на 862. Седници, именовало Комисију за оцену научне заснованости теме докторске дисертације (Одлука бр. 5042/16-1 од 17.6.2021. године) у саставу:

1. др Драган Бојић, редовни професор, Електротехнички факултет у Београду
2. др Татјана Лутовац, редовни професор, Електротехнички факултет у Београду

3. др Дејан Симић, редовни професор, Факултет организационих наука у Београду
За ментора докторске дисертације је предложен др Игор Тартаља, ванредни професор
Електротехничког факултета у Београду.

Јавна усмена одбрана предложене теме докторске дисертације одржана је 18.06.2021. године
на Електротехничком факултету у Београду, пред комисијом у наведеном саставу по одлуци
бр. 5042/16-1 од 17.6.2021. године. Комисија је оценила кандидаткињину одбрану теме
оценом „задовољно“.

Комисија у наведеном саставу, са ментором, је дана 21.6.2021. године поднела Извештај о
подобности теме и кандидаткиње за израду докторске дисертације, у којем се позитивно
изјаснила о научној заснованости теме.

Наставно-научно веће Електротехничког факултета у Београду, на 863. седници одржаној
7.7.2021. године, усвојило је Извештај Комисије за оцену научне заснованости теме
докторске дисертације, прихватило предложену тему и именовало предложеног ментора
(одлука бр. 5042/16-2 од 7.7.2021. године).

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду је дало сагласност на
предлог теме докторске дисертације и именованог ментора (одлука бр. 61206-3068/2-21 од
31.8.2021. године).

Кандидаткиња је 30.3.2022. предала на преглед и оцену докторску дисертацију са пратећим
потребним документима.

Комисија за студије трећег степена је 5.4.2022. утврдила да су испуњени потребни услови и
предложила Наставно-Научном већу Електротехничког факултета у Београду формирање
Комисије за преглед и оцену докторске дисертације.

Наставно-Научно веће је 12.4.2022. именовало Комисију за преглед и оцену докторске
дисертације (Одлука бр. 5042/16-3 од 29.4.2022. године) у саставу:

1. др Драган Бојић, редовни професор, Електротехнички факултет у Београду
2. др Татјана Лутовац, редовни професор, Електротехнички факултет у Београду
3. др Дејан Симић, редовни професор, Факултет организационих наука у Београду
4. др Јелица Протић, редовни професор, Електротехнички факултет у Београду
5. др Мило Томашевић, редовни професор, Електротехнички факултет у Београду

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација припада научној области *Електротехничко и рачунарско
инжењерство*, односно ужој научној области *Софтверско инжењерство*.

Ментор докторске дисертације је др Игор Тартаља, ванредни професор, наставник Катедре за
Рачунарску технику и информатику Електротехничког факултета Универзитета у Београду,
који испуњава услове за ментора и има потребне компетенције за вођење докторске
дисертације.

1.3. Биографски подаци о кандидаткињи

Мирослава Игњатовић (девојачко Митровић) је рођена 20.01.1974. год у Нишу. Основну и
средњу школу је завршила у Београду. Дипломирала је 2000. год на Електротехничком
факултету у Београду на одсеку за Рачунарску технику и информатику.

Од 2001. до 2009. год. је живела и радила у Холандији, где је била запослена као софтвер инжењер у неколико фирми, од којих је најпознатија *Air France* (КЛИМ). У ИТ одељењу фирме *Air France* је била стално запослена и радила је на развоју портала који користе пилоти, затим на одржавању *Frequent Flyer* програма, као и на развоју других пројеката. У оквиру рада се усавршавала и сертифицивала за Јава технологију.

2009-те год. се враћа у Србију где почиње са наставним радом у Високој школи информacionих и комуникационих технологија, у Београду, као сарадник на предметима Пројектовање софтвера, Администрирање база података, Базе података, Програмирање и Објектно оријентисано програмирање. Учествовала је као руководилац на TEMPUS пројекту: “Визуелност и Математика кроз визуелну уметност, науку и разне активности“, 530394-TEMPUS-1-2012-1-HU-TEMPUS-JPHES који је трајао од 2012. до 2015. године.

Докторске академске студије је уписала први пут у децембру 2009-те год. и након положених свих испита и паузе, поново у октобру 2016. год., на модулу Софтверско инжењерство, под менторством проф. др Игора Тартаље. Током докторских студија је објавила два рада у међународним часописима са импакт фактором, два рада у међународним часописима без импакт фактора, један рад на међународној конференцији и више радова на домаћим конференцијама.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација садржи 94 странице (од којих 79 страница припада поглављима од Увода закључно са Литературом), 13 слика, 8 табела, 4 сегмената псеудокода, 41 скраћеницу са објашњењем појма, 172 математичка израза, и 111 библиографских ставки у Литератури. Поред насловних страница на српском и енглеском, апстракта на српском и енглеском, садржаја, листе скраћеница, листе слика, листе табела, листе сегмената псеудокода, литературе и прилога (биографије кандидаткиње и прописаних изјава), дисертација садржи поглавља Увод, Поставка проблема, Преглед постојећих метода, Предлог новог метода, Резултати, Закључак.

Поглавља су структурирана у одељке и пододељке до 5. нивоа поднаслова. Свако поглавље и одељак (осим одељака најнижег нивоа) почиње уводним пасусом који најављује садржај одговарајуће целине.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Прво поглавље (*Увод*) полази од појма паралелних тестова способности, какви су и тестови знања, и разлога из којих је важна аутоматизација њиховог састављања. Затим се читалац поступно уводи у проблематику и појмове од интереса, као што су врсте тестова који се спроводе на рачунару, банке ставки, теорије теста, ставке теста (питања, задаци) и њихови атрибути, спецификације теста, ограничења, оптимизационе функције и други. Дефинише се проблем аутоматског састављања паралелних тестова као проблем комбинаторне оптимизације. Затим се указује на проблем проналажења оптималног решења и начине решавања проблема (мета)хеуристикама, које могу да буду конструктивне или (мета)хеуристике побољшања. Након наведених уводних разматрања, прецизно се дефинишу предмет дисертације, мотивација, хипотезе, циљ и главни резултати, односно научни доприноси дисертације. Увод се завршава кратким описом структуре излагања по поглављима.

Друго поглавље (*Поставка проблема*) у првом одељку разматра широко познате и примењиване теорије теста: класичну теорију теста и теорију одговора на ставке, уводећи појмове као што су, у класичној теорији теста, поузданост резултата теста, тежина ставке, дискриминативност ставке, Кронбахова алфа, КР-20 формула, односно у теорији одговора на ставку, карактеристична функција ставке, карактеристична функција теста, информациона функција ставке, информациона функција теста и циљна информациона функција теста. У другом одељку се разматра проблем аутоматског састављања теста као проблем комбинаторне оптимизације. Најпре се уводе појмови допустивог решења, оптималног решења и функције циља, да би се онда представили начини формалног описивања проблема, као што су целобројно линеарно програмирање, 0-1 линеарно програмирање, мешовито целобројно програмирање и други. Затим се дискутују класе сложености проблема (П, НП, НП-тешки, НП-комплетни) и хеуристике за решавање ових проблема. Одељак се завршава прегледом неких познатих проблема комбинаторне оптимизације, често коришћених да би се проблем састављања паралелних тестова решавао по аналогiji са решавањем тих проблема. Тај преглед обухвата проблеме паковања (проблем ранца, проблем паковања у корпе, проблем паковања скупа), проблем мрежног протока и проблем максималне клике. Сви проблеми су изложени по уједначеној структури којом се најпре вербално дефинише проблем, затим се даје математичка формулација и на крају се успоставља аналогija са проблемом аутоматског састављања паралелних тестова. Трећи, одељак прецизира проблем аутоматског састављања паралелних тестова, решаван у овој дисертацији. Указује се најпре на значај уједначене терминологије и ознака величина у приказу разнородних постојећих приступа, а затим на раздвајање приказа постојећих приступа на два елемента: формулацију проблема и (мета)хеуристичко решење проблема. Циљ оваквог начина приказа је да би се укрштањем постојећих формулација са постојећим решењима указало на могуће правце истраживања, односно непостојеће комбинације формулација и (мета)хеуристика које се користе за решавање проблема. Затим се прецизира мотивација за решавање конкретног проблема решаваног у дисертацији и указује на формулацију решаваног проблема (која се прецизира у наредном поглављу). Наводе се услови и претпоставке (ограничења), постављају циљеви и указује на значај решавања проблема.

Треће поглавље (*Преглед постојећих метода*) обухвата три одељка. Први одељак даје преглед и класификацију формулација проблема аутоматског састављања паралелних тестова. Оне су подељене према циљу оптимизације на оне чији се циљ заснива на психометрији (при чему циљеви могу бити дефинисани класичном теоријом теста или теоријом одговора на ставку), оне чији је циљ упаривање са сродним тестовима и оне чији је циљ максимизација броја паралелних тестова са расположивом банком ставки. У приказу сваке од формулација најпре се наводе оригинални радови из отворене литературе у којима је објављена формулација, затим се даје математичка формулација проблема, а онда цитирају радови у којима је решавана дата формулација (мета)хеуристичким методима. Наводе се и варијације формулација, уколико постоје. Одељак се завршава сумарним табеларним приказом наведених формулација проблема и дискусијом. Други одељак даје преглед и класификацију (мета)хеуристичких решења проблема. Најпре се говори о основним поделама решења и наводе карактеристике (мета)хеуристика као што су иницијална конфигурација, функција помераја/итерације и услов прекида, које се онда конзистентно описују у сваком од приказаних приступа. Затим се наводе конкретне (мета)хеуристике коришћене за решавање проблема аутоматског састављања паралелних тестова и то: хеуристике засноване на неколико алгоритама (гранање и ограничавање, похлепни алгоритми, случајно узорковање), односно метахеуристике (симулирано каљење, претрага променљивих околина, претрага са табуима, генетски алгоритам, пчелињи алгоритам, оптимизација ројем честица, алгоритам селекције клонова). Свака од (мета)хеуристика се најпре генерички описује, затим се успоставља аналогija са решавањем проблема аутоматског састављања паралелних тестова, да би се на крају навели конкретни објављени

приступу који користе одговарајућу (мета)хеуристику за решавање проблема аутоматског састављања паралелних тестова. На крају одељка даје се табеларни преглед постојећих (мета)хеуристика за решавање проблема аутоматског састављања паралелних тестова, а затим се даје табеларни унакрсни приказ постојећих формулација проблема (из претходног одељка) са постојећим (мета) хеуристичким решењима проблема, да би се дискутовале празне ћелије табеле као могући путокази за даља истраживања. Трећи одељак описује познату хеуристику NEH (Nawaz, Enscore, Ham), оригинално развијену за решавање проблема оптимизације укупног времена проточне обраде послова на машинама, чија се идеја користи у методу NENTA, који се предлаже у овој дисертацији. Након што се опише проблем који решава хеуристика NEH, детаљно се описује алгоритам којим се тај проблем решава и даје одговарајући псеудокод и нумерички пример.

Четврто поглавље (*Предлог новог метода*) је централно поглавље дисертације у којем се детаљно описује предложени метод, прецизно раздвајајући постојеће елементе од преузетих елемената решења из отворене литературе. Најпре се, у кратком уводном разматрању, прецизира решавана постојећа формулација проблема, оптимално балансирање тежине корпи са ограниченим капацитетима, у литератури позната као формулација MINIMAX_BSC. Такође, прецизно се наводе елементи решења преузети из других метода. То су идеја хеуристике NEH и алгоритам PS2 који оптимално, у полиномијалном времену, решава проблем са само 2 скупа из којих се бирају ставке за произвољан број тестова, а који су предложили Переира и Вила 2015. године, решавајући исту формулацију проблема потпуно другачијом метахеуристичком, претрагом променљивих околина. Као следеће, успоставља се јасна аналогија између концепата који се појављују у проблему аутоматског састављања паралелних тестова и концепата који се појављују у проблему оптимизације укупног времена проточне обраде послова на машинама, који решава хеуристика NEH. Затим се вербално описује предложени хеуристички метод и алгоритам детаљно илуструје на два нумеричка примера. Након вербалног описа и илустрације примерима, следи формални опис предложеног алгоритма кроз 4 приложена псеудокода. На крају се одређује временска сложеност предложеног алгоритма и утврђује да је она полиномијална.

Пето поглавље (*Резултати*) је посвећено дискусији и оцени предложеног метода у поређењу са јединим компетитивним методима пронађеним у отвореној литератури, заснованим на симулираном каљењу, односно претрази променљивих околина. У првом одељку се детаљно описује поставка експеримената. Најпре се наводи начин њиховог извођења и неке опште препоруке којих се кандидаткиња држала у експерименталном поступку. Затим се описују опсеги параметара коришћених у експериментима, као што су величине банке ставки, број скупова ставки са сличним битним карактеристикама, број састављених тестова, број ставки на тесту и начин псеудослучајног генерисања атрибута ставки у банци. Прецизно се дефинишу величине за поређење метода, као што су метрика квалитета решења и време извршавања алгоритма. На крају се описује платформа на којој су спроведени експерименти. У другом одељку се пореди предложени алгоритам NENTA са алгоритмом симулираног каљења који су користили Бруско и остали 2013. године за решавање исте формулације проблема. Поређени су квалитет решења и време извршавања алгоритма на широком опсегу вредности параметара. Алгоритам NENTA је имплементиран, те су вршена мерења у серији експеримената са истим параметрима, да би се онда узимале средње вредности резултата. Алгоритам симулираног каљења није имплементиран, већ су преузети објављени подаци из оригиналног рада, уз скалирање времена извршавања алгоритма корективним фактором, преузетим из респектабилног извора, који представља однос перформанси две хардверске платформе на којима су спровођени експерименти. Резултати се дају табеларно и графички (два графика, један за квалитет решења, а други за време извршавања алгоритма). На крају се проверава статистички значај добијених резултата и утврђује значајна предност предложеног алгоритма NENTA у времену извршавања, уз занемарљив губитак квалитета решења, у опсегу параметара од интереса. У трећем одељку врши се поређење алгоритма

НЕНТА са алгоритмом претраге променљивих околина, који су користили Переира и Вила 2015. године, за решавање исте формулације проблема. Алгоритам претраге променљивих околина је имплементиран и извршаван на истом рачунару на којем је извршаван и алгоритам НЕНТА. Најпре је вршено поређење квалитета решења када се извршавање алгоритма претраге променљивих околина прекине после времена које је потребно алгоритму НЕНТА да се изврши до краја (уколико се претрагом променљивих околина не стигне раније до оптималног решења, које је могуће препознати на основу израчунате оптималне тежине идеално балансираних тестова). Резултати експеримента везани за квалитет решења су дати табеларно и графички, а проверен је и статистички значај резултата. Утврђена је умерена предност квалитета решења алгоритма НЕНТА за већину вредности параметара од интереса. За вредности параметара од интереса за које је алгоритам претраге променљивих околина дао бољи резултата, алгоритам НЕНТА је дао занемарљиво лошији квалитет решења. Спроведен је и други експеримент у којем је алгоритам претраге променљивог суседства могао да се извршава до границе временског интервала од 10мин, која је коришћена у оригиналном раду у којем је предложен овај алгоритам. Резултати експеримента су дати у табеларном облику. Показано је да је просечно време извршавања алгоритма НЕНТА било мање за ред величине, при чему је квалитет решења у најгорем случају био мање од 1.5% лошији од квалитета оптималног решења, за вредности параметара од интереса. У четвртог одељку извршен је и експеримент који показује да би паралелизација алгоритма НЕНТА имала смисла. Наиме, предложено је да се за релативно мали, претходно дефинисан број скупова са ставкама велике тежине паралелно испитају све пермутације тих скупова и тада ти скупови међусобно уреде, а онда да се настави са применом алгоритма НЕНТА. Експеримент са секвенцијалном имплементацијом испитивања свих пермутација са 6 скупова показао је извесан потенцијал за паралелизацију алгоритма НЕНТА.

Шесто поглавље (*Закључак*) сумира резултате и даје смернице даљих истраживања. Најпре се изводе закључци на основу поређења предложеног алгоритма НЕНТА са компетитивним методима, а затим излажу планови за даља истраживања непосредно везана за алгоритам НЕНТА. Указује се и на могућа нова истраживања на основу путоказа произашлог из унакрсне класификације постојећих формулација проблема са постојећим (мета)хеуристичким решењима проблема. Даје се и један предлог за истраживање у правцу креирања скупа референтних банки ставки, које би се могле користити при поређењу перформанси разнородних метода аутоматског састављања паралелних тестова. На крају се дискутује и могућност паралелних имплементација алгоритма НЕНТА.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Тема обрађена у дисертацији је савремена и значајна, како из научне, тако и из практичне перспективе. Начин излагања постојећих метода за аутоматско састављање паралелних тестова знања, као и предложен хеуристички метод којим се решава проблем аутоматског састављања паралелних тестова су оригинални. Предложени метод решава познату формулацију проблема паковања у корпе, која има за циљ добро балансирање тежине по корпама. Иста формулација проблема је коришћена у још два метода који проблем аутоматског састављања паралелних тестова решавају различитим метахеуристичким методима. Један од тих метода користи метод симулираног каљења, док други користи претрагу променљивих околина. Новопредложени метод има у основи оригинални хеуристички алгоритам који унапређује идеју хеуристике НЕН, оригинално развијене за решавање битно различитог проблема оптимизације укупног времена проточне обраде послова на машинама. Начин генерисања пермутација хеуристике НЕН је у дисертацији

примењен, уз модификацију, на MINIMAX_BSC формулацију проблема аутоматског саастављања паралелних тестова. Такође, користи се познати алгоритам који оптимално решава проблем када постоје само два скупа ставки релативно блиских вредности тежинских коефицијената, из којих се ставке бирају за тестове. Сва коришћена литература уредно је цитирана у дисертацији.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Дисертација има богату библиографију и није утврђено да је нека релевантна библиографска јединица пропуштена. У дисертацији је коришћено 111 библиографских јединица. Библиографске јединице су претежно радови из респектабилних међународних часописа или из зборника међународних конференција. Цитати на велики део библиографских јединица су коришћени у прегледном делу дисертације, односно другом и трећем поглављу. Три референце се односе на научне радове на чије се резултате непосредно ослања нови хеуристички метод предложен у дисертацији.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У докторској дисертацији су примењени широко прихваћени научни методи. Најпре су детаљано анализирани приступи решавању проблема аутоматизације састављања паралелних тестова знања, а затим су резултати анализе представљени на оригиналан начин, јасним раздвајањем формулације проблема од начина хеуристичког решавања проблема. Анализирано је 23 метода објављених у отвореној литератури. Извршена је класификација формулација проблема, као и класификација хеуристичких решења, а затим је укрштањем ових класификација указано на могуће правце даљих истраживања.

За једну од постојећих формулација предложен је нови хеуристички метод решавања проблема и одређена временска сложеност новог алгоритма, а затим је нови алгоритам одговарајућим експерименталним методима упоређен са компетитивним алгоритмима. Предложени метод је имплементиран, као и савременији од два постојећа метода (заснован на претрази променљивих околина), а који решава исту формулацију проблема као и предложени метод. Затим су упоређене ефикасност (брзина) решавања проблема и квалитет добијених резултата између предложеног и наведеног постојећег метода. Поређење са раније објављеним постојећим методом, заснованим на симулираном каљењу, обављено је на основу објављених података о времену извршавања (уз неопходно скалирање засновано на односу перформанси рачунара коришћених у објављеном раду и оном који је коришћен у истраживању) и квалитета добијеног решења. Статистички значај добијених резултата је проверен.

3.4. Применљивост остварених резултата

Остварени резултати су применљиви за аутоматско састављање паралелних тестова знања какви се често спроводе у образовним установама. За предложени алгоритам развијен је и програмски код (за потребе евалуације алгоритма и поређења са компетитивним алгоритмима) који се може искористити при имплементацији софтвера за аутоматско генерисање тестова.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидаткиње за самостални научни рад

Кандидаткиња је објављивањем више научних радова, од којих су два објављена у међународном часопису са фактором утицајности, као и писањем докторске дисертације у којој су потврђене полазне хипотезе и остварено више планираних доприноса, показала да је

достигла потребне способности за самостални научни рад. Показана је способност како за оригиналан начин презентације постојећих формулација проблема и њихових решења у области од интереса, а затим њихову унакрсну класификацију, која указује на могуће правце даљих истраживања, тако и за остваривање истраживачког научног доприноса у виду предлога и евалуације новог хеуристичког метода за аутоматско састављање паралелних тестова.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У дисертаци су остварене две врсте научних доприноса. Прва врста научних доприноса је остварена у прегледном делу дисертације (главе 2 и 3). У том делу се могу издвојити следећи научни доприноси:

- преглед савремених метода аутоматског састављања паралелних тестова уз раздвојен приказ формулација проблема од хеуристичких решења проблема;
- уједначена терминологија којом се приказују разнородни постојећи методи и означавање величина јединственим симболима у разнородним математичким формулацијама проблема;
- посебне класификације формулација проблема и хеуристичких решења уз њихово укрштање и указивање на могуће правце истраживања.

Другу и главну врсту научних доприноса чини предложени хеуристички метод за решавање проблема аутоматског састављања паралелних тестова са детаљном евалуацијом тог метода (главе 4 и 5). Могу се издвојити следећи конкретни научни доприноси:

- предлог новог алгорита за аутоматизовано састављање паралелних тестова заснованог на конструктивној хеуристици којом се у потпуности решава проблем за унапред процењиво време, обезбеђујући добар квалитет решења;
- процена временске сложености предложеног алгорита;
- анализа предложеног метода заснована на његовој софтверској имплементацији и симулацијом формираним банкама питања са променљивим параметрима;
- поређење квалитета састављених паралелних тестова и брзине састављања тестова, између предложеног метода и најбољих решења компатибилне формулације проблема из отворене литературе;
- анализа могућности побољшања квалитета резултата делимичном паралелизацијом предложеног алгорита.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Резултати истраживања показују да је предложени хеуристички метод за аутоматско састављање паралелних тестова погодан за примену у образовним институцијама у којима постоји потреба за честим састављањем релативно малог броја паралелних тестова (неколико десетина до неколико стотина) избором ставки из банке ставки умерених величина (неколико стотина до неколико хиљада). Чињеница да постоји потреба за честим састављањем паралелних тестова у институцијама у којима су рачунарски ресурси ограничени и често скромни, намеће потребу за ефикасним алгоритмом састављања тестова.

Предложени метод је упоређен са компетитивним методима који решавају исту формулацију проблема и уочене су предности. Основна квалитативна предност предложеног метода је у томе што, захваљујући конструктивној хеуристици којом се у потпуности решава проблем, има унапред процењиво време извршавања. Два анализирана компетитивна метода користе

хеуристике побољшања којима се не може унапред предвидети време извршавања. Оне би имале експоненцијално време извршавања уколико се не заустављају „бруталном силом“, на пример после унапред одређеног временског интервала. Друга битна квалитативна предност предложеног у односу на конкуритивне алгоритме је једноставност за имплементацију.

Показано је и да предложени метод има квантитативне предности у опсегу параметара који су од посебног интереса за примену у образовним установама. Предложени метод и један од два конкуритивна метода (онај који је касније објављен, заснован на претрази променљивих околина) су имплементирани да би се извршило фер поређење на истом хардверу и са истим симулираним банкама ставки. Поређење са другим конкуритивним методом (раније објављеним, заснованим на симулираном каљењу) је урађено коришћењем објављених података у оригиналном раду, уз скалирање времена извршења одговарајућим скала-фактором објављеним у респектабилном извору. Показано је да је предложени метод значајно ефикаснији (неколико редова величине) од метода заснованог на симулираном каљењу уз занемарљиву деградацију квалитета решења (у најнеповољнијем случају деградација квалитета је мања од 0.6%). Поређењем са методом заснованим на претрази променљивих околина, показана је значајна предност у ефикасности, ако се конкуритивни алгоритам извршава „до краја“, односно до задатог временског ограничења које се користи у оригиналном раду. Ако се конкуритивном алгоритму ограничи време извршавања на време извршавања предложеног метода, тада предложени метод показује предност у квалитету решења за вредности параметара од интереса.

4.3. Верификација научних доприноса

Научни доприноси докторске дисертације верификовани су кроз два рада, од којих је један објављен, а други прихваћен за објављивање са додељеним DOI бројем, оба у међународном часопису са фактором утицајности у категорији M23. На оба рада кандидаткиња је првопотписани аутор. Такође, у току докторских студија, у тематски блиској области (аутоматско састављање тестова), објављен је један рад у часопису категорије M53, као и један рад саопштен на скупу националног значаја, штампан у целини, у категорији M63.

Категорија M23:

1. Ignjatović, M. M., & Tartalja, I. I. (2022). A Constructive Heuristic for Automated Parallel Tests Assembly. *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*, 32(3), DOI:10.1142/S0218194022500164, IF(2020):1.47, M23. (accepted for publication)
2. Ignjatović, M. M., Bojić, D. M., & Tartalja, I. I. (2021). A Survey on Problem Formulations and (Meta) Heuristic-Based Solutions in Automated Assembly of Parallel Test Forms. *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*, 31(8), pp. 1171-1212, DOI:10.1142/S0218194021500376, IF(2020):1.47, M23.

Категорија M52:

1. Ignjatović, M., Bojić, D., Furlan, B., & Tartalja, I. (2015). Potential of Knowledge Discovery in Automated Test Assembly. *Telfor Journal*, 7(2), pp. 108-112, DOI: 10.5937/telfor1502108I.

Категорија M63:

2. Ignjatović, M., Bojić, D., Furlan, B., & Tartalja, I. (2014). Potencijal tehnike pronalazaenja znanja za automatsko sastavljanje testova. *22nd Telecommunications Forum Telfor (Telfor 2014)*, 7, pp. 1051-1054, DOI: 10.1109/TELFOR.2014.7034587, ISBN: 978-1-4799-6192-4.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација под насловом „Хеуристика за аутоматско састављање паралелних тестова знања“, кандидаткиње Мирославе Игњатовић, представља оригинални научни допринос у научној области *Електротехничког и рачунарског инжењерства*, односно ужој области *Софтверског инжењерства*. У дисертацији су потврђене хипотезе постављене у пријави теме и дати су очекивани научни доприноси, верификовани кроз два научна рада објављена у међународном часопису са фактором утицајности. Научни доприноси имају, како теоријски, тако и практични значај за развој аутоматизације састављања паралелних тестова знања у образовним институцијама. Кандидаткиња је показала способност бављења научним истраживањем, као и способност презентације резултата научних истраживања.

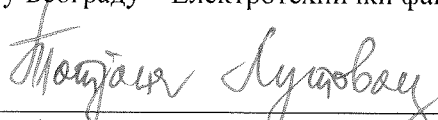
На основу свега наведеног, комисија констатује да су испуњени сви формални и суштински услови предвиђени Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета у Београду, као и сви критеријуми који се уобичајено примењују приликом вредновања докторских дисертација на Електротехничком факултету у Београду. Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да се докторска дисертација под називом „Хеуристика за аутоматско састављање паралелних тестова знања“ кандидаткиње Мирославе Игњатовић прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

Београд, 4.5.2022.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



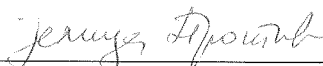
др Драган Бојић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



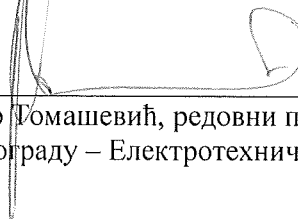
др Татјана Лутовац, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Дејан Симић, редовни професор
Универзитет у Београду – Факултет организационих наука



др Јелица Протић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Мило Томашевић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет