УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ФАКУЛТЕТ ОРГАНИЗАЦИОНИХ НАУКА

13.02.2013. године
Београд,
04-03-11/55

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
Веће научних области техничких наука
Београд
Студентски трг бр 1

У прилогу дописа достављамо извештај комисије о оцени завршене докторске дисертације кандидата Иване Огњановић, са пратећом документацијом.

Докторска дисертација и извештај комисије о оцени завршене докторске дисертације кандидата Иване Огњановић стављени су на увид јавности и у предвиђеном року није било примедби на изложену докторску дисертацију.

С поштовањем,

Секретар факултета

Гордана Алексић Славински, дипл. Правник

Јове Илића 154, 11000 Београд, Србија, Тел.: (011) 3950-800, Факс: (011) 2461-221
ПИБ: 100383934, Матични број: 07004044, Текући рачун: 840-1344666-69
Е пошта: dekanat@fon.bg.ac.rs; Посетите: www.fon.bg.ac.rs

Образац 2.

Факултет организационих наука

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

04-03-11/55
(Број индекса)

Веће научних области техничких наука
(назив стручног већа коме се захтев упућује, сходно чл 75. Статута Универзитета у Београду и чл.7. ст. 1. овог Правилника)

13.02.2013. године
(Датум)

Београд
Студентски трг бр.1

ЗАХТЕВ
за давање сагласности на извештај о урађеној докторској дисертацији

Молимо да, сходо члану 68. ст. 3. Закона о универзитету («Службени гласник РС» бр. 20/98), дате сагласности на Извештај о урађеној докторској дисертацији кандидата
Иване (Васа) Огњановић
(име, име једног родитеља и презиме)

Кандидат Ивана (Васа) Огњановић пријавио је докторску дисертацију под називом:
(име, име једног родитеља и презиме)

Семантичке технологије за конфигурисање сервисно-оријентисаних архитектура на основу нефункционалних захтева

Универзитет је дана 30.01.2012. године својим актом под 06- 162/10-12 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила

Семантичке технологије за конфигурисање сервисно-оријентисаних архитектура на основу нефункционалних захтева

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Иване (Васа) Огњановић
(име, име једног родитеља и презиме)

образована је на седници одржаној 05.12.2012. године, одлуком Факултета под 3/143-4 у саставу:

	име и презиме члана комисије	звање	научна област
1.	др Јелена Јовановић	доцент ФОН-а	софтверско инжењерство
2.	др Владан Девеџић	ред. проф. ФОН-а	софтверско инжењерство
3.	др Драган Гашевић	ванр. проф. Атабаска Универзитет, Канада	софтверско инжењерство

Наставно-научно веће Факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 26.12.2012. године.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Милан Мартић

Прилог:

1. Извештај Комисије са предлогом,
2. Акт Наставно-научног већа Факултета о усвајању Извештаја,
3. Примедбе дате у току стављања Извештаја на увид јавности, уколико је таквих примедби било.

05-01 бр. 3/155-12

Поводом предлога Већа студијског програма докторских академских студија, а на основу члана 56. Статута Факултета, на седници Наставно-научног већа одржаној 26.12.2012. године, једногласно је донета следећа

О Д Л У К А

Прихвата се Извештај Комисије за оцену завршене докторске дисертације кандидата на докторским студијама Иване Огњановић, под насловом »СЕМАНТИЧКЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ ЗА КОНФИГУРИСАЊЕ СЕРВИСНО-ОРИЈЕНТИСАНИХ АРХИТЕКТУРА НА ОСНОВУ НЕФУНКЦИОНАЛНИХ ЗАХТЕВА« и даје се на увид јавности.

На Наставно-научном Већу 08.02.2012. године одобрена је израда докторске дисертације кандидата Иване Огњановић под називом »СЕМАНТИЧКЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ ЗА КОНФИГУРИСАЊЕ СЕРВИСНО-ОРИЈЕНТИСАНИХ АРХИТЕКТУРА НА ОСНОВУ НЕФУНКЦИОНАЛНИХ ЗАХТЕВА« на основу добијене Одлуке Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду, о давању сагласности на предлог теме докторске дисертације од 30.01.2012. године, број: 06-162/10-12

Кандидат Ивана Огњановић је објавила следећи рад који је квалификује да може да одбрани докторску дисертацију:

1. I. Ognjanović, D. Gašević, E. Bagheri, "A Stratified Framework for Handling Conditional Preferences: an Extension of the Analytic Hierarchy Process," Expert Systems with Applications, Vol. 40, No. 4, March 2013, pp. 1094–1115. DOI: 10.1016/j.eswa.2012.08.026 (IF za 2011: 2.455)

Председник Наставно научног већа

Проф. др Милан Мартић

Доставити:
- Стручном сараднику за ПДС
- Вишем референту органа управљања и стручних органа
- Архиви

05-01 бр 3/

Поводом предлога Већа студијског програма докторских академских студија, а на основу члана 56. Статута Факултета, на седници Наставно-научног већа одржаној 13.02.2013. године, једногласно је донета следећа

О Д Л У К А

Усваја се Извештај Комисије за оцену завршене докторске дисертације кандидата докторских студија Иване Огњановић, под насловом »СЕМАНТИЧКЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ ЗА КОНФИГУРИСАЊЕ СЕРВИСНО-ОРИЈЕНТИСАНИХ АРХИТЕКТУРА НА ОСНОВУ НЕФУНКЦИОНАЛНИХ ЗАХТЕВА«. После истека увида јавности Извештај Комисије за оцену завршене докторске дисертације кандидата Иване Огњановић, шаље се на сагласност Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

Председник Наставно научног већа

Проф. др Милан Мартић

Доставити:
- Стручном сараднику за ПДС
- Вишем референту органа управљања и стручних органа
- Архиви

Наставно-научном већу ФОН-а

Одлуком Научно-наставног већа ФОН-а од 05.12.2012. именовани смо у Комисију за оцену завршене докторске дисертације кандидата Иване Огњановић, под насловом: „Семантичке технологије за конфигурисање сервисно-оријентисаних архитектура на основу нефункционалних захтева“ и на основу тога подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

1.1. Наслов и обим дисертације

Наслов дисертације је „Семантичке технологије за конфигурисање сервисно-оријентисаних архитектура на основу нефункционалних захтева“. Обим дисертације је 225 страница А4 формата, дисертација садржи 31 графички приказ, 25 табела и 205 литературних навода.

1.2. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат је поднео пријаву за одобравање израде докторске дисертације „Семантичке технологије за конфигурисање сервисно-оријентисаних архитектура на основу нефункционалних захтева“, 2011. године. Позитиван извештај комисије усвојен је на седници Наставно-научног већа одржаној 18.01.2012. године, одлука бр. 3/11-1. Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду је на седници одржаној 30.01.2012. године одобрило израду предложене докторске дисертације, одлука бр. 06-162/10-12.

Након добијене сагласности Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду, на седници Наставно-научног већа ФОН-а одлуком бр. 3/22-5 од 08.02.2012. године одобрена је израда докторске дисертације кандидата Иване Огњановић под насловом „Семантичке технологије за конфигурисање сервисно-оријентисаних архитектура на основу нефункционалних захтева” и за ментора је именована др Јелена Јовановић, доцент ФОН-а.

Ментор, Јелена Јовановић је констатовала да је докторска дисертација завршена, и Наставно-научно веће ФОН-а је одлуком бр 3/143-4 од 05.12.2012. године формирало комисију за преглед и оцену завршене докторске дисертације у саставу: др Јелена Јовановић, доцент ФОН-а, ментор, др Владан Девеџић, редовни професор ФОН-а, др Драган Гашевић, ванредни професор Атабаска Универзитета, Канада.

1.3. Место дисертације у одговарајућој научној области

Докторска дисертација кандидата Иване Огњановић под насловом „Семантичке технологије за конфигурисање сервисно-оријентисаних архитектура на основу нефункционалних захтева" по предмету истраживања и коришћеним методама припада области рачунарских наука, подобласт: софтверско инжењерство. Дисертација има и мултидисциплинарни карактер јер обједињује резултате из области вештачке интелигенције, оптималног управљања и инжењерства захтева.

1.4. Биографски подаци о кандидату

Ивана Огњановић је рођена 20.06.1985. год у Подгорици. Похађала је Основну школу „Октоих" у Подгорици коју је завршила као добитник дипломе „Луча", а од стране Наставничког већа је проглашена за ђака генерације. Учествовала је на многим такмичењима из математике, а од резултата издваја треће место на регионалном као и треће место на републичком такмичењу ученика осмих разреда основних школа у Црној Гори. Уписала је Гимназију „Слободан Шкеровић" у Подгорици – специјалистичку математичку гимназију коју је завршила као добитник дипломе „Луча I", аод стране Наставничког већа је проглашена за ђака генерације. Учествовала је на многим такмичењима из физике, а од постигнутих резултата издваја: у првом разреду – друго место на републичком такмичењу и трећу награду на савезном такмичењу; у другом разреду – прво место на републичком такмичењу и трећу награду на савезном такмичењу; у трећем и четвртом разреду– прво место на републичком такмичењу.

Природно-математички факултет у Подгорици, смер: примењена математика и рачунарске науке је уписала 2003. год и дипломирала 2007. године прва у генерацији са просечном оценом 9,97. Током студија је била добитник већине престижних награда и признања: 2004. год – добитник Децембарске награде општине Подгорица, 2005. год – награда Црногорске академије наука и умјетности, 2006. год – добитник награде Универзитета Црне Горе, 2007. год – добитник Плакете Универзитета Црне Горе. У децембру 2007. год је уписала магистарске студије на Природно-математичком факултету у Подгорици, а мастер тезу под називом „Математички модели у управљању финансијским портфолиом" под вођством ментора доц. др Владимира Јаћимовића је одбранила у јулу 2009. год.

Након завршених основних студија, на Природно-математичком факултету у Подгорици је била ангажована као сарадник у настави у периоду од новембра 2007. год до јуна 2008. год. Даље ангажовање је наставила на Факултету информационих технологија Универзитета „Медитеран" у Подгорици где је тренутно асистент на предметима: Структуре података и алгоритми, XML технологије и Интелигентни системи; а од децембра 2010. год јој је додељена и функција Продекана за наставу. Од септембра 2012. год је додатно ангажована као сарадник истраживач на Институту савремених технологија Црне Горе.

У оквиру учешћа на пројекту *Model-Driven Development of Families of Semantically-enabled Service-oriented Architectures* је у периодима од 01.07.2010. - 01.08.2010. год и 01.05.2011. - 01.08.2011. год боравила на Simon Fraser University у Канади где је као инострани истраживач била ангажована на истраживањима у области анализе захтева у линијама софтверских производа (енгл. *software product line*) и фамилијама софтверских система. Такође, у периоду од јула до децембра 2012. год је

ангажована на Simon Fraser University у Канади као сарадник истраживач на пројекту *Adapting regression models with user preferences for recommendations in learning environments* који се реализује у сарадњи са University of British Columbia из Канаде.

У току докторских студија, Ивана Огњановић је прво положила свих девет предмета са просечном оценом 10 и освојила укупно 90 ЕСП бодова. Након тога, одбранила је и приступни рад и освојила накнадних 30 ЕСП бодова. Према томе, укупан број остварених ЕСП бодова у току похађања докторских студија је у овом тренутку 120.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Структура и садржај дисертације

У овом раду се разматра могућност примене семантичких технологија и метода вештачке интелигенције за аутоматизацију развоја софтверских решења заснованих на сервисно-оријентисаној архитектури (енгл. *Service Oriented Architecture – SOA*) на основу дефинисаних нефункционалних захтева. Досадашња истраживања у овој области су била фокусирана искључиво на испуњење функционалних захтева (различитих приоритета) дефинисаних од стране једног или више корисника, док се проблем задовољења нефункционалних захтева посматрао само на појединачним инстанцама SOA архитектура. У овој дисертацији се иде корак даље и дефинише се проблем конфигурације целе SOA фамилије у циљу истовременог испуњења дефинисаних функционалних захтева и оптималне селекције сервиса која води максимизацији задовољења корисничких захтева над нефункционалним карактеристика система. При томе, коначан излаз из целог процеса је оптимална конфигурација сервисно-оријентисане архитектуре која задовољава дефинисане функционалне и нефункционалне захтеве.

Општи циљ истраживања се састоји у томе да се укаже на један од могућих начина за формалну спецификацију различитих врста захтева дефинисаних над нефункционалним карактеристикама фамилије сервисно-оријентисаних архитектура, као и да се аутоматизује селекција и комбинација расположивих сервиса уз максимално испуњење дефинисаних захтева чиме се добија оптимална конфигурација дате фамилије. Директна последица тога је знатно већи ниво персонализације при креирању софтверских решења која су заснована на SOA парадигми, а пословни процеси и едукативни ситеми су само неки од многих домена примене.

Научни циљ истраживања је да се истраже нове могућности примене семантичких технологија, метода и техника вештачке интелигенције, као и достигнућа из сродних области у којима су анализирани проблеми дефинисања и анализе различитих врста захтева, као што су базе података и операциона истраживања. Прецизније, циљ је да се:

- Пружи преглед постојећег стања у области семантичких технологија, вештачке интелигенције, као и области у којима је идентификован и разматран проблем дефинисања, анализе и испуњења различитих врста захтева.
- Формира нови приступ проблему формалне спецификације и анализе захтева корисника о нефункционалним карактеристикама сервисно-оријентисаних архитектура.
- Формира нови приступ проблему оптималне конфигурације сервисно-оријентисаних архитектура на основу дефинисаних захтева корисника.
- Пружи формални доказ коректности приступа и изврши анализа перформанси.
- Демонстрира креирани приступи путем имплементације тј. креирањем прототипа.

- Пружи преглед и оцена могућности адаптације решења у конкретним доменима примене.

Приступ примењен при решавању изложеног проблема и у сврхе постизања постављених циљева састојао се из следећих фаза:

1. Формална спецификација и опис решења
2. Теоријска анализа решења (анализа коректности, комплетности и перформанси)
3. Креирање и тестирање прототипа
4. Примена развијеног решења у области фамилије пословних процеса

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У складу са изложеним проблемом, предметом и циљем истраживања, садржај дисертације је следећи:

1. Увод

Прво поглавље представља увод у истраживање у којем је укратко описан проблем истраживања, предмет, циљеви, хипотезе, методе и план. Осим тога, дат је и сажет приказ решења.

2. Преглед области истраживања

Друго поглавље се односи на преглед стања из научне области истраживања. С обзиром на то да је у питању истраживање које спаја три не тако сродне области, дат је преглед сервисно-оријентисаних архитектура, корисничких захтева и области семантичких технологија и техника вештачке интелигенције. У оквиру сваке од њих су представљене најважнији појмови, класификације, технике, методе и технологије, њихова поредбена анализа, као и неки текући правци развоја и трендови. Након тога, идентификовани су проблеми примене познатих техника и метода за проблем који се решава.

3. Дефинисање проблема истраживања

У трећем поглављу се налази сумарни приказ досадашњих резултата у наведеним областима истраживања којим се оправдава проблем дефинисан као предмет истраживања у дисертацији. У наставку овог поглавља се наводе специфични проблеми и могуће смернице за њихово решавање.

4. Предлог решења

У четвртом поглављу се представља решење које се предлаже. Прво је креирана семантичка структура за представљање нефункционалних карактеристика која је општа и не односи се само на домен сервисно-оријентисаних архитектура. Затим је представљен алгоритам за рангирање безусловно дефинисаних захтева, након чега су идентификоване разне врсте условно дефинисаних захтева и захтева о доминантном приоритету, које одговарају примерима захтева у реалним системима. Предложени алгоритам за рангирање безусловно дефинисаних захтева је проширен за анализу свих врста захтева које су препознате у датој двослојној структури за представљање нефункционалних карактеристика. На крају је представљено и интегрално решење које обухвата процес креирања двослојне структуре за представљање нефункционалних

карактеристика сервисно-оријентисаних архитектура, разне врсте захтева и селекцију оптималне конфигурације. Након приказа интегралног решења и доказа довољне прецизности решења, предложена је оптимизација чиме се постижу боље перформансе без нарушавања прецизности решења.

5. Имплементација

Пето поглавље се односи на имплементацију предложеног решења, које омогућава кориснику представљање различитих врста захтева, и визуелни приказ решења добијеног применом развијеног алгоритма за анализу разних врста захтева и рангирање расположивих одлика у моделу одлика.

6. Анализа перформанси

Шесто поглавље садржи симулационе анализе развијених метода/приступа. Прво се наводе резултати анализа развијеног алгоритма са становишта неконзистентности које могу бити идентификоване при насумичном креирању двослојне структуре и захтева над њима, на основу чега се дају препоруке за пожељну структуру модела која значајно смањује неконзистентности. Други део симулација се односи на карактеристике креираних интегралних приступа (оптимизованог и неопимизованог) у области фамилије пословних процеса. Како се хеуристичким приступима добија само приближно решење, симулације су извршене с циљем њиховог поређења и утврђивања зависности предложених решења од карактеристика модела.

7. Закључак

Последње поглавље овог рада чини закључак у којем се сумира све што је урађено у истраживању, уз општи осврт на проблем и предмет истраживања, циљеве, хипотезе, постигнуте резултате и доприносе, као и резултате евалуације. На самом крају су идентификоване могућности примене у разним доменима и могући правци за даље истраживање и надградњу предложених решења.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост, оригиналност и значај

Савремени трендови у развоју семантичког веба и дистрибуираних система су довели до велике промене у самом приступу развоју софтвера: од самосталног и изолованог начина развоја софтвера до развоја интеграцијом и спајањем одговарајућих сервиса и компоненти. SOA се појављује као парадигма која је изузетно погодна за дистрибуирано пројектовање рачунарских апликација, њихов развој и примене. Ради могућности поновне употребе (енгл. *reusability*) која се у последње време сматра једним од неопходних захтева при развоју софтвера, као и све већег броја софтверских система са истоветним функционалностима, од развоја појединачних SOA архитектура прешло се на развој целих фамилија. Међутим, постојеће технике и технологије за развој SOA не омогућавају аутоматски одабир сервиса на основу ширег и већег скупа захтева који осим функционалности могу обухватати и захтеве дефинисане над нефункционалним

обележјима препознатим за дати систем. Услед овог недостатка актуелних приступа, постојећа решења не омогућују развој SOA фамилија које имају заједнички скуп функционалности, али у различитом степену испуњавају нефункционалне захтеве на основу чега би биле и рангиране.

У складу са претходно изложеним, оригиналност приступа предложеног у овој дисертацији се огледа у томе што постојећа решења не решавају дефинисани проблем, и самим тиме у литератури није познато решење проблема оптималне конфигурације SOA архитектура на основу нефункционалних захтева. У литератури постоје разчичите методе за представљање и анализу различитих врста захтева, али се, једино у овој дисертацији предлаже проширење познатих метода за дефинисање и анализу захтева над нефункционалним каракетристикама SOA архитектура. Додатно, у литератури су познате различите методе за решавање оптималних задатака, али се само у овој дисертацији предлаже адаптација познатих метода и интеграција са развијеним алгоритмима за рангирање захтева у циљу решења проблема оптималне конфигурације SOA фамилије.

Прави научни значај дисертације и проблема којим се бави се огледа у проналажењу новог начина за коришћење семантичких технологија и метода вештачке интелигенције. Друштвени значај се огледа у аутоматизацији процеса оптималне конфигурације система заснованих на SOA парадигми. Додатна предност предложеног решења огледа се у томе што оно није ограничено само на софтверске компоненте већ се генерално може применити на компоненте (не нужно софтверске) одређене функционалности.

Овакав приступ у развоју и конфигурацији SOA-е има потенцијално велику примену у различитим областима као што су системи за учење, композиција софтверских система на бази пословних процеса и системи за одлучивање који могу укључивати и историјске податке и искуства.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У раду је консултовано и анализирано 205 референтних радова, теза, спецификација и конкретних софтверских решења, од којих као најважније треба издвојити следеће.

За представљање проблема и приказ трендова у области сервисно-оријентисаних архитектура коришћени су радови који обрађују саме појмове сервисно-оријентисане архитектуре и дијаграма тока [3][11][16][19], нефункционалних карактеристика сервиса [177], и агрегације вредности, моделовања и развоја SOA фамилија [188][57] и нефункционалних карактеристика над њима [29] [16].

У области анализе корисничких захтева, коришћени су радови у којима су представљени различити начине класификације корисничких захтева у зависности од домена примене и предмета истраживања [79] [134], фазе животног циклуса [46][81], као и различите методе за њихову анализу и рангирање [77][79][76][115][101][99]. Поредбена анализа датих метода, извршена из неколико различитих аспеката, послужила је као основа за идентификацију недостатака и начина за могућу адаптацију и проширење, што је предложеним решењем и реализовано.

Аналогно, семантичке технологије за представљање доменских карактеристика су обрађене кроз радове [143][146][147], као и радове у којима се предлаже њихова примена за представљање карактеристика веб сервиса [36], SOA архитектура и линија софтверских производа [57]. Поредбена анализа ових технологија је послужила као полазна основа за конструкцију двослојне структуре нефункционалних карактеристика која је представљена у дисертацији. Коначно, методе за решавање задатака оптимизације су представњене кроз радове у којима се даје њихова формална спецификација [194], као и анализа перформанси [163][166][135]. Препоруке и искуства у употреби разматраних метода [195][198], су послужиле као основ за одабир

генетичких алгоритама, као хеуристичког приступа за решавање проблема представљеног у дисертацији.

На крају, верификација комплетног предложеног решења је заснована на приступу предложеном у [60], док су неконзистенције које могу нарушити процес анализе захтева корисника препознате по аналогији са анализама датим у [77][115].

Референтни радови који су се користили у овом сажетом приказу су преузети из листе референци дисертације заједно са оригиналним референтним бројевима из листе:

[3] T. Erl, Service-Oriented Architecture: Concepts, Technology, and Design, Prentice Hall PTR, 2005.

[11] M. P. Papzoglou and W. J. den Heuvel, "Service oriented architecture: approaches, technologies and research issues," VLDB Journal, vol. 16, pp. 389-415, 2007.

[16] J. Cardoso, A. P. Sheth, J. A. Miller, J. Arnold and K. Kochut, "Quality of Service for Workflows and Web Service Processes," Journal of Web Semantics, vol. 1, no. 3, pp. 281-308, 2004.

[19] D. Riehle and H. Zullighoven, "Understanding and using patterns in software development," Theory and Practice of Object Systems, pp. 3-13, 1996.

[36] L. I. Fei, H. E. Yanxiang, H. U. Wensheng, W. U. Libing and W. E. N. Peng, "Web Service Selection Based on Fuzzy QoS Attributes," Journal of Computational Information Systems, vol. 7, no. 1, pp. 198-205, 2011.

[46] I. Sommerville and P. Sawyer, „Requirements engineering", London: Wiley , 1997.

[49] J. Lee, D. Muthig and M. Naab, "A feature-oriented approach for developing reusable product line assets of service-based systems," Journal of Systems and Software, vol. 83, no. 7, pp. 1123-1136, 2010.

[57] E. Bagheri and D. Gašević, "Assessing the Maintainability of Software Product Line Feature Models using Structural Metrics," Software Quality Journal, vol. 19, pp. 579-612, 2010.

[60] G. Gröner, C. Wende, M. Bošković, F. Silva Parreiras, T. Walter, F. Heidenreich, D. Gašević and S. Staab, "Validation of Families of Business Processes," in Advanced Information Systems Engineering: Lecture Notes in Computer Science, vol. 6741, Heidelberg, Springer Berlin, 2011, pp. 551-565.

[76] C. Boutilier, R. I. Brafman, C. Domshlak, H. H. Hoos and D. Poole, "CP-nets: a tool for representing and reasoning with conditional ceteris paribus preference statements," Journal of Artificial Intelligence Research, vol. 21, no. 1, pp. 135-191, 2004.

[77] T. L. Saaty, "The Analytic Hierarchy Process," McGraw-Hill, New York, 1980.

[79] C. Domshlak, E. Hüllermeier, S. Kaci and H. Prade, "Preferences in AI: An overview," Artificial Intelligence, Elsevier, vol. 175, no. 7-8, pp. 1037-1052, 2011.

[81] D. Berry and B. Lawrence, "Requirement Engineerng," IEEE Software, vol. 25, no. 2, pp. 26-29, 1998.

[99] J. Goldsmith, J. Lang, M. Truszczynski and N. Wilson, "The computational complexity of dominance and consistency in CP-nets," Journal of AI Research, pp. 403-432, 2008.

[101] G. C. Roper-Low, "The Analytic Hierarchy Process and its application to an information technology," J. of Operational Research, vol. 41, no. 1, pp. 49-59, 1990.

[115] M. McGeachie and J. Doyle, "The local geometry of multiattribute tradeoff preferences," Artificial Intelligence, vol. 175, no. 7-8, pp. 1122-1152, 2011.

[134] C. Denger and T. Olsson, “Quality Assurance in Requirements Engineering,” in Engineering and Managing Software Requirements, Springer, 2005, pp. 163-182.
[135] J. Guo, J. White, G. Wang, J. Li and Y. Wang, “A genetic algorithm for optimized feature selection with resource constraints in software product lines,” Journal on Systems and Software, vol. 84, p. 2208–2221, 2011.
[143] A. Newell, “The Knowledge Level,” Artificial Intelligence, vol. 18, pp. 87-127, 1982.
[146] R. T. Gruber, “A translation approach to portable ontology specifications,” Knowledge acquisition, vol. 5, pp. 199-220, 1993.
[147] R. B. R. F. D. Studer, “Knowledge engineering: principles and methods,” IEEE Transactions and Data on Knowledge Engineering, vol. 25, no. 1-2, p. 161–197., 1998.
[163] T. Yu and K. J. Lin, “Service Selection Algorithms for Composing Complex Servcies with Multiple QoS Constarints,” Information Systems and e-business Management, pp. 103-126, 2009.
[164] T. Yu, Y. Zhang and K.-J. Lin, “Efficinet Algorithms for Web Services Selection with End-to-End QoS Constraints,” ACM Transactions on the Web, 2007.
[177] H. Jin and H. Wu, “Semantic-enabled specification for Web Services agreement,” International Journal of Web Services Practices, vol. 1, pp. 13-20, 2005.
[188] E. Bagheri, T. D. Noia, D. Gašević and A. Ragone, “Formalizing interactive staged feature model configuration,” Journal of Software Maintenance and Evolution: Research and Practice, vol. 24, no. 4, pp. 375-400, 2011.
[194] M. Srinivas and L. Patnaik, “Genetic algorithms: a survey,” Computer, vol. 27, no. 6, pp. 17-26, 1994.
[195] U. Bhowan, M. Johnston and M. Zhang, “Developing new fitness functions in genetic programming for classification with unbalanced data,” IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B, vol. 42, no. 2, pp. 406- 421 , 2012.
[198] A. B. Hadj-Alouane and J. C. Bean, “A Genetic algotihm for the multiple-choice integer program,” Operations Research, vol. 45, pp. 92-101, 1997.

3.3. Анализа примењених научних метода и њихова адекватност за спроведено истраживање

Општенаучни метод који је коришћен у истраживању је теоретско-аналитички метод. Посебне научне методе које су коришћене у истраживању су: емпиријска, симулациона и неке статистичке методе.

Ове методе су се показале као адекватне јер су омогућиле разматрање недостатака постојећих система кроз компаративну анализу, детаљно сагледавање могућности примене постојећих семантичких технологија за проблем који се решава, као и уочавање могућности за побољшање и даљи развој. С обзиром да се побољшања и проширења постојећих технологија морају теоријски засновати и доказати, јасно је да је теоретско-аналитички метод био потпуно примерен.

Симулациони метод је употребљен као основа за анализу карактеристика примене развијених метода за представљање и анализу захтева као и за каснију оптималну конфигурацију SOA фамилија. Као резултат су добијени квантитативни показатељи броја неконзистенција при дефинисању захтева и употреби предложеног алгоритма за рангирање, на основу чега је дата и процена очекиваног броја

неконзистенција у случају модела одређених карактеристика. С друге стране, у случају примене алгоритма за оптимално конфигурисање SOA фамилија, симулацијама је показана оптималност предложеног решења, као и даље анализе зависности оптималности решења од карактерситика модела који се решава.

3.4. Оцена примењивости и верификације остварених резултата

С обзиром на то да резултати обухватају два теоријски заснована алгоритма/приступа (алгоритам за рангирање различитих врста захтева и хеуристички приступ заснован на генетичким алгоритмима за решење проблема оптималне конфигурације), развијени прототип и пример практичне примене, верификација (евалуација) остварених резултата је подељена у четири целине.

Прву целину чини формализација алгоритма за рангирање различитих корисничких захтева који су претходно формално дефинисани и уведена су правила конзистентности. За дати алгоритам је формално доказана комплетност, дата дискусија коректности, као и процена сложености. Додатно, симулационе анализе су извршене у циљу процене нарушења дефинисаних правила конзистентсноти и креирање препорука за минимизацију њихове учестаности.

Другу целину чини формализација хеуристичког приступа за решавање проблема оптималне конфигурације. Како је реч о методу за приближно решавање, оптималност приступа је доказана симулационим анализама. Након процене сложености и дискусије, предложена је оптимизација за коју је такође симулационим путем показано да значајно не нарушава оптималност решења.

Трећу целину чини оцена приступа на основу евалуације прототипа чиме је показана једноставност и сврсисходност коришћења. Коначно, четврта целина представља примену решења у области оптималне конфигурације пословних процеса у којој се симулационим путем показује оптималност као и зависност оптималности решења од карактеристика модела.

На основу свега се може закључити да се предложени теоријски приступ може успешно применити за решавање проблема оптималне кофигурације у разним доменима примене SOA парадигме, при чему је за сваку област неопходно проценити оптималност јер је у дисерацији показана оптималност у општем случају (без узимања у обзир специфичности домена примене који позитивно или негативно могу утицати на остварену оптималност).

3.5. Оцена способности кандидата за самостални научни рад

Кандидаткиња је показала висок степен самосталности при дефинисању предмета и проблема истраживања, као и при осмишљавању решења дефинисаног проблема. Способност за самостални научни и истраживачки рад је потврдила и писањем и објављивањем радова на конференцијама и у часописима, у чему је увек имала примарну и водећу улогу.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Све у свему, главни научни и стручни доприноси остварени овим истраживањем су следећи:

1. Преглед и анализа досадашњих достигнућа у областима развоја и конфигурације SOA и фамилија SOA, анализе и рангирања захтева корисника, као и областима представљања знања, интелигентног резоновања и решавања задатака оптимизације.
2. Анализа недостатака постојећих метода/техника за спецификацију, рангирање и аутоматску конфигурацију SOA фамилија на основу различитих врста захтева корисника.
3. Развој иновативног CS-AHP алгоритма за представљање и квантитативну анализу разних врста захтева (безусловних, условних и захтева о лексикографском поретку) који омогућава:
   3.1. дефинисање разних врста захтева над двослојном семантичком структром за представљање карактерстика релевантних за процес одлучивања;
   3.2. идентификацију и разрешавање разних врста неконзистенција које се могу појавити у дефинисаним захтевима;
   3.3. проверу конзистентности у складу са карактеристикама конструисане двослојне структуре и захтевима дефинисаним над њом.
4. Креирање иновативног модела за представљање нефункционалних карактеристика, заснованог на двослојној семантичкој структури и развијеном CS-AHP алгоритму за представљање захтева над њим, који омогућава:
   4.1. представљање разних врста очекивања, ставова и захтева корисника о нефункционалним карактеристикама делова SOA-е као и SOA фамилије у целости;
   4.2. дефиницију задатка оптималне конфигурације SOA фамилије што у основи представља задатак персоналне конфигурације у складу са разним врстама захтева дефинисаних од стране корисника.
5. Креирање иновативног хеуристичког приступа за решавање проблема оптималне конфигурације SOA фамилије. Као најзначајније карактеристике развијеног приступа могу се навести следеће:
   5.1. Заснова се на претходно конструисаној двослојној структури за представљање нефункционалних карактеристика и CS-AHP алгоритму за анализу захтева над њом;
   5.2. Обезбеђује ефикасно и ефективно решење персонализовано ка кориснику и његовим захтевима;
   5.3. Обезбеђује конструкцију конфигурације SOA фамилије у односу на дефинисане функционалне и нефункционалне карактеристике.
6. Примена развијеног интегралног решења у области пословних процеса, и анализа карактеристика примене у зависности од модела пословних процеса, односно од карактеристика и услова окружења у којем се примењује.

Остварени доприниси са становишта практичне примене су:

1. Препоруке тј. смернице за конструкцију двослојне семантичке структуре за представљање нефункционалних карактеристика и захтева над њима у циљу обезбеђења мањег броја неконзистенција;
2. Проширење постојећих модела за представљање нефункционалних карактеристика развијеном двослојном семантичком структуром;
3. Развијена конкретна апликација (прототип) која представља имплементацију развијеног решења за представљање и анализу захтева корисника;
4. Анализа основних карактеристика развијеног интегралног решења као и развијеног алгоритма за анализу захтева.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

У овој дисертацији је представљена употреба семантичких технологија и метода вештачке интелигенције за аутоматизацију процеса оптималне конфигурације SOA фамилије у односу на дефинисане нефункционалне захтеве. С тим циљем је конструисана двослојна семантичка структура за представљање нефункционалних карактеристика и разних врста захтева над њима (безусловно дефинисаних, условно дефинисаних, захтева о доминантном приоритету), као и CS-AHP алгоритам за анализу и процесирање захтева дефинисаних над датом структуром. За решење дефинисаног проблема оптималне конфигурације SOA фамилије развијено је интегрално решење које обухвата процес конструкције двослојне структуре, представљање корисничких захтева и хеуристички приступ заснован на примени генетичког алгоритма за решење оптималног задатка. Предложена решења су симулационо анализирана како би се утврдиле карактеристике примене и генерисање неконзистенција (у случају CS-AHP алгоритма) као и процене оптималности добијених решења. Такође, предложена је и једна оптимизација, која у складу са карактеристикама развијене двослојне структуре, обезбеђује полиномијалну сложеност у односу на величину структуре и број итерација хеурустичког приступа. На крају, предложено решење је примењено у области фамилије пословних процеса, где су карактеристике примене анализиране у зависности од модела пословних процеса тј. од карактеристика и услова окружења у којем се примењује.

С обзиром на то да су у овој дисертацији представљена иновативна решења у областима анализе захтева корисника и оптималне конфигурације SOA фамилије, могући правци даљих истраживања су дефинисани управо у тим областима. Конкретно, даља истраживања могу бити реализована у циљу:

- Аутоматизације процеса идентификације неконзистентности у захтевима и обезбеђења њихове динамичке идентификације и разрешавања;
- Развоја метода за генерисање формалне спецификације захтева на основу захтева нижег нивоа структурираности, што за крајњи циљ има развој метода за директну трансформацију захтева представљених у облику структурираног текста у формално представљене захтеве;
- Проширења развијеног алгоритма за анализу разних врста захтева, нпр. динамички променљивих захтева, временских захтева, итд;
- Примене развијених приступа у разним доменима у којима се могу идентификовати нове врсте захтева;
- Проширења развијеног приступа за адресирање проблема динамичких промена у доменима примене, нрп. неки од расположивих сервиса може постати недоступан; или се пак променити захтеви о префериираних карактеристикама система;

- Проширења развијеног приступа у циљу обезбеђења искуственог интелигентног учења, тј интеграције претходних понашања система и корисника на основу анализе стохастичких података и мониторинга претходних процеса конфигурације.

Предложено решење се заснива на примени хеурисичког приступа чиме се добија само приближно решење. Ипак, показана је оптималност од 90% за коју се у литератури сматра да је довољно прецизна. С друге стране, алгоритам за анализу захтева корисника захтева конзистентност у захтевима, а за неке упите има експоненцијалну сложеност. Ипак, у развијеном интегралном решењу су предложене оптимизације које превазилазе дати проблем, али у општим доменима примене развијеног алгоритма (посматраног изван проблема оптималне конфигурације) остаје проблем перформанси који је опште познат у литератури.

Када се сагледају сви резултати и доприноси истраживања, може се рећи да су хипотезе доказане (заиста се предложене методе и технике за представљање и анализу разних врста нефункционалних захтева као и приступ за оптималну конфигурацију SOA фамилија) и да предложени приступ даје довољно ефикасно и оптимално решење дефинисаног проблема. Даља истраживања могу бити усмерена ка даљим побољшањима и проширењима предложеног приступа.

4.3. Очекивана примена резултата у пракси

С обзиром на то да је алгоритам за анализу захтева корисника добијен као проширење и адаптација добро познате AHP фамилије метода, развијени метод има велике потенцијале опште применљивости, које карактеришу све припаднике ове фамилије метода.

Као што је претходно наведено, компаративном анализом је показано да предложено интегрално решење за проблем оптималне конфигурације SOA фамилије представља, у односу на постојећа решења представљена у литератури, најбоље решење са становишта персонализације ка кориснику и његовим захтевима. Директни домен примене је креирање SOA фамилија, а уколико се ослободи услов посматрања веб сервиса, тако да се под појмом сервиса подразумева једна компонента (која не мора бити софтверска) дате функционалности, добија се широк опсег могућих примена. Један од примера који потврђује наведено, а сажето је представљен у закључку дисертације, односи се на домене персонализованог е-учења. Конкретно, реч је о персонализацији система е-учења, у којем се распоред и дужина трајања наставних јединица као и одабир наставних материјала за сваку од њих врши на основу каракетристика сваког студента појединачно. Истом домену припада и персонализовани одабир курсева на одређеном нивоу едукације где се SOA фамилија може конструисати у односу на организацију процеса едукације у складу са његовим временским трајањем, а расположиви сервиси могу бити представљени као курсеви које студент може похађати.

4.4. Верификовање научних доприноса путем радова на конференцијама и у часописима

Резултати из дисертације су верификовани саопштавањем радова на следећим међународним конференцијама и часописима:

[1] I. Ognjanović, D. Gašević, E. Bagheri, "A Stratified Framework for Handling Conditional Preferences: an Extension of the Analytic Hierarchy Process," ***Expert Systems with Applications***, Vol. 40, No. 4, March 2013, pp. 1094–1115. DOI: 10.1016/j.eswa.2012.08.026

[2] I.Ognjanović, B.Mohabbati, D.Gašević, E.Bagheri, M.Bošković, "A Metaheuristic Approach for the Configuration of Business Process Families**,**" *IEEE International Conference on service Computing (SCC2012)*, Hawaii, USA, 2012, ISBN: 978-0-7695-4753-4, doi>10.1109/SCC.2012.6
[3] Ognjanović, I., Gašević, D., Bagheri, E., Asadi, M., "Conditional preferences in software stakeholders' judgments", *The 26th Annual ACM Symposium on Applied Computing (SAC 2011)*, Tunghai University, TaiChung, Taiwan, 2011, pp. 683-690, ISBN: 978-1-4503-0113-8
[4] I.Ognjanovic, R.Sendelj, "Making judgments and decisions about relevant learning resources", *The 20th International Electrotechnical and Computer Science Conference*, Portoroz, Slovenia (ERK 2011), pp. 409-412.
[5] I.Ognjanović, R.Šendelj, "Teachers' requirements in dynamically adaptive e-learning systems", *The 4th International Conference on Education and new Learning Technologies (EDULEARN12)*, Barcelona, Spain, 2012, ISBN: 978-84-695-3491-5

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Кандидат Ивана Огњановић је у докторској дисертацији предложила нови начин конфигурације сервисно-оријентисаних архитектура применом семантичких технологија и метода и техника вештачке интелигенције. Осим теоријске основе, у раду је дата формализација целокупног приступа као и доказ коректности решења које се предлаже. Додатним анализама су утврђене процене нарушавања конзистенција у примени, па су дате и препоруке у циљу њиховог превазилажења и отклањања. Такође, израдом прототипа направљен је и значајан помак у смислу реализације предложеног приступа, чиме је додатно стечен увид у применљивост решења у пракси. Развијени прототип је опште намене и може се користити и са другим алатима и у друге сврхе. Све кораке истраживања и развоја кандидаткиња је урадила самостално, а у саопштавању и објављивању научних резултата је увек имала примарну улогу па комисија сматра да је потпуно способна за самосталан научно-истраживачки рад.

Имајући у виду све наведене чињенице, комисија Наставно-научног већа ФОН-а предлаже да се рад Иване Огњановић под називом „Семантичке технологије за конфигурисање сервисно-оријентисаних архитектура на основу нефункционалних захтева“ **прихвати као докторска дисертација и да се кандидату одобри усмена одбрана**.

Београд, 21. 12. 2012.

6. ПОТПИСНИЦИ ИЗВЕШТАЈА

др Јелена Јовановић, доцент, ФОН, Београд, члан (ментор)

др Владан Девеџић, редовни професор, ФОН, Београд, члан

др Драган Гашевић, ванредни професор, Универзитет Атабаска, члан