

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Стефана Тубића 2016/5008, мастер инжењера електротехнике и рачунарства

Одлуком бр. 1275/26 од 02.07.2024. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Стефана Тубића 2016/5008 под насловом

Језик за опис архитектуре софтверских система заснован на функционалној декомпозицији

(енгл. *Language for description of an architecture of software systems based on functional decomposition*)

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

Докторске академске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, на модулу за Рачунарску технику и информатику, кандидат Стефан Тубић је уписао у октобру 2016. године. Кандидат је положио све испите са оценом 10 и остварио 120 ЕСПБ. Такође, испунио је све обавезе везане за студијски истраживачки рад које су предвиђене наставним планом и програмом докторских студија. Кандидат је 23.10.2023. пријавио тему за израду докторске дисертације под насловом „Језик за опис архитектуре софтверских система заснован на функционалној декомпозицији” Катедри за рачунарску технику и информатику на Електротехничком факултету Универзитета у Београду.

Катедра за рачунарску технику и информатику, на својој седници одржаној дана 24.10.2023. године, размотрила је пријаву теме докторске дисертације коју је поднео кандидат. Катедра је утврдила да је надлежна за разматрање пријављене теме докторске дисертације, као и да су достављена пријава и њени прилози суштински и формално одговарајући и комплетни.

Комисија за студије трећег степена Електротехничког факултета Универзитета у Београду је на својој седници одржаној дана 31.10.2023. године разматрала пријаву теме за израду докторске дисертације и предлог састава Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације. Комисија за студије трећег степена је пријаву теме и предлог састава

Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације упутила Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду на усвајање.

Наставно-научно веће Електротехничког факултета Универзитета у Београду је, на својој 891. седници одржаној дана 07.11.2023. године, донело одлуку бр. 1630/28 о именовању Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације у саставу:

- др Захарије Радивојевић, ванредни професор Универзитета у Београду, Електротехнички факултет
- др Зоран Шеварац, редовни професор Универзитета у Београду, Факултет организационих наука
- др Горан Квашчев, редовни професор Универзитета у Београду, Електротехнички факултет

За ментора је предложен др Милош Цветановић, ванредни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Јавна усмена одбрана теме докторске дисертације је одржана дана 23.11.2023. године. Комисија за оцену научне заснованости теме докторске дисертације оценила је усмену одбрану као успешну (оцена „задовољно“).

Комисија за студије трећег степена Електротехничког факултета Универзитета у Београду је на својој седници која је одржана дана 28.11.2023. године разматрала записник Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације са јавне усмене одбране, који је упутила Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду на усвајање.

Наставно-научно веће Електротехничког факултета Универзитета у Београду је, на својој 892. седници одржаној дана 05.12.2023. године, усвојило извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата, а за ментора је именован др Милош Цветановић, ванредни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду је, на својој седници одржаној дана 22.01.2024. године, дало сагласност на предложену тему докторске дисертације и именовање ментора (бр. одлуке 61206-180/2-24).

Кандидат је предао докторску дисертацију на проверу оригиналности 17.06.2024. а на преглед и оцену 20.06.2024. године.

Комисија за студије трећег степена Електротехничког факултета Универзитета у Београду је, на седници одржаној дана 25.06.2024. године, потврдила испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду за формирање Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације.

Наставно-научно веће Електротехничког факултета Универзитета у Београду је, на својој 899. седници одржаној дана 02.07.2024. године, именovalo Комисију за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације (бр. одлуке 1275/26) у саставу:

- др Захарије Радивојевић, ванредни професор Универзитета у Београду, Електротехнички факултет
- др Зоран Шеварац, редовни професор Универзитета у Београду, Факултет организационих наука
- др Горан Квашчев, редовни професор Универзитета у Београду, Електротехнички факултет

- др Бошко Николић, редовни професор Универзитета у Београду, Електротехнички факултет
- др Саша Стојановић, ванредни професор Универзитета у Београду, Електротехнички факултет

1.2. Научна област дисертације

Дисертација припада научној области Електротехника и рачунарство, а ужа научна област дисертације је Рачунарска техника и информатика, док у оквиру уже научне области припада области Софтверско инжењерство. Ментор дисертације је др Милош Цветановић, ванредни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду, који има доприносе у наставном и научном раду у области Софтверског инжењерства.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Стефан Тубић рођен је 25.08.1991. године у Крагујевцу. Завршио је основну школу Мирко Јовановић 2006. године у Крагујевцу са просечном оценом 5,00, као ђак генерације и носилац дипломе Вук Караџић и добијао награде на такмичењима из математике и физике. Затим 2010. године завршава Прву крагујевачку гимназију, унутар одељења обдарених за математику, са просечном оценом 5,00 где је учествовао на такмичењима из информатике, математике и физике.

Основне академске студије на Електротехничком факултету у Београду уписао је 2010. године и изабрао Одсек за рачунарску технику и информатику. Током основних студија радио је као демонстратор на више предмета при Катедри за рачунарску технику и информатику. Дипломирао је на студијском програму Електротехника и рачунарство 2014. године, након четири године студија, са просечном оценом 9,00 и оценом 10 на дипломском испиту. Тема дипломског рада је „Примена алгоритама у компјутерским играма”, а ментор рада је проф. др Зоран Јовановић. Стефан је био на пракси у фирми *Intellex d.o.o.* где је радио на развоју *iOS* апликација.

Мастер академске студије на Електротехничком факултету у Београду уписао је 2014. године на Одсеку за рачунарску технику и информатику. Мастер студије је завршио 2016. године са просечном оценом 9,83 и оценом 10 на мастер раду. Тема мастер рада је „Имплементација софтвера за филтрирање нежељених порука употребом класификационих алгоритама”, а ментор рада је проф. др Милош Цветановић.

Докторске академске студије на Електротехничком факултету у Београду уписао је 2016. године на модулу за Рачунарску технику и информатику. До сада је остварио 120 ЕСПБ, односно положио све испите предвиђене студијским програмом са оценом 10. У току докторских студија објавио је један рад у међународном часопису са импакт фактором, један рад на међународној конференцији и два рада на домаћим конференцијама. Од 2019. до 2023. Стефан Тубић је ангажован на међународном пројекту Уједињених нација програма за развој под називом: „Пројекат за преквалификације у *IT* сектору”. Од 2016. до 2022. је ангажован на пројекту Министарства науке, технолошког развоја и иновација бр. TR32047 под називом: „Развој хардверске, софтверске и телекомуникационе инфраструктуре е-система за контролу промета и пореза”. Код Министарства науке, технолошког развоја и иновација био је ангажован на још 4 пројекта. Био је ангажован и на једном комерцијалном пројекту.

Од марта 2015. године запослен је као сарадник у настави на Катедри за рачунарску технику и информатику Електротехничког факултета у Београду. Од априла 2017. године запослен је као асистент на Катедри за рачунарску технику и информатику Електротехничког факултета у Београду. Био је ангажован у настави на 7 различитих

предмета, који се изводе на оба студијска програма, Електротехника и рачунарство и Софтверско инжењерство и изводи вежбе на табли и лабораторијске вежбе за изузетно велики број студената, на све четири године основних студија, као и на мастер студијама. Као асистент на Електротехничком факултету био је ангажован на следећим предметима: Базе података 1, Информациони системи 1, Информациони системи 2, Софтверски алати база података, Софтверско инжењерство великих база података, Рачунарске мреже 1, Програмирање 1. Говори течно енглески језик.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Дисертација је написана на српском језику ћириличним писмом и има 128 страна од чега је 107 нумерисано. Дисертација садржи 49 слика и 15 табела. Дисертација је организована у 9 поглавља:

1. Увод
2. Архитектура комплексних софтверских система
3. Постојећи архитектурални језици и њихове особине
4. Поставка проблема
5. Архитектурални језик заснован на функционалној декомпозицији - АФД
6. АФД алат
7. Евалуација
8. Смернице за даља истраживања
9. Закључак

Додатно дисертација садржи и насловне стране на српском и енглеском језику, страну са информацијама о ментору и члановима комисије за преглед и оцену, захвалницу, сажетак на српском и енглеском језику, садржај, списак слика, списак табела, списак литературе са 75 референци наведених по редоследу појављивања у тексту, биографију аутора и потребне изјаве (о ауторству, о истоветности штапане и електронске верзије докторског рада и о коришћењу).

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Осим уводног поглавља, дисертација има још осам поглавља. Уводно поглавље је увело архитектуралне језике као средство за описивање архитектура софтверских система. Уведене су методе за описивање комплексних софтверских система. Такође, поред употребе архитектуралних језика ради креирања описа архитектура наведена је њихова употреба у образовању.

Друго поглавље описало је архитектуру комплексних софтверских система. Прво је увело потребну терминологију везану за архитектуру, елементе архитектуре и њен опис. У наставку је описало термине везане за комплексне софтверске системе, архитектуралне језике, функционалну декомпозицију и рачунарско размишљање.

Треће поглавље је на почетку дало осврт на историју архитектуралних језика. Затим је описало особине архитектуралних језика кроз два оквира који су дефинисани у литератури. На крају су наведени неки од постојећих архитектуралних језика, описане неке њихове функционалности и појашњено како омогућавају описивање комплексних софтверских система.

Четврто поглавље дефинисало је проблеме у вези са описивањем архитектура комплексних софтверских система, као и проблеме у домену логичког дизајна софтвера и декомпозиције. Као решење проблема уведен је нови архитектурални језик који се заснива на функционалној декомпозицији који описивање архитектуре врши интегралним моделовањем. Дефинисани су предмет, циљ и значај дисертације. Додатно, ово поглавље је увело полазне хипотезе.

Пето поглавље је описало имплементирани архитектурални језик за аотирану функционалну декомпозицију (АФД). Прво су описане аотације функција по нивоима декомпозиције и то који су аспекти система покривени којим нивоима декомпозиције. Описано је како је рачунарско размишљање имплементирано у АФД. Затим су дефинисана гледишта на систем и иста мапирана на уведене аотације, као и на постојећа гледишта у литератури, дефинисани су односи између гледишта и на крају описано интегрално моделовање које АФД пружа. Показано је како АФД омогућава управљање конзистенцијом између погледа дефинисаних гледишта. На крају су представљени алгоритми за превођење описа дефинисаних у АФД у описе дефинисане у *UML*.

Шесто поглавље описало је АФД алат. Дати су графички прикази алата уз објашњења његових функционалности користећи пример једног описа архитектуре. Дати су графички прикази одређених функционалности алата као што су визуелно разликовање погледа, сакривање погледа, управљање конзистенцијом и генерисање *UML* описа. Приказане су основне компоненте алата, описана је њихова интеракција у циљу обављања одређених случајева употребе алата. Демонстрирана је имплементација алгоритма за генерисање једног типа *UML* дијаграма кроз графичке приказе одређених делова кода. На крају је описана интеграција АФД алата са постојећим пакетима ради генерисања *UML* описа и пружања графичког корисничког интерфејса.

Седмо поглавље представља неколико евалуација. Прва евалуација урађена је у контексту других архитектуралних језика и као резултат добијен је скуп захтева и под-захтева за архитектуралним језицима које АФД пружа, којим техникама као и колики проценат постојећих архитектуралних језика пружа одређени захтев или под-захтев техником коју користи АФД. Друга евалуација била је квантитативна и спроведена је као експеримент на курсу информационалних система где је добијен статистички значајан резултат да студентима АФД може олакшати креирање описа у поређењу са архитектуралним језиком који се користи у пракси. Трећа евалуација била је квалитативна и спроведена је на курсу информационалних система која је показала да коришћење АФД може студентима бити лак за разумевање у поређењу са архитектуралним језиком који се користи у пракси. Четврта евалуација је била квантитативна и спроведена је као експеримент у контексту управљања конзистенцијом, где је добијен статистички значајан резултат да АФД може олакшати уочавање неконзистентности у поређењу са архитектуралним језиком који се користи у пракси у случају испитаника запослених у струци односно са више искуства у домену развоја софтвера. У оквиру четврте евалуације су додатно анализирани резултати студената и показано је да су резултати слични у случају више успешних студената. На основу добијених резултата дати су одговори на полазне хипотезе. На крају су дате претње валидности за спроведене експерименте.

Осмо поглавље је дало смернице за даља истраживања. Навело је скуп захтева и под-захтева које АФД не пружа, а које би се могле додатно имплементирати ради постизања других особина и циљева архитектуралних језика као и спровести експерименти везано за њих. Наведено је да истраживање може ићи у правцу проналазака и имплементације нових методолошких приступа и испитивања њихових утицаја.

Последње, девето, поглавље је закључило докторску дисертацију. Дало је осврт на спроведено истраживање, описало истакнуте карактеристике АФД и утицај АФД на управљање описима комплексних софтверских система као и утицај имплементираних

методолошких приступа у решавању проблема. Сажето је представило резултате евалуација и доприноса који су проистекли из докторске дисертације.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Савременост и оригиналност дисертације огледа се у томе да отвара нове видике на пољу софтверског инжењерства, пре свега у области архитектуре софтвера на више начина. Дисертација уводи концепте рачунарског размишљања као широко прихваћен и актуелан приступ за декомпозицију и решавање проблема у архитектуру софтвера имплементирајући га у нови архитектурални језик АФД. Дисертација уводи функционалну декомпозицију као методолошку парадигму дизајна у АФД, која је од стране *АСМ* и *IEEE* рачунарског друштва у оквиру новог курикулума препозната и препоручена тема у области софтверског инжењерства.

Дисертација користи актуелни оквир за архитектуралне језике, који дефинише скуп захтева за архитектуралним језицима на основу којег је направљен и описан АФД. Испуњавајући одређене захтеве дефинисане овим оквиром АФД пружа функционалности које су захтеване од стране практиканата. Међу пруженим захтевима АФД омогућава превођење својих описа у описе архитектура за *UML* који је широко коришћен и прихваћен језик за моделовање.

АФД омогућава креирање описа архитектура комплексних софтверских система пружањем подршке за креирање описа са више гледишта. Описивање са више гледишта је актуелан и широко прихваћен приступ за описивање архитектура комплексних софтверских система. Креирање описа са више гледишта дефинише описе скупом погледа. Дисертација уводи нови приступ у решавању проблема управљања конзистенцијом између погледа интегралним моделовањем. Интегрално моделовање пружено од стране АФД омогућава креирање погледа једне уз друге у оквиру једног текстуалног описа, што олакшава одређене активности управљања конзистенцијом. Дисертација доприноси и алатом за рад са АФД који између осталих функционалности омогућава сакривање одређених погледа из интегралног модела како би заинтересоване стране могле да сакрију детаље који им нису битни и тако се фокусирају на управљање описом са свог гледишта на систем.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У дисертацији је наведено 75 референци које су нумерисане према редоследу појављивања у тексту. Референце обухватају базичне као и најновије научне радове који су у вези са темом докторске дисертације, а који су објављени у међународним часописима и зборницима радова међународних конференција што потврђује значај, релевантност и савременост теме. Такође, међу референцама су наведени и радови које је кандидат објавио као аутор верификујући доприносе дисертације.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У оквиру дисертације прво је извршено проналажење и описивање приступа који се користе у описивању софтверских система и специфично комплексних софтверских система. На тај начин су дефинисане одређене особине архитектуралних језика између којих су подршка за више гледишта и подршка за управљање конзистенцијом које се користе у те сврхе. Извршена је анализа рачунарског размишљања као приступа за декомпозицију и решавање проблема и функционалне декомпозиције као методолошке парадигме дизајна.

Након тога извршена је детаљна анализа одређених постојећих оквира за архитектуралне језике, идентификовани су и описани захтеви које један од оквира дефинише као и испуњеност захтева од стране 124 постојећа архитектурална језика. Извршено је описивање неколико најновијих постојећих архитектуралних језика који омогућавају описивање архитектура комплексних софтверских система. Поред описивања њихових функционалности у случају језика који пружају управљање конзистенцијом извршено је описивање како они пружају управљање конзистенцијом.

Кандидат је осмислио и имплементирао нови архитектурални језик за аотирану функционалну декомпозицију, АФД. У АФД су имплементирани концепти рачунарског размишљања кроз анотације дефинисане над функцијама, а додатно је пружено декомпоновање функција на њихове под-функције, односно функционална декомпозиција на којој се АФД заснива. АФД је пружио 9 од 12 захтева за архитектуралним језицима међу којима је подршка за више гледишта и управљање конзистенцијом како би омогућио управљање описима комплексних софтверских система. АФД је омогућио интегрално моделовање којим се погледи креирају једни уз друге како би олакшао управљање конзистенцијом. Кандидат је осмислио, имплементирао, а потом описао алгоритме који су коришћени ради превођења АФД описа у *UML* описе како би повећао употребљивост АФД и задовољио друге захтеве за архитектуралним језицима идентификованим у литератури.

Потом је имплементиран алат за коришћење АФД ради задовољења осталих захтева за архитектуралним језицима и како би се додатно повећала употребљивост АФД. Алат омогућава бојење различитих погледа, сакривање погледа и остале функционалности које олакшавају управљање описима, као и функционалност аутоматског генерисања *UML* описа. Описана је структурна композиција компоненти алата и њихова интеракција ради пружања својих функционалности. Урађена је и описана интеграција са постојећим компонентама *PlantUML* и *CodeMirror* ради исцртавања *UML* дијаграма и пружања графичког интерфејса. Алат је развијен и као средство за спровођење експеримената.

Прва евалуација је урађена у контексту других архитектуралних језика. У литератури су идентификовани захтеви за архитектуралним језицима, као и технике за пружање захтева. Затим је АФД евалуиран на основу сваког од захтева описивањем на који начин АФД пружа одређени захтев и коју технику користи. Дат је и број постојећих језика који пружа одређени захтев истом техником коју користи АФД како би се појаснила позиција АФД у контексту постојећих језика.

Друга евалуација је урађена као експеримент на курсу информационих система. Ова квантитативна евалуација посматрала је четири генерације студената где су све училе исте теме, укључујући АФД и *UML* које су покривене истим материјалима. Свака генерација је на првом колоквијуму решавала један проблем користећи АФД, а на другом колоквијуму други проблем користећи *UML*. Студентска решења су оцењивана на основу тога колико су логичких провера и ограничења имплицираних проблемом успешно идентификовали и адресирали. Оцене које су студенти добили су коришћене за анализу. За потребе анализе коришћене су двосмерна анализа варијансе (*ANOVA*) и *Kruskal-Wallis* тестови. Додатно су у обзир узете и просечне оцене студената како би се проценио њихов утицај на резултате евалуације.

Трећа евалуација је урађена као експеримент такође на курсу информационих система. Ова квалитативна евалуација урађена је спровођењем анонимне анкете студената из последње од четири посматране генерације. Ова анкета састојала се из више питања затвореног типа, од којих су се нека односила на АФД.

Четврта евалуација је урађена као експеримент у контексту управљања конзистенцијом. Ова квантитативна евалуација посматрала је 24 испитаника, од којих су 10 испитаници који су

завршили одсек Софтверско инжењерство или Рачунарска техника и информатика на Електротехничком факултету, Универзитета у Београду и који су запослени у струци, а 14 испитаника су студенти основних студија одсека Софтверско инжењерство или Рачунарска техника и информатика на Електротехничком факултету, Универзитета у Београду. Обе групе испитаника су училе исте теме, укључујући АФД и *UML* које су покривене истим материјалима. Током тестирања учесници су тражили неконзистентности у описима архитектура креираним у АФД и у *UML*. Извршена је равномерна расподела проблема, неконзистентности, као и архитектуралних језика за опис архитектура (АФД и *UML*) на учеснике експеримента. Приликом решавања проблема евидентирано је време почетка и време завршетка решавања проблема као и времена проналаска сваке неконзистентности. Решења учесника су оцењивана само на основу тога колико су неконзистентности у описима архитектура успешно пронашли. Оцене које су учесници постигли на проблему посматрањем АФД описа и оцене који су учесници постигли на истом проблему посматрањем *UML* описа су искоришћене за квантитативну анализу. За потребе анализе коришћене су двосмерна анализа варијансе (*ANOVA*) и *Kruskal–Wallis* тестови. Додатно у случају студената основних студија, посматрано је да ли постоје корелације између просечних оцена, оцена добијених на курсу информационих система, као и поена остварених на првом и другом колоквијуму на курсу информационих система са оценама које су студенти постигли током експеримента. Такође су урађене анализе времена проналажења неконзистентности.

На крају на основу резултата евалуација извршено је табеларно приказивање и визуелизација резултата. У оквиру прве евалуације дат је табеларни приказ испуњености захтева за архитектуралним језицима од стране АФД. У оквиру друге евалуације дат је табеларни приказ резултата *ANOVA* и *Kruskal–Wallis* тестова ради утврђивања да ли АФД може студентима олакшати креирање описа архитектуре у поређењу са архитектуралним језиком који се тренутно користи у пракси. У оквиру треће евалуације дат је табеларни приказ одговора на анкету ради утврђивања да ли коришћење АФД може студентима бити лак за разумевање у поређењу са архитектуралним језиком који се тренутно користи у пракси. У оквиру четврте евалуације дат је табеларни приказ резултата *ANOVA* и *Kruskal–Wallis* тестова у случају испитаника који су запослени, дате су графичке представе резултата испитаника студената основних студија ради утврђивања да ли коришћење АФД може олакшати уочавање неконзистентности у опису архитектуре у поређењу са архитектуралним језиком који се тренутно користи у пракси. Такође, дате су графичке представе у вези са временом проналажења неконзистентности као и вероватноћом проналажења неконзистентности. Извршено је тумачење резултата, донети су одговарајући закључци и дати одговори на полазне хипотезе дисертације. Додатно, наведени су могући правци даљег истраживања.

Кандидат је применио потпуно адекватне научне методе које се користе у области којом се дисертација бави. Томе сведочи развој новог архитектуралног језика и алата користећи постојећи оквир за креирање и описивање архитектуралних језика. Такође, томе сведочи коришћење и имплементација постојећих приступа и методолошких парадигми, као и коришћење постојећих статистичких метода.

3.4. Применљивост остварених резултата

Пружање више гледишта и тиме погледа на опис архитектуре омогућена је примена новог архитектуралног језика АФД у домену описивања архитектура комплексних софтверских система. Интегрално моделовање које АФД пружа омогућило је приближавање погледа у оквиру описа архитектура. На овај начин у случају особа које имају више искуства у домену развоја софтвера олакшано је уочавање неконзистентности у поређењу са *UML* као једним од језика који се могу користити за креирање описа архитектура. У овом случају АФД и његов

алат се могу користити у описивању архитектура са циљем лакшег уочавања неконзистентности у раној фази развоја софтвера. Даљи развој је омогућен генерисањем *UML* дијаграма који су широко распрострањени и коришћени у фази дизајна, а могу представљати почетну тачку за каснију фазу имплементације.

Имплементација рачунарског размишљања у АФД и заснивање АФД на функционалној декомпозицији олакшава решавање проблема у домену логичког дизајна софтверских система. Овај резултат додатно повећава примену АФД у решавању проблема у домену логичког дизајна приликом креирања описа у раној фази развоја софтвера. Додатно, показано је да АФД може студентима бити лак за разумевање у поређењу са *UML*, па овај и претходно наведен резултат указују да се АФД може користити и у образовању за потребе приближавања концепата логичког дизајна и решавања проблема у домену логичког дизајна студентима.

У оквиру осмог поглавља дисертације, а на основу резултата дисертације, представљене су идеје о додатним проширењима АФД ради задовољења осталих захтева за архитектуралним језицима. У АФД се могу увести нови методолошки приступи и даље проценити њихов утицај. АФД и његов алат се могу користити и као средство за извођење нових експеримената у домену архитектуре и развоја софтвера.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Током докторских студија кандидат је детаљно истражио и евалуирао литературу из области архитектуре софтвера, рачунарског размишљања и функционалне декомпозиције, те је показао да је способан да сагледа тренутно стање области, предности и недостатке постојећих решења. Током истраживања теме докторске дисертације кандидат је успео да постави хипотезе истраживања и да их на ваљан начин провери и верификује, што је резултирало објављивањем научних радова кандидата у међународном часопису и на међународној конференцији. Кандидат је током израде докторске дисертације успешно имплементирао језик за описивање архитектуре софтверских система интегралним моделовањем који се заснива на функционалној декомпозицији, имплементирао рачунарско размишљање у оквиру језика, као и алат за коришћење језика и задовољио велики број захтева за архитектуралним језицима идентификованим у литератури. Кандидат је успешно спровео експерименте над имплементираним језиком и алатом како би биле тестиране и верификоване полазне хипотезе. Треба поменути да је кандидат остао истрајан и доследан у истраживању чији је коначан резултат докторска дисертација. На основу свега наведеног, можемо закључити да је кандидат Стефан Тубић показао задовољавајући степен способности за самостални научни рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Главни доприноси дисертације су остварени у следећим правцима:

- Предлог новог архитектуралног језика за опис софтверских система.
- Предлог поступака који на основу описа у новом архитектуралном језику аутоматски креирају одговарајуће делове описа за архитектурални језик који се користи у пракси.
- Пројектовање и имплементација алата за нови архитектурални језик.

- Евалуација новог архитектуралног језика у контексту постојећих архитектуралних језика
- Експериментално утврђивање да ли нови архитектурални језик олакшава решавање проблема у домену логичког дизајна софтверских система.
- Експериментално утврђивање да ли нови архитектурални језик олакшава уочавање неконзистентности у опису архитектуре софтверских система.
- Експериментално утврђивање перцепције прихватања концепата новог архитектуралног језика.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Главни изазов приликом моделовања комплексних софтверских система са више гледишта на систем је обезбеђивање конзистентности између погледа одговарајућих гледишта. Дисертација предлаже решење које олакшава одређене активности управљања конзистенцијом интегралним моделовањем у оквиру језика који је имплементиран, чиме се погледи пишу једни уз друге. Алат који је развијен за коришћење интегралног моделовања омогућава сакривање изабраних погледа чиме се омогућава заинтересованим странама да систем сагледају са својих гледишта. Такође, језик је описан кроз захтеве за архитектуралним језицима који су идентификовани у литератури. Како би се поред упознавања студената са концептима архитектуре софтверских система и практичне примене алата у том домену, приближили логички дизајн, декомпозиција и решавање проблема имплементирани језик се заснива на функционалној декомпозицији и имплементира сва четири стуба рачунарског размишљања. Предложено решење представља унапређење научних знања доступних у литератури јер на оригиналан начин омогућава писање погледа у оквиру описа архитектуре па тако олакшава одређене активности управљања конзистенцијом. Додатно, заснивање решења на функционалној декомпозицији и имплементација рачунарског размишљања олакшавају креирање описа архитектуре у поређењу са архитектурални језиком који се користи у пракси.

У дисертацији је представљено више резултата. На основу евалуације у контексту постојећа 124 архитектурална језика показало се да имплементирани језик испуњава 9 од 12 захтева и 13 од 20 под-захтева за архитектуралним језицима који су део постојећег оквира за описивање архитектуралних језика. Међу захтевима ту су моделовање са више гледишта и управљање конзистенцијом који омогућавају описивање комплексних софтверских система. Додатно, омогућено је интегрално моделовање које представља оригиналан приступ моделовању који се не налази међу захтевима. Резултат квантитативне евалуације и статистичке анализе у управљању конзистенцијом у случају испитаника запослених у струци показао је статистички значајан резултат, $F(1, 32) = 5,586$, $p = 0,024$, што говори да имплементирани архитектурални језик у овом случају олакшава уочавање неконзистентности у поређењу са архитектуралним језиком који се користи у пракси. Даљом анализом оцена постигнутих током експеримента у случају студената основних студија, резултати сугеришу да више успешним студентима имплементирани архитектурални језик олакшава уочавање неконзистентности у поређењу са архитектурални језиком који се користи у пракси. Резултат квантитативне евалуације и статистичке анализе на курсу информacionих система показао је статистички значајан резултат, $F(1, 579) = 16,007$, $p = 0,000$, што говори да имплементирани архитектурални језик олакшава креирање описа архитектуре у поређењу са архитектурални језиком који се користи у пракси. Такође, резултат квалитативне евалуације на курсу информacionих система додатно је показао да

имплементирани архитектурални језик може студентима бити лак за разумевање у поређењу са архитектуралним језиком који се тренутно користи у пракси.

4.3. Верификација научних доприноса

Кандидат Стефан Тубић је објавио следеће радове који су у непосредној вези са докторском дисертацијом:

Категорија M22:

1. **S. Tubić**, M. Cvetanović, Z. Radivojević, S. Stojanović, **Annotated functional decomposition**, COMPUTER APPLICATIONS IN ENGINEERING EDUCATION, Vol. 29, No. 5, pp. 1390-1402, doi: 10.1002/cae.22394, Jan. 2021, ISSN: 1061-3773 (IF = 2.109 za 2021, M22)

Категорија M31:

1. M. Cvetanović, Z. Radivojević, **S. Tubić**, **An approach for software design and development**, SINTEZA 2022, pp. 154-162, Belgrade, Serbia, Apr, 2022, ISSN/ISBN 978-86-7912-800-3 (M31)

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ


Дисертација предлаже нови архитектурални језик АФД, који је имплементиран у складу са постојећим захтевима за архитектуралним језицима, међу којима су испуњени захтеви за више гледишта и управљање конзистенцијом што омогућава описивање комплексних архитектура софтверских система. Дисертација предлаже оригинално решење како се интегрално моделовање у оквиру АФД може користити за описивање архитектура софтверских система са циљем олакшавања одређених активности управљања конзистенцијом. Оригиналност се огледа и у имплементацији стубова рачунарског размишљања у АФД и заснованости АФД на функционалној декомпозицији са циљем олакшавања креирања описа архитектуре као и лакоће његовог разумевања. Поред имплементације језика, извршена је и имплементација алата за коришћење АФД која омогућава заинтересованим странама рад са АФД и фокусирање на гледишта која су од интереса. АФД алат је служио и као средство за спровођење експеримената. Предложено решење је евалуирано кроз неколико евалуација у оквиру којих су коришћене стандардизоване статистичке методе. На крају, у складу са резултатима урађених евалуација донети су закључци да нови архитектурални језик, АФД, одређеним техникама задовољава велики број захтева за архитектуралним језицима, може студентима бити лак за разумевање у поређењу са архитектуралним језиком који се тренутно користи у пракси, олакшава креирање описа архитектуре у поређењу са архитектуралним језиком који се тренутно користи у пракси, као и да олакшава уочавање неконзистентности у опису архитектуре софтверских система у поређењу са архитектуралним језиком који се тренутно користи у пракси. Дисертација приказује потенцијал који има нови архитектурални језик АФД, а резултати изложени у дисертацији су верификовани објављеним научним радовима кандидата. Кандидат је спроведеним истраживањем показао способност за даљи самостални научно-истраживачки рад.

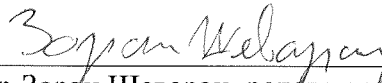
На основу свега наведеног, Комисија констатује да је кандидат Стефан Тубић испунио све формалне и суштинске услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду. Комисија има задовољство да предложи Наставном-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под


насловом „Језик за опис архитектуре софтверских система заснован на функционалној декомпозицији” кандидата Стефана Тубића прихвати, изложи на јавни увид и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

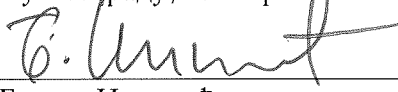
У Београду, 29.08.2024.

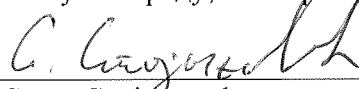
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ


др Захарије Радивојевић, ванредни професор,
Универзитет у Београду, Електротехнички факултет


др Зоран Шеварац, редовни професор,
Универзитет у Београду, Факултет организационих наука


др Горан Квашчев, редовни професор,
Универзитет у Београду, Електротехнички факултет


др Бошко Николић, редовни професор,
Универзитет у Београду, Електротехнички факултет


др Саша Стојановић, ванредни професор,
Универзитет у Београду, Електротехнички факултет