

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ФАКУЛТЕТ ОРГАНИЗАЦИОНИХ НАУКА

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата
Ивана Миленковића

Одлуком 05-01 бр. 3/73-1 од 16.06.2021. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Ивана Миленковића** под насловом

„Оквир за евалуацију мултимодалних биометријских система“.

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

РЕФЕРАТ

1. УВОД

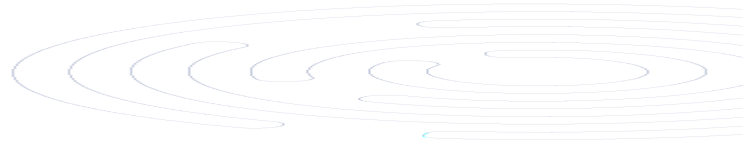
1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Иван Миленковић је 2013. године уписао докторске студије на Факултету организационих наука, Универзитета у Београду (студијски програм Информациони системи и квантитативни менаџмент).

Приступни рад на докторским студијама пријавио је 05.07.2018. године. Одлуком 05-01 бр. 3/102-12 од 13.07.2018. године, формирана је Комисија за преглед и одбрану приступног рада и оцену научне заснованости пријављене докторске дисертације. За ментора приступног рада је именован проф. др Дејан Симић. Приступни рад под насловом „Оквир за евалуацију мултимодалних биометријских система“ одбрањен је 17.9.2018. године.

Одлука о усвајању извештаја Комисије о научној заснованости пријављене докторске дисертације донета је на Наставно-научном већу Факултета организационих наука 2.11.2018 године, 05-01 бр. 3/189-9. Одлуком Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду од 26.11.2018. 02-05 бр. 06-5171/3-18 дата је сагласност на предлог теме докторске дисертације Ивана Миленковића под називом „Оквир за

евалуацију мултимодалних биометријских система“. Наставно-научно веће Факултета организационих наука је одлуком 05-01 бр. 3/210-4 од 6.12.2018. године одобрило израду докторске дисертације кандидата Ивана Миленковића. За ментора је именован проф. др Дејан Симић, редовни професор Факултета организационих наука.



Ментор др Дејан Симић је 17.5.2021. године известио Наставно-научно веће Факултета организационих наука да је Иван Миленковић завршио израду докторске дисертације. Наставно-научно веће Факултета организационих наука је одлуком 05-01 бр. 3/73-1 од 16.06.2021. године именовало Комисију за преглед, оцену и одбрану завршене докторске дисертације.

1.2. Научна област дисертације

Предмет истраживања ове докторске дисертације су усвојени начини евалуације мултимодалних биометријских система. Идеја је да се помоћу одговарајућег методолошког приступа за евалуацију мултимодалних биометријских система може извршити лакша анализа перформанси мултимодалног биометријског система у различитим случајевима коришћења. Креирањем оквира за евалуацију мултимодалних биометријских система могуће је макар делимично отклонити тешкоће везане за евалуацију различитих биометријских алгоритама и одређивање оптималног прага осетљивости мултимодалног биометријског система.

Докторска дисертација припада научној области техничке науке, подручје организационих наука и ужој научној области информационе технологије.

Ментор проф. др Дејан Симић поседује одговарајуће компетенције за вођење дисертације у виду објављених радова у научним часописима међународног значаја из области информационих система и технологија.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Иван Миленковић рођен је 14.6.1988 у Београду. Завршио је Математичку гимназију у Београду 2007 године. Исте године уписује Факултет организационих наука Универзитета у Београду - смер Информациони системи и технологије, који завршава 2011. године са просечном оценом 9.95. Мастер студије уписује 2011. године на Факултету организационих наука, смер Информациони системи и технологије и завршава их 2013. године са просечном оценом 10, одбравивши мастер рад „Развој комуникационог адаптера за мултимодални биометријски систем“. Докторске студије на Факултету организационих наука, смер Информациони системи и квантитативни менаџмент уписао је 2013. године.

Носилац је више награда и признања за успехе постигнуте током студирања. Проглашен од стране Универзитета у Београду за најбољег студента генерације 2007/2008 Факултета организационих наука. Током студирања био је стипендиста Републичког фонда за развој научног и уметничког подмлатка, као и стипендиста Фонда за младе таленте.

Током студирања од октобра 2010. године као сарадник Лабораторије за мултимедијалне комуникације изводио је вежбе из предмета Рачунарске мреже и телекомуникације и учествовао у научно истраживачким пројектима лабораторије. Од

фeбруара 2012. године запослен је на Факултету организационих наука као сарадник у настави на Катедри за информационе технологије. Од фебруара 2014. године запослен је на Факултету организационих наука као асистент на Катедри за информационе технологије.

Објавио је више радова из области информационих технологија у земљи и иностранству. Учествовао је у извођењу пројекта „Примена мултимодалне биометрије у менаџменту идентитета“, Министарства просвете, науке и технолошког развоја, уговор број TP-32013 2011–2016. Такође, био је учесник међународног пројекта ISSSES (Information Security Services Education in Serbia). Поред наставних и истраживачких активности, кандидат има искуства у раду на бројним стручним пројектима, као и комерцијалним курсевима.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација, укупног обима 141 стране, садржи 47 слика и графичких приказа, 19 табела и 245 литературних извора. На почетку дисертације дат је сажетак на српском и енглеском језику, а на крају дисертације налази се биографија и три обавезна прилога: Изјава о ауторству, Изјава о истоветности штампане и електронске верзије рада и Изјава о коришћењу.

Докторска дисертација се састоји из следећих поглавља и потпоглавља:

1. УВОД

- 1.1. Проблем и предмет истраживања
- 1.2. Циљ истраживања и полазне хипотезе
- 1.3. Структура рада

2. МЕНАЏМЕНТ ИДЕНТИТЕТА

- 2.1. DLT и *Blockchain* технологија
 - 2.1.1. Биометријска аутентикација и *blockchain*

3. БИОМЕТРИЈА

- 3.1. Физиолошки биометријски модалитети
 - 3.1.1. Отисак прста
 - 3.1.2. Лице

- 3.1.3. Ирис
- 3.2. Бихејвиористички биометријски модалитети
- 3.3. Комбиновани биометријски модалитети
- 3.4. Биометријски систем
- 4. МУЛТИМОДАЛНА БИОМЕТРИЈА
 - 4.1. Предности и мане мултибиометријског и мултимодалног приступа
 - 4.2. Фузија информација у мултимодалној биометрији
 - 4.3. Примене мултимодалне биометрије
- 5. ЕВАЛУАЦИЈА БИОМЕТРИЈСКИХ СИСТЕМА
 - 5.1. Параметри евалуације биометријског система
 - 5.1.1. Параметри евалуације биометријског система у верификационом моду
 - 5.1.2. Параметри евалуације биометријског система у идентификационом моду
 - 5.2. Биометријска менаџерија
 - 5.3. Отворене базе биометријских података
 - 5.3.1. Лице
 - 5.3.2. Глас
 - 5.3.3. Отисак прста
 - 5.3.4. Ирис
 - 5.3.5. Мултимодалне базе
- 6. ОПТИМИЗАЦИЈА ПРАГА ОСЕТЉИВОСТИ У МУЛТИМОДАЛНОМ БИОМЕТРИЈСКОМ СИСТЕМУ
 - 6.1. Одређивање прага осетљивости над NIST-BSSR1 базом скорова поређења
 - 6.2. Одређивање прага осетљивости над генерисаном базом скорова поређења
- 7. ОБЈЕДИЊЕНИ МОДЕЛ ЗА ЕВАЛУАЦИЈУ МУЛТИМОДАЛНИХ БИОМЕТРИЈСКИХ СИСТЕМА
 - 7.1. Евалуација мултимодалних биометријских система и MDA приступ

- 7.2. Метамодел дигиталног репрезента особе
- 7.3. Метамодел употребљивости биометријског модалитета
- 7.4. Метамодел начина евалуације биометријског система
- 7.5. Метамодел трансформације биометријских података
- 7.6. Метамодел аквизиције биометријских података
- 7.7. Метамодел услова окружења
- 8. МОДЕЛОВАЊЕ ЕВАЛУАЦИЈЕ МУЛТИМОДАЛНИХ БИОМЕТРИЈСКИХ СИСТЕМА
 - 8.1. Моделовање евалуације биометријске аквизиције
 - 8.2. Моделовање поређења биометријских података
 - 8.3. Моделовање фузије информација
 - 8.4. Моделовање приказа евалуације биометријског система
 - 8.5. Моделовање особа у бази биометријског система
- 9. ПРЕДЛОГ ПРОЦЕСА РАЗВОЈА И ЕВАЛУАЦИЈЕ МУЛТИМОДАЛНИХ БИОМЕТРИЈСКИХ СИСТЕМА
- 10. ОКВИР ЗА ЕВАЛУАЦИЈУ ПЕРФОРМАНСИ БИОМЕТРИЈСКИХ СИСТЕМА
 - 10.1. Преглед постојећих решења
 - 10.2. ММВіо – Оквир за развој мултимодалних биометријских система
 - 10.3. Кориснички захтеви за евалуацију перформанси мултимодалног биометријског система
 - 10.4. Архитектура оквира за евалуацију перформанси мултимодалног биометријског система
 - 10.5. Студија случаја – евалуација перформанси мултимодалног биометријског система
 - 10.5.1. Регистрација доступних алгоритама и база података
 - 10.5.2. Одабир параметара евалуације и приказ резултата
 - 10.5.3. Перформансе рада система у верификационом режиму рада

10.5.4. Перформансе рада система у идентификационом режиму рада

11. ЕДУКАТИВНИ БИОМЕТРИЈСКИ АЛАТИ У ПРОЦЕСУ ОБРАЗОВАЊА

- 11.1. Појам гејмификације и механизми
- 11.2. Примена гејмификације у едукацији
- 11.3. Кориснички захтеви за биометријски алат у процесу образовања
- 11.4. Студија случаја – Едукативни биометријски систем у процесу образовања
 - 11.4.1. Опис експеримента
 - 11.4.2. Утицај примене алата на исход курса
 - 11.4.3. Утицај примене алата на мотивацију студената

12. ЗАКЉУЧАК

- 12.1. Остварени доприноси
- 12.2. Могућности примене
- 12.3. Даљи правци истраживања

13. РЕЧНИК ТЕРМИНА И СКРАЋЕНИЦА ЧЕСТО КОРИШЋЕНИХ У ДИСЕРТАЦИЈИ

14. РЕФЕРЕНЦЕ

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом поглављу изнети су проблем и предмет истраживања, описани циљеви истраживања и постављене хипотезе. Након тога, у наставку поглавља је изнета структура дисертације.

Друго поглавље бави се темом менаџмента идентитета. Размотрен је проблем идентитета и описане су активности система за менаџмент идентитета. Извршено је поређење метода аутентикације које се могу применити у систему за менаџмент идентитета. Дат је преглед различитих архитектура које се могу применити у системима за менаџмент идентитета, као и опис различитих елемената које ове архитектуре укључују.

Треће поглавље посвећено је биометрији. Објашњен је појам биометрије и изнет кратак приказ развоја техника биометријског препознавања кроз историју. Затим је извршена

класификација и дат сажет приказ сваког од биометријских модалитета, уз опис пратећих алгоритама као и проблема који су везани за конкретне модалитете.

Четврто поглавље односи се на мултимодалну биометрију. Описани су потенцијални недостаци унимодалног приступа, као и дата класификација мултибиометријских система. Извршен је упоредан приказ различитих нивоа фузије информација и приказане су различите примене мултимодалне биометрије, било у академским радовима или у комерцијалној пракси.

Пето поглавље разматра теме битне за евалуацију биометријских система. Описани су различити параметри који се користе за евалуацију биометријских система, размотрен феномен биометријске менаџерије, који пружа додатни увид у евалуацију перформанси биометријског система. На крају описане су неке од отворених база биометријских података које се користе за евалуацију.

Шесто поглавље бави се оптимизацијом прага осетљивости у мултимодалном биометријском систему. Дат је предлог нове методе за одређивање и оптимизацију прага осетљивости у секвенцијалном мултимодалном биометријском систему. Потпоглавље 6.1 описује евалуацију предложене методе над NIST-BSSR базом скорова поређења. Следеће потпоглавље 6.2 евалуира предложену методу над генерисаном базом скорова поређења.

У седмом поглављу дат је предлог обједињеног модела за евалуацију мултимодалних биометријских система. Предложен приступ заснован је на MDA (eng. *Model Driven Architecture*) парадигми и пресликавање оквира за евалуацију мултимодалних система на овај приступ описано је у првом потпоглављу. У остатку поглавља, фокус је био на метамоделима који могу послужити за креирање модела евалуације одговарајућег биометријског система.

Моделовање евалуације мултимодалних биометријских система приказано је у поглављу 8. Најзначајнији концепти евалуације проширени су помоћу профила заснованих на концептима дефинисаним у обједињеном моделу евалуације описаном у седмом поглављу. За сваки од профила дефинисани су одређени стереотипови класа, као и приказане одговарајуће вредности придодате стереотипима.

У деветом поглављу изнет је предлог процеса развоја и евалуације мултимодалних биометријских система. За потребе овог процеса одабран је *Unified* процес, методологија заснована на итеративно инкременталном приступу развоја софтвера. Фазе развоја (дисциплине) дефинисане овом методологијом допуњене су активностима од значаја за евалуацију и развој мултимодалних биометријских система. Свака од активности је описана и приказана у оквиру одговарајуће фазе развоја.

Десето поглавље садржи опис оквира за евалуацију перформанси биометријских система. Потпоглавље 10.1 приказује преглед постојећих решења у овој области. Затим, у потпоглављу 10.2 описан је ММВio, оквир за развој мултимодалних биометријских

система. У потпоглављу 10.3 описани су кориснички захтеви за евалуацију перформанси мултимодалног биометријског система. Потпоглавље 10.4 приказује архитектуру оквира за евалуацију перформанси мултимодалног биометријског система, као и однос између оквира за евалуацију и оквира за развој мултимодалних биометријских система. Потпоглавље 10.5 описује евалуацију перформанси конкретног мултимодалног биометријског система.

Тема једанаестог поглавља јесте употреба едукативних биометријских алата у процесу образовања. У потпоглављу 11.1 дефинисан је појам гејмификације и описани су механизми који се користе у овој области. Преглед примена концепта гејмификације у едукацији дат је у следећем потпоглављу. Затим, у потпоглављу 11.3 описани су кориснички захтеви за биометријски алат у процесу образовања. На крају, у потпоглављу 11.4 изнета је студија случаја где је представљена примена едукативног биометријског система у процесу образовања.

Закључци везани за оквир за евалуацију мултимодалних биометријских система, као и смернице за даљи рад приказане су у поглављу 12. Затим, у поглављу 13 приказане су дефиниције термина и скраћеница које су биле често коришћене у тексту дисертације. На крају рада, у поглављу 14 дата је листа референци употребљених у раду. Референце су форматиране по IEEE стандарду.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација „Оквир за евалуацију мултимодалних биометријских система“ кандидата Ивана Миленковића припада актуелној области истраживања проблема евалуације мултимодалних биометријских система. Услед потреба за безбедном аутентикацијом у различитим случајевима примене, биометријска аутентикација је постала део наше свакодневнице. Мултимодална биометрија, као један од мултибиометријских приступа омогућава већу прецизност биометријских система употребом података добијених од више различитих биометријских модалитета. Потенцијал мултимодалне биометрије привукао је пажњу како истраживачке заједнице која је објавила бројне књиге и научне радове, тако и компанија која нуде комерцијална решења из ове области, а и различитих организација које ова решења примењују за решавање сопствених проблема.

У складу са *Правилником о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду*, Универзитетска библиотека Светозар Марковић је извршила проверу оригиналности дисертације коришћењем програма *iThenticate* и у потпуности је потврђена оригиналност дисертације. Оригиналност у приступу решавања проблема и добијених резултата у оквиру ове дисертације потврђује и рад који је публикован у истакнутом међународном часопису (M22), **I. Milenković, U. Šošević, D. Simić, M. Minović and M. Milovanović, "Improving student**

engagement in a biometric classroom: the contribution of gamification," *Universal Access in the Information Society*, vol. 18, pp. 523-532, 2019., DOI: 10.1007/s10209-019-00676-9

На основу изложеног, може се закључити да добијени резултати докторске дисертације представљају научни допринос у односу на постојеће стање, и отварају простор за даља истраживања.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У оквиру докторске дисертације „Оквир за евалуацију мултимодалних биометријских система“ кандидата Ивана Миленковића наведено је 245 цитираних извора литературе. Коришћена литература за израду дисертације је релевантна и адекватна је дефинисаном предмету истраживања и његовом садржају. Литература обухвата утицајне ауторе и радове из релевантних научних часописа и са конференција који су у складу са темом и из области којима се дисертација бави. Аутор дисертације пратио је радове познатих аутора из области теме дисертације (А. К. Jain, А. Ross, S. Prabhakar, D. Maltoni, J. G. Daugman, M. S. Nixon, G. R. Doddington, N. Poh и други).

Такође, коришћени су и цитирани резултати пројектног тима који је радио на реализацији пројекта технолошког развоја TP32013, које је финансирало Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије, под називом „Примена мултимодалне биометрије у менаџменту идентитета“.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У изради дисертације коришћене су следеће методе:

- Прикупљање и анализа литературе која се односи на постојеће научне резултате и достигнућа у оквиру релевантних области
- Компаративна и аналитичко-синтетичка метода за потребе организовања доступне литературе која се бави евалуацијом мултимодалних биометријских система
- Дедуктивно-логичка метода помоћу које су се на темељу спознаје утврђене праксом утемељили властити теоријски ставови
- Метода моделовања за потребе дефинисања обједињеног модела евалуације мултимодалних биометријских система, као и за развој нове методе за аналитичко одређивање прага осетљивости
- Метода истраживања била је експеримент којим су се хипотезе ставиле на пробу
- Приликом евалуације могућности примене оквира за потребе едукације примењене су методе анкетног упитника и статистичке методе за анализу и презентацију резултата

На основу анализе докторске дисертације, може се закључити да примењене научне методе и технике одговарају, по свом значају и структури, проблему, предмету и циљевима истраживања. Такође, процедура имплементације предложених модела и метода је јасно и прецизно описана, тако да се експерименти и истраживања могу поновити, а добијени резултати проверити.

3.4. Применљивост остварених резултата

Доприноси остварени у оквиру ове докторске дисертације се могу применити у различитим доменима. Дефинисани обједињени модел евалуације мултимодалних биометријских система могу употребити биометријски инжењери за потребе моделовања евалуације мултимодалних биометријских система. Предложени модел за аналитичко одређивања прага осетљивости у серијским мултимодалним биометријским системима могао би бити употребљен од стране пројектаната мултимодалних биометријских система, како би на одговарајући начин могли да изврше подешавања система у складу са захтевима конкретног сценарија примене.

Прототип оквира за евалуацију мултимодалних биометријских система се може користити за потребе одабира одговарајућих биометријских модалитета за одређен биометријски систем. Оквир за евалуацију омогућава биометријским инжењерима лакше поређење перформанси модалитета, као и алгоритама за одговарајући модалитет.. Све ове могућности могу бити од помоћи било компанијама које развијају биометријске системе, било организацијама које би желеле да имплементирају биометријски систем ради лакшег поређења алтернатива.

Могућа је и употреба оквира за истраживачке сврхе, приликом поређења перформанси различитих биометријских алгоритама. Време потребно за поређење различитих алгоритама на различитим сетовима података се штеди, а такође је потребно и мање напора за креирање визуелизација и параметара евалуације. На тај начин би аутори радова из ове области могли лакше извршити поређење својих приступа са радовима других аутора, или пак једноставније тестирали своје алгоритме у различитим условима, као и са разноврсним сетовима података.

Развијен едукативни биометријски алат се може применити за потребе едукације биометријских инжењера. Његова примена је могућа како у формалном систему образовања, тако и од стране компанија за потребе обуке запослених на одговарајућим курсевима.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Област научног интересовања Ивана Миленковића јесте област организационих и техничких наука, ужа област информационе технологије. Током вишегодишњег рада при Катедри за информационе технологије, Факултета организационих наука,

Универзитета у Београду, кандидат Иван Миленковић стекао је педагошко и истраживачко искуство.

Током израде докторске дисертације, кандидат Иван Миленковић је показао способност да сагледа проблем истраживања са различитих аспеката, као и да приступи његовом решавању на креативан начин. Уочио је недостатке постојећих решења за евалуацију перформанси биометријских система и спровео истраживање које је за циљ имало превазилажење уочених недостатака.

У оквиру своје стручне и научне каријере кандидат је објавио неколико десетина научних радова у међународним и националним часописима и на конференцијама. Кандидат је дао преглед стања у области која је предмет докторске дисертације и на основу релевантне литературе дефинисао обједињени модел евалуације мултимодалних биометријских система, а затим на основу модела евалуације креирао прототип оквира за евалуацију мултимодалних биометријских система. Такође је развио и нову методу за аналитичко одређивање прага осетљивости у складу са постављеним параметрима жељеног понашања система, као и показао како примена оквира може учинити ефикаснијим процес образовања инжењера у области биометрије.

Резултати истраживања проистекли из рада на докторској дисертацији објављени су у истакнутом међународном часопису (M22), међународном часопису (M23) као и зборницима радова са конференција категорија (M33 и M63). На основу наведеног, Комисија сматра да кандидат Иван Миленковић поседује потребно стручно, теоријско и практично знање и искуство за самосталан научни рад.

4. ОСТВАРЕН НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

На основу концепата уочених у релевантним научним радовима и техничким решењима, дефинисан је обједињени модел за евалуацију мултимодалних биометријских система. Приступ коришћен приликом његовог дефинисања заснован је на MDA (*Model Driven Architecture*) парадигми и UML (*Unified Modelling Language*) језику. Као део обједињеног модела евалуације дефинисан је метамодел евалуације мултимодалних биометријских система, који представља онтологију појмова битних у области евалуације мултимодалних биометријских система.

На основу модела евалуације мултимодалних биометријских система креиран је прототип оквира за евалуацију мултимодалних биометријских система. Овај оквир омогућава поновну примену функционалности имплементираних за потребе евалуације биометријских система.

За потребе одређивања прага осетљивости мултимодалног биометријског система, предложена је нова метода. Она омогућава аналитичко одређивања прага осетљивости у серијским мултимодалним биометријским системима на основу претходно задатих

параметара, а од којих зависи да ли ће систем буде попустљивији или пак рестриктивно подешен.

Извршена је анализа едукативних биометријских алата, и дат преглед области гејмификације, као и примене гејмификације у образовању. На основу анализе релевантне литературе, дефинисани су кориснички захтеви за едукативни биометријски алат у процесу образовања. Овај алат реализован је употребом неких од функционалности оквира за евалуацију мултимодалних биометријских система.

Сходно томе, кључни научни доприноси дисертације објављени у научним радовима који су наведени у поглављу 4.3 овог извештаја јесу:

- Критички преглед и систематизација приступа у области мултимодалне биометрије и евалуације мултимодалних биометријских система
- Нова метода за аналитичко одређивање прага осетљивости у серијском мултимодалном биометријском систему
- Обједињени модел за евалуацију мултимодалних биометријских система
- Прототип оквира за евалуацију мултимодалних биометријских система
- Едукативни биометријски алат заснован на функционалностима оквира за евалуацију мултимодалних биометријских система.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

У оквиру обједињеног модела евалуације мултимодалних биометријских система дефинисани су метамодел дигиталног репрезента особе, употребљивости биометријског модалитета, начина евалуације биометријског система, трансформације биометријских података, аквизиције биометријских података и услова окружења. Помоћу обједињеног модела евалуације мултимодалних биометријских система, за потребе моделовања дефинисана су одговарајућа проширења концепата UML језика – профили. Приказана је примена дефинисаних профила приликом моделовања евалуације мултимодалних биометријских система и дати су примери моделовања евалуације биометријске аквизиције, поређења биометријских података, фузије информација, приказа евалуације биометријског система, особа у бази биометријског система.

У програмском језику JAVA развијен је прототип оквира за евалуацију мултимодалних биометријских система. Код директног рада са биометријским подацима овај оквир користи функције ММВіо оквира за развој мултимодалних биометријских система. Применом ММВіо оквира добија се могућност евалуације алгоритама писаних у различитим програмским језицима. Такође, оквир за евалуацију мултимодалних биометријских система омогућава евалуацију биометријског система и у

верификационом и у идентификационом режиму рада, са могућношћу приказа визуелизација специфичних за сваки од режима рада.

Применом прототипа оквира извршена је евалуација конкретног мултимодалног биометријског система. За потребе ове евалуације употребљена је мултимодална база биометријских података прикупљена на Факултету организационих наука, а за рад са појединачним биометријским модалитетима употребљени су SourceAFIS и OpenCV, решења отвореног кода. Фузија информација извршена је на нивоу скорова. Од визуелизација и параметара евалуације приказане су ROC (*Receiver Operating Characteristic*) и СМС (*Cumulative Match Characteristic*) криве, хистограми и чланови биометријске менаџерије. У овом конкретном случају коришћења, примена оквира скраћује за четири пута време потребно за евалуацију мултимодалног биометријског система у односу на време потребно за евалуацију без примене оквира.

Како би се евалуирале перформансе предложене методе одређивања прага осетљивости мултимодалног биометријског система, употребљена је NIST BSSR1 мултимодална база, као и генерисана база скорова поређења. Приликом евалуације утврђено је да је прецизност новог приступа у рангу са методама за паралелну фузију. За све експерименте пар (FAR – *False Accept Rate*, GAR – *Genuine Acceptance Rate*) добијен методом оптимизације граница даје боље резултате у односу на бар један пар (FAR, GAR) из сета финалних резултата добијених стандардним методама фузије. Применом ове методе је могуће учинити коришћење система лагоднијим за корисника употребом додатних биометријских модалитета само у ситуацијама када је то неопходно, а уз очување прецизности рада система.

За евалуацију примене прототипа едукативног биометријског система у процесу образовања искоришћен је курс „Биометријске технологије“, у оквиру мастер академских студија на Факултету организационих наука. Ради унапређења ангажовања студената, примењени су елементи гејмификације. Имплементирани су значке, лествице напредовања, задаци и колективни изазови. Показано је да примена алата резултује у побољшању мотивације и исхода учења студената у поређењу са традиционалним приступом учења. Друштвени допринос овог алата огледа се у унапређењу квалитета образовања инжењера у области биометрије.

4.3. Верификација научних доприноса

Верификација научних доприноса је обављена кроз процес ригорозне рецензије и објављивање радова у истакнутом међународном часопису (M22), међународном часопису (M23), као и у оквиру радова објављених на скуповима од међународног (M33) и националног значаја (M63).

Рад објављен у истакнутом међународном часопису (M22):

I. Milenković, U. Šošević, D. Simić, M. Minović and M. Milovanović, "Improving student engagement in a biometric classroom: the contribution of gamification," *Universal Access in the Information Society*, vol. 18, pp. 523-532, 2019.

Рад објављен у међународном часопису (M23):

M. Stanojević, **I. Milenković**, D. Starčević and B. Stanojević, "Continuous Distribution Approximation and Thresholds Optimization in Serial Multi-Modal Biometric Systems," *International Journal of Computers Communications & Control*, vol. 11, pp. 720-733, 2016. doi: 10.15837/ijccc.2016.5.2683

Саопштења са скупова међународног значаја штампана у целини (M33)

I. Milenković, U. Šošević and D. Simić, "Architectures of comprehensive identity and access management," in *Proceedings in EIC-1st Electronic International Interdisciplinary Conference*, 2012.

I. Milenković, K. Živković and D. Simić, "Application of multimodal biometrics in access control systems," in *Symposium proceedings-XV International symposium Symorg 2016: Reshaping the Future Through Sustainable Business Development and Entrepreneurship*, pp. 762-771, 2016.

M. Stanojević, **I. Milenković**, D. Starčević and B. Stanojević, "Optimization of thresholds in serial multimodal biometric systems," in *2016 6th International Conference on Computers Communications and Control (ICCCC)*, pp. 140-146, 2016. doi: 10.1109/ICCCC.2016.7496752.

Саопштења са скупова националног значаја штампана у целини (M63)

I. Milenković, O. Latinovic, D. Simic and D. Starcevic, "Razvoj komunikacionog adaptera za multimodalni biometrijski sistem," *ITEO 2013 zbornik radova*, Banjaluka.

I. Milenković, U. Šošević and M. Minović, "Razvojni okvir za poređenje biometrijskih algoritama," in *Zbornik radova Symopis 2014*, 2014

I. Millenković, M. Minović and D. Simić, "Metamodel za razvoj i evaluaciju multimodalnih biometrijskih sistema," in *Proceedings of INFOTECH ICT Conference & Exhibition*, Arandjelovac, 2019.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледа докторске дисертације под називом „Оквир за евалуацију мултимодалних биометријских система“, кандидата Ивана Миленковића, Комисија констатује да је докторска дисертација написана у складу са свим захтевима стандарда научно-истраживачког рада, као и да испуњава услове предвиђене Законом о високом образовању, стандардима, правилницима и Статутом Факултета организационих наука, Универзитета у Београду.

Тема докторске дисертације је веома актуелна, а резултати добијени истраживањем одговарају предмету и циљевима истраживања. Све хипотезе, постављене у истраживању су тестиране и потврђене у оквиру реализованих експерименталних испитивања.

Истраживање приказано у дисертацији је оригинално, а резултати пружају допринос развоју науке у домену информационих технологија. Део тих резултата верификован је научним публикацијама у међународним часописима категорија М22 и М23, као и излагањима на конференцијама од међународног и националног значаја. С обзиром на постигнуте резултате, сложеност и актуелност обрађене теме, ова дисертација задовољава највише научне критеријуме и показује способност кандидата Ивана Миленковића за самосталан научно-истраживачки рад.

На основу свега наведеног, Комисија предлаже Наставно-научном већу Факултета организационих наука да се докторска дисертација под називом „Оквир за евалуацију мултимодалних биометријских система“, кандидата Ивана Миленковића, прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Проф. др Дејан Симић, редовни професор, ментор
Универзитет у Београду, Факултет организационих наука

Проф. др Душан Старчевић, професор емеритус,
Универзитет у Београду, Факултет организационих наука

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

У Београду, 28. јун 2021. године

