

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Жељка Гаврића**

Одлуком 05-01 бр. 3/124-1 од 25.10.2023. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Жељка Гаврића** под насловом:

„Модел интеракције човјека и рачунара заснован на праћењу покрета ока”

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

Жељко Гаврић уписао је докторске академске студије школске 2015/2016 године на Универзитету у Београду-Факултету организационих наука (студијски програм Информациони системи и квантитативни менаџмент, изборно подручје Информационе технологије). Положио је планом и програмом предвиђене испите са просечном оценом 10,00 (десет). Приступни рад на докторским академским студијама пријавио је 26.06.2017. године. Одлуком 05-01 бр. 3/104-8 од 12.07.2017. године, формирана је Комисија за преглед и одбрану приступног рада и оцену научне заснованости пријављене докторске дисертације. За ментора приступног рада је именован др Мирослав Миновић, редовни професор Универзитета у Београду-Факултета организационих наука. Приступни рад под насловом „Унапређење интеракције човјека и рачунара коришћењем техника за праћење покрета ока” одбранио је 25.09.2017. године. Одлука о усвајању извештаја Комисије о научној заснованости пријављене докторске дисертације донета је на Наставно-научном већу Универзитета у Београду-Факултета организационих наука, 08.11.2017. године, под бројем 05-01 бр. 3/163-17. Одлуком Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду 02. број 61206-4833/2-17 од 27.11.2017. дата је сагласност на предлог теме докторске дисертације Жељка Гаврића под називом „**Модел интеракције човјека и рачунара заснован на праћењу покрета ока**”. Наставно-научно веће Универзитета у Београду-Факултета организационих наука, је одлуком 05-01 бр.3/192-6 од 06.12.2017. године одобрило израду докторске дисертације кандидата Жељка Гаврића. За ментора је именован др Мирослав Миновић, редовни професор Универзитета у Београду-Факултета организационих наука.

Ментор проф. др Мирослав Миновић је 30.08.2023. године известио Наставно-научно веће Универзитета у Београду-Факултета организационих наука, да је Жељко Гаврић завршио израду докторске дисертације. Наставно-научно веће Универзитета у Београду-Факултета организационих наука је одлуком 05-01 бр. 3/124-1 од 25.10.2023. године именovalo је Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу:

1. др **Мирослав Миновић**, редовни професор, Универзитет у Београду-Факултет организационих наука, ментор;
2. др **Милош Миловановић**, редовни професор, Универзитет у Београду-Факултет организационих наука, председник Комисије;
3. др **Лана Поповић-Манески**, виши научни сарадник, Институт техничких наука САНУ.

1.2 Научна област дисертације

Истраживања у докторској дисертацији анализирају могућности примене система за праћење покрета ока код интеракције човека и рачунара. Конкретније предмет истраживања се односи на утврђивање тренутног нивоа развоја метода, техника, технологија и алгоритама за анализу и праћење покрета ока, као и синтезу доступне литературе која се бави овим проблемом у циљу предлагања модела интеракције заснованог на праћењу покрета ока. Генерално, неопходно је развити методолошки приступ који ће омогућити унапређење и развој различитих начина интеракције са рачунаром уз примену технологија за праћење покрета ока.

Основни циљ и задатак истраживања је израда методолошког приступа за пројектовање система интеракције човјека и рачунара заснованих на покрету ока, узимајући у обзир потребе и захтеве корисника са једне стране и тренутних могућности технологија за праћење покрета ока са друге стране. Посебан циљ истраживања је практична демонстрација примене предложеног методолошког приступа у изради прототипске реализације система интеракције човека са рачунаром, базираног на технологијама за праћење покрета ока и његова евалуација у реалним условима.

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

Ментор др Мирослав Миновић, редовни професор Универзитета у Београду-Факултета организационих наука, поседује одговарајуће компетенције за вођење дисертације у виду објављених радова у научним часописима међународног значаја из области информационих система као изборног подручја и информационих технологија као уже научне области, реферисаним у међународним цитатним базама *Journal Citation Report* и *Web of Science*. Одговарајући научни радови ментора су наведени приликом пријаве теме докторске дисертације кандидата.

1.3 Биографски подаци о кандидату

Жељко Гаврић је рођен 02.03.1989. године у Дервенти, Република Српска – Босна и Херцеговина. Основну и средњу школу завршио је у Дервенти. По завршетку основне и средње школе носиоца дипломе Вук Караџић.

Након завршетка средње школе уписује Факултет за информационе технологије на Слобомир П Универзитету у Бијељини. Дипломски рад је одбранио 2012. године, те је проглашен за студента генерације на факултету. Исте године уписао је мастер студије. Мастер рад одбранио 2014. године.

По завршетку основних студија изабран је у звање асистента и запослен на факултету.

Школске 2015/16 уписује докторске студије на Факултету организационих наука, студијски програм Информациони системи и квантитативни менаџмент, изборно подручје Информационе технологије. Током школске 2015/16 и 2016/17 положио је све испите предвиђене наставним планом и програмом, а у септембру 2017. је одобрено приступни рад под називом „Унапређење интеракције човјека и рачунара коришћењем техника за праћење покрета ока“.

Од јула 2017. године до марта 2023. године ангажован на Факултету организационих наука као истраживач сарадник на пројекту подржном од стране Министарства просвете и науке Републике Србије, ТР-32013 Примена мултимодалне биометрије у менаџменту идентитета.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1 Садржај дисертације

Докторска дисертација има 94 странице, садржи 73 слике и графичка приказа, 7 табела и 89 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. Опис проблема и мотивација
 - 1.2. Циљ рада и полазна хипотеза
 - 1.3. Методе истраживања
 - 1.4. Коришћене конвенције у тексту рада и терминологија
 - 1.5. Структура и организација рада
2. Појам и класификација система за праћење покрета ока
 - 2.1. Дефиниција праћења покрета ока
 - 2.2. Историја система за праћење покрета ока
 - 2.3. Домени примјене система за праћење покрета ока
3. Око и технологије праћења ока
 - 3.1. Анатомија и помијерање ока
 - 3.2. Калибрација
 - 3.3. Тачност и брзина
 - 3.4. Технологије праћења покрета ока
 - 3.4.1. Електроокулографија
 - 3.4.2. Инфрацрвена окулографија
 - 3.4.3. Калем на беоњачи
 - 3.4.4. Видеоокулографија
 - 3.5. Гестови ока
 - 3.5.1. Концепт препознавања геста ока
 - 3.5.2. Алгоритми за препознавање геста ока
4. Детекција ока на слици
 - 4.1. Алгоритми засновани на геометријским карактеристикама ока
 - 4.2. Алгоритми засновани на машинском учењу
 - 4.2.1. Алгоритми засновани на каскадном класификатору
 - 4.2.2. Алгоритми засновани на дубоком учењу
5. Интеракција човјека и рачунара заснована на праћењу покрета ока
 - 5.1. Преглед и класификација уређаја за интеракцију између човјека и рачунара
 - 5.2. Улазни уређаји за показивање
 - 5.3. Улазни уређаји за унос текста

- 6. Актуелни проблем
 - 6.1. Идентификација проблема
 - 6.2. Анализа проблема
- 7. Обједињени модел интеракције човјека и рачунара
 - 7.1. Извори знања
 - 7.1.1. Медицинске и биолошке науке
 - 7.1.2. Сазнајне науке
 - 7.1.3. Друштвене науке
 - 7.1.4. Рачунарске науке
 - 7.2. МДА приступ развоју модела интеракције заснованог на праћењу покрета ока
 - 7.3. Нотација за приказ модела
 - 7.4. Модел интеракције човјека и рачунара заснован на праћењу покрета ока
 - 7.4.1. Елементи модела
 - 7.4.2. Моделовање окружења
 - 7.4.3. Моделовање човјека
 - 7.4.4. Моделовање рачунара
 - 7.4.5. Моделовање интеракције
- 8. Моделовање интеракције човјека и рачунара засноване на праћењу покрета ока
 - 8.1. Модел улазног уређаја за показивање и избор опције
 - 8.2. Модел тастатуре
- 9. Реализација прототипа система за интеракцију човјека и рачунара
 - 9.1. Пројектовање
 - 9.1.1. Моделирање прототипа система за праћење покрета ока
 - 9.1.2. Дефинисање корисничких захтјева
 - 9.1.2.1. Текстуални случајеви коришћења
 - 9.1.2.2. Дијаграм случајева коришћења
 - 9.1.3. Дијаграм секвенци
 - 9.1.4. Дијаграм класа
 - 9.1.5. Модел базе података
 - 9.2. Имплементација прототипа
 - 9.2.1. Избор технологије
 - 9.2.2. Опис апликације
 - 9.3. Тестирање и анализа прикупљених података
- 10. Евалуација
- 11. Закључак
- 12. Литература
- Прилог 1. Примјер анкетног листа
- Прилог 2. Списак слика
- Прилог 3. Списак табела
- Биографија аутора
- ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ
- ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ ДОКТОРСКОГ РАДА
- ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ

2.2 Кратак приказ појединачних поглавља

У **уводном поглављу** описан је предмет и циљ истраживања докторске дисертације, наведене су полазне хипотезе и методе истраживања.

У **другом поглављу** дефинисан је појам праћења покрета ока, историјски развој и области примене система за праћење покрета ока.

Треће поглавље приказује људско око. Описана је анатомија ока и помјераји које око може да направи. Дата је класификација и описи технологија за праћење покрета ока. Дефинисани су гестови ока и приказане најчешће примене гестова ока.

Четврто поглавље приказује начине детекције ока на слици. Приказани су алгоритми засновани на геометријским карактеристикама ока и алгоритми детекције ока засновани на машинском учењу.

У **петом поглављу** дат је преглед и класификација уређаја за интеракцију човека и рачунара заснованих на праћењу покрета ока. Приказани су разни начини коришћења улазних уређаја који користе покрет ока за уношење текста и за показивање. Уређаји за унос текста имају за циљ да замене традиционалну тастатуру, док уређаји за показивање имају за циљ да замене традиционални миш.

У **шестом поглављу** описана је идентификација и анализа проблема откривеног у истраживању.

У **седмом поглављу** приказан је обједињени модел интеракције човека и рачунара. Приказано је моделовање концепата обједињеног модела – човек, рачунар, окружење и интеракција. Акценат је стављен на проширење модела интеракције.

У **осмом поглављу** дати су примери модела уређаја који користе покрет ока. Приказани су модели уређаја за показивање и избор опције и тастатура.

Девето поглавље приказује процес развоја прототипа система за детекцију визуелне пажње коришћењем праћења покрета ока. Приказан је процес пројектовања и имплементације софтвера, те опис добијеног прототипа и анализа резултата добијених тестирањем прототипа.

Десето поглавље приказује евалуацију резултата добијених коришћењем анкете за студенте који су користили прототип апликације.

У **последњем поглављу** дат је закључак у коме су наведени најзначајнији доприноси тезе. Након тога дат је списак коришћене литературе и одговарајући прилози.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1 Савременост и оригиналност

Докторска дисертација „Модел интеракције човека и рачунара заснован на праћењу покрета ока” кандидата Жељка Гаврића бави се проблемом дефинисања моделског приступа развоја система за интеракцију човека и рачунара коришћењем технологија праћења покрета ока.

Докторска дисертација анализира досадашња истраживања из области интеракције човека и рачунара засноване на праћењу покрета ока. У дисертацији је дат критички осврт на постојећа решења, те извршена систематизација доступних решења, чиме су створени

предуслови за креирање свеобухватног модела интеракције заснованог на праћењу покрета ока.

Дефинисањем и валидацијом предложеног модела, дисертација је проширила научна сазнања у датој области и на тај начин указала на могућности за даља истраживања.

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 потврђују и радови који су публиковани: Gavrić, Ž., Minović, M., & Mišković, V. (2022). "Tracking Student's Visual Attention During E-Learning in the Time of COVID-19". *International Journal of Engineering Education*, 1550-1561, (M23); Gavrić, Ž., Minović, M. (2020). "Natural human-computer interaction based on eye tracking", *Zbornik međunarodne konferencije INFOTECH 2020*, *Zbornik međunarodne konferencije INFOTECH 2020*, (M33); Gavrić, Ž., Minović, M., & Mišković, V. (2019). "Benefits of using eye tracking technology", *Proceedings of International Scientific Conference UNITECH 2019*, *Proceedings of International Scientific Conference UNITECH 2019*, Vol. II, pp. 122 - 126, 1313-230X, Gabrovo, Bulgaria, (M33).

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

Литература коју је кандидат користио приликом писања докторске дисертације обухвата 89 референци. Међу коришћеним изворима највише је радова објављених у научним часописима са СЦИ, СЦИе и ССЦИ листе. Коришћена литература за израду дисертације је савремена, релевантна и адекватна за дефинисани предмет и циљеве истраживања.

Литература обухвата радове утицајних аутора из области којима се дисертација бави, а који су објављени у релевантним научним часописима и публикацијама. Литература обухвата и критике постојећих метода.

3.3 Опис и адекватност примењених научних метода

Основни метод истраживања базира се на постојећим теоријским основама и експерименталном раду у наведеној области. Такође, заснива се на сакупљању и проучавању доступне литературе, њеној анализи и систематизацији.

У циљу тестирања постављених хипотеза у току израде дисертације примењен је већи број научних метода. У дисертацији су коришћене опште методе прикупљања података и анализе постојећих научних приступа и резултата у области интеракције човека и рачунара. Користиле су се методе дескриптивне и компаративне анализе, на основу којих је дат предлог сопственог решења. У реализацији софтверских решења коришћен је метода моделовања, заснована на MDA приступу концептуалном моделовању система. Методологија развоја софтверског система заснована је на проширењу стандардне објектно-оријентисане методологије развоја употребом UML језика за моделовање.

Експеримент је имао за циљ показати практичну реализацију и евалуацију прототипа коришћењем предложеног модела.

На основу анализе докторске дисертације, може се закључити да примењене научне методе и технике одговарају, по свом значају и структури, теми дисертације, као и предмету и циљевима истраживања.

3.4 Применљивост остварених резултата

Резултати докторске дисертације имају научну, стручну и друштвену примену.

Развијени модел интеракције заснован на праћењу покрета ока могуће је применити за реализацију различитих рјешења. Проширења концепата омогућују моделовање аспеката интеракције која користи покрет ока.

Приказани развој и евалуација прототипа приказују добру праксу коришћења интеракције засноване на праћењу покрета ока. Прототип је креиран да мери аспекте визуелне пажње током онлине наставе и као такав може допринети квалитету наставе, како за студента, тако и за наставника.

3.5 Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Током израде докторске дисертације, кандидат Жељко Гаврић је показао способност да самостално решава научне проблеме и да влада научним и истраживачким методама, као и да поседује стручна, теоријска и практична знања потребна за самостални научни рад.

Прикупљени и систематизовани преглед литературе из области истраживања показује способност кандидата за самостално откривање и сагледавање отворених проблема истраживања, као и критичку анализу постојећих сазнања. Током спроведеног истраживања објавио је, као аутор или коаутор, већи број радова у водећим међународним часописима и конференцијама.

Узевши у обзир целокупно залагање и остварене резултате у научно истраживачком раду, закључујемо да је кандидат способан да се у потпуности самостално бави научноистраживачким радом.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1 Приказ остварених научних доприноса

Током истраживања остварено је неколико научних доприноса:

Први допринос представља систематски преглед литературе и критички осврт на досадашња истраживања у области интеракције између човека и рачунара засноване на праћењу покрета ока.

Следећи научни допринос је креирање новог модела интеракције човека и рачунара заснованог на праћењу покрета ока. Проширен је обједињени модел интеракције човека и рачунара додавањем и дефинисањем нових концепата везаних за праћење покрета ока.

Практичан допринос огледа се у развоју и тестирању прототипског решења за унапређење интеракције човека са рачунаром. Захваљујући креираном моделу за праћење визуелне пажње и моделу топлотне мапе омогућена је реализација апликације за детекцију визуелне пажње. Кроз израду прототипа показана је корисност дефинисаних метамодела који омогућују моделовање битних сегмената апликације за детекцију визуелне пажње.

Друштвени допринос се огледа у поједностављењу развоја природнијих видова интеракције са рачунаром, као и имплицитног модела интеракције, што може бити од посебног значаја у

ситуацијама у којима особа није у стању да користи уобичајене начине интеракције са рачунаром и окружењем.

4.2 Критичка анализа резултата истраживања

Кандидат је у докторској дисертацији развио модел интеракције између човека и рачунара заснован на праћењу покрета ока. Полазне основе за развој модела били су постојећи научни резултати и проблеми идентификовани у литератури. Анализирана је обимна литература, различите методе и технике у области интеракције између човека и рачунара. Прикупљено знање је систематизовано, а потом уграђено у новокреиране моделе. Дефинисани модел омогућава једноставнији и поузданији развој имплицитне интеракције између човека и рачунара.

Вредност спроведеног истраживања практично је верификована кроз израду софтвера за детекцију визуелне пажње применом технологије за праћење покрета ока. Софтвер је израђен коришћењем модела креираних у дисертацији. Демонстриран је рад софтвера над две групе студената и показано да је применом оваквог софтвера могуће проценити визуелну пажњу студента код онлине наставе. Предложено решење не захтева додатне хардверске трошкове, осим паметног телефона, што указује на економску оправданост примене предложеног модела за развој оваквог софтвера.

Дефинисањем и валидацијом предложеног приступа, дисертација је проширила научна сазнања у истраживаној области и на тај начин указала на могућности за будуће правце истраживања.

4.3 Верификација научних доприноса

Научни допринос докторске дисертације „Модел интеракције човјека и рачунара заснован на праћењу покрета ока” кандидата Жељка Гаврића, верификован је кроз следеће научне радове који су резултат истраживања у области докторске дисертације:

Радови објављени у научним часописима међународног значаја (M20):

1. Gavrić, Ž., Minović, M., & Mišković, V. (2022). „Tracking Student’s Visual Attention During E-Learning in the Time of COVID-19”. International Journal of Engineering Education, 1550-1561, (M23).

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33):

1. Mišković, V., Gavrić, Ž. (2021). „Design Guidelines for Creating Adequate Mobile Learning Application“, InfoTech 2021, InfoTech 2021, Arandjelovac, 23. - 24. Jun, 2021, (M33);
2. Gavrić, Ž., Minović, M. (2020). „Natural human-computer interaction based on eye tracking”, Zbornik međunarodne konferencije INFOTECH 2020, Zbornik međunarodne konferencije INFOTECH 2020, (M33);
3. Gavrić, Ž., Minović, M. (2019). „Primjena tehnologije za praćenje pokreta oka, Zbornik međunarodne konferencije INFOTECH 2019, Zbornik međunarodne konferencije INFOTECH 2019, (M33);
4. Gavrić, Ž., Minović, M., & Mišković, V. (2019). „Benefits of using eye tracking technology”, Proceedings of International Scientific Conference UNITECH 2019,

Proceedings of International Scientific Conference UNITECH 2019, Vol. II, pp. 122 - 126, 1313-230X, Gabrovo, Bulgaria, (M33);

5. Gavrić, Ž., Minović, M. (2019). „Poboljšanje bezbjednosti upotrebom sistema za praćanje pokreta oka“, Zbornik simpozijuma o operacionim istraživanjima, SYM-OP-IS 2019, Zbornik simpozijuma o operacionim istraživanjima, SYM-OP-IS 2019, pp. 215 - 219, 978-86-7488-135-4, (M33).

Категорија М60:

1. Гаврић, Ж., Миновић, М. (2017). „Технологије праћења покрета ока“, Зборник симпозијума о операционим истраживањима SYM-OP-IS 2017, Србија, стр. 195-200, ISBN 978-86-7488-135-4, (M63).



5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледа докторске дисертације „Модел интеракције човјека и рачунара заснован на праћењу покрета ока” кандидата Жељка Гаврића, Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације констатује да је урађена 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 Универзитета у Београду-Факултета организационих наука. На основу резултата и закључака приказаних у докторској дисертацији, као и чињеници да је анализирана проблематика актуелна, Комисија констатује да је кандидат Жељко Гаврић успешно завршио докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима истраживања.

Хипотезе постављене у истраживању су тестиране и потврђене у оквиру реализованих експерименталних испитивања. Истраживање приказано у дисертацији је оригинално, а резултати пружају савремен и оригиналан допринос развоју науке у домену уже научне области Интеракција човека и рачунара. Истраживање је верификовано кроз објављивање научног рада у часопису категорије М23. С обзиром на приказане резултате, актуелност и мултидисциплинарност обрађених тема, ова дисертација задовољава све потребне критеријуме и показује способност кандидата Жељка Гаврића за самосталан научно-истраживачки рад.

На основу свега наведеног, Комисија предлаже Наставно-научном већу Универзитета у Београду-Факултета организационих наука, да се докторска дисертација под називом „Модел интеракције човјека и рачунара заснован на праћењу покрета ока“ кандидата **Жељка Гаврића**, прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 31.10.2023. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

др Мирослав Миновић, редовни професор
Универзитет у Београду-Факултет организационих наука

др Милош Миловановић, редовни професор
Универзитет у Београду-Факултет организационих наука

др Лана Поповић-Манески, виши научни сарадник
Институт техничких наука САНУ