

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ФАКУЛТЕТ ОРГАНИЗАЦИОНИХ НАУКА

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији
кандидата Ненада Бадовинца

Одлуком 05-01 бр 3/68-4 од 10.07.2025. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације кандидата **Ненада Бадовинца** под насловом

„Модел аутентификације корисника заснован на примени биометрије у системима електронског плаћања“

и на основу тога подносимо следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Ненад Бадовинац је 2016. године уписао докторске академске студије на Факултету организационих наука, Универзитета у Београду (студијски програм: Информациони системи и квантитативни менаџмент, изборно подручје: Информационе технологије).

Након што је положио планом све предвиђене испите, кандидат је 20.11.2019. године пријавио Приступни рад на докторским студијама. Одлуком 05-01 бр. 3/150-13 од 17.12.2019. године, формирана је Комисија за преглед и одбрану Приступног рада и оцену научне заснованости пријављене докторске дисертације. За потенцијалног ментора рада је именован др Дејан Симић, редовни професор, Универзитет у Београду, Факултет организационих наука. Приступни рад под насловом „Модел аутентификације корисника заснован на примени биометрије у системима електронског плаћања“ одбрањен је 10.07.2023. године.

Одлука о усвајању извештаја Комисије о научној заснованости пријављене докторске дисертације донета је на Наставно-научном већу Факултета организационих наука 06.09.2023. године, под бројем 05-01 бр. 3/95-8. Одлуком Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду од 11.09.2023. 02 бр. 61206-3026/2-243 дата је сагласност на предлог теме докторске дисертације Ненада Бадовинца под називом „Модел аутентификације корисника заснован на примени биометрије у системима електронског плаћања“. На Наставно-научном већу Факултета организационих наука од 27.09.2023. године одобрена је израда докторске дисертације кандидата. За ментора је именован проф. др Дејан Симић.

Ментор др Дејан Симић је 04.07.2025. године известио Наставно-научно веће Факултета организационих наука да је Ненад Бадовинац завршио израду докторске дисертације. Наставно-научно веће Факултета организационих наука је одлуком 05-01 бр. 3/68-4 од 10.07.2025. године именовало Комисију за преглед и оцену завршене докторске дисертације у саставу:

1. др Мирослав Миновић, редовни професор, Универзитет у Београду-Факултет организационих наука – председник Комисије;
2. др Иван Миленковић, доцент, Универзитет у Београду-Факултет организационих наука;

3. др Вељко Дмитровић, ванредни професор, Универзитет у Београду-Факултет организационих наука;
4. др Милош Милић, ванредни професор, Универзитет у Београду-Факултет организационих наука;
5. др Бошко Николић, редовни професор, Универзитет у Београду- Електротехнички факултет

1.2. Научна област дисертације

У оквиру ове докторске дисертације примарни задатак је истраживање модела и метода аутентификације корисника заснованих на примени биометрије у електронским системима плаћања и давање предлога за унапређење постојећих модела и метода у *post-COVID19* периоду.

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

Ментор др Дејан Симић 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. Одговарајући научни радови ментора су наведени приликом пријаве теме докторске дисертације кандидата.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Ненад Бадовинац рођен је 12. октобра 1977. године у Бјеловару, Република Хрватска. Основну и средњу школу завршио је у Бјеловару. Дипломирао је 2003. године на Факултету организације и информатике у Вараждину, Свеучилиште у Загребу, на смеру "Информациони системи", одбранивши дипломски рад на тему "Рачунарска симулација рада банкарског система". Постдипломске академске студије уписао је 2014. године на Факултету организационих наука у Београду, Универзитет у Београду, на смеру "Електронско пословање". Мастер академске студије завршио је 2016. године, одбранивши мастер рад под називом "Компаратитивне методе мобилних плаћања". Докторске студије, студијског програма "Информационе технологије", уписао је исте године, на истом факултету, где је положио све испите са просечном оценом 10,00.

Прво радно искуство стекао је 2004. године у фирми Азелија д.о.о. у Бјеловару, као консултант за имплементацију ERP (eng. Enterprise Resource Planning) софтвера у ауто-индустрији. Од 2007. године наставља рад у истој компанији у Београду, где се у периоду од 2007. до 2016. године бавио имплементацијом и обуком за рад са CDP (eng. Car Dealer Package) софтвером. Од 2016. до 2025. године обављао је функцију директора и ИТ консултанта у компанији Азелија д.о.о. у Београду, где је радио на пословима продаје "PANTHEON ERP" софтвера, као и продаје, обуке и имплементације специјализованог CDP софтвера. У сарадњи са компанијама као што су Renault-Nissan Србија и MAN Србија, био је ангажован на дигиталној трансформацији пословања ауто-дилерских кућа.

Поред ангажмана у примени ИТ технологије, активно је учествовао у академском и научно-истраживачком раду. Објавио је више научних радова у области вештачке интелигенције, биометријске сигурности и електронског плаћања. Учесник је више домаћих и међународних научних скупова. Од 2023. године ангажован је као предавач ван радног односа на Високој техничкој школи струковних студија у Новом Саду на предметима из области веб дизајна, база података и мобилних апликација.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација, укупног обима 128 страница, садржи 10 слика и графичких приказа, 52 табеле и 199 литературних навода. На почетку дисертације дат је сажетак на српском и енглеском језику, а на крају дисертације налазе се 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. Формулација проблема и предмет истраживања
 - 1.2. Циљ истраживања и полазне хипотезе
 - 1.3. Структура рада
2. Биометрија
 - 2.1. Физиолошки биометријски модалитети
 - 2.2. Бихејвиористички биометријски модалитети
 - 2.3. Комбиновани биометријски модалитети
 - 2.4. Биометријски системи
 - 2.5. Мултимодална биометрија
 - 2.6. Вештачка интелигенција у биометријским системима
3. Електронски платни системи
 - 3.1. Приказ савремених платних система
 - 3.1.1. Платне картице
 - 3.1.2. Мобилна плаћања
 - 3.1.3. Финтецх
 - 3.1.4. Дигитални новчаници
 - 3.1.5. Платни процесори
 - 3.1.6. Криптовалуте
 - 3.1.7. Дигиталне валуте централних банака
 - 3.2. Постојеће стање проблема у системима електронског плаћања
 - 3.2.1. Поверење корисника у електронско плаћање
 - 3.2.2. Утицај пандемије COVID19 на повећање трансакција е-плаћања
 - 3.2.3. Преваре у аутентификацији електронског плаћања
 - 3.2.4. Проблеми примене CNN алгоритама у биометријској аутентификацији
 - 3.2.5. Заштита приватности корисника у системима електронског плаћања
4. Модели и методе аутентификације
 - 4.1. Архитектура модела аутентификације
 - 4.2. Модели аутентификације у системима електронског плаћања
 - 4.3. Методе аутентификације у системима електронског плаћања
 - 4.4. Фактори аутентификације
5. Предлог модела биометријске аутентификације
6. Предлог методе биометријске аутентификације AC-CNN засноване на кластерски адаптивној CNN векторизацији слика лица
 - 6.1. Методологија представљене методе
 - 6.2. Евалуација алгоритама машинског учења за препознавање лица
 - 6.3. Перформансе предложене методе
 - 6.4. Перформансе предложене методе евалуиране на датасету са сликама маскираних лица
 - 6.5. Предложена методе трансформације слике лица у PIN број
 - 6.5.1. Опис алгорита за трансформацију биометријског податка слике лица у PIN
 - 6.5.2. Експериментални резултати предложене методе
7. Предлог методе биометријске аутентификације POC-DNN засноване на персонализованим моделима дубоког учења

- 7.1. Методологија предложене методе аутентификације
- 7.2. Алгоритамски опис предложене методе
 - 7.2.1. Алгоритам процеса регистрације корисника
 - 7.2.2. Алгоритам процеса идентификације корисника
 - 7.2.3. Алгоритам процеса верификације корисника
- 7.3. Технички опис предложене методе
 - 7.3.1. Технички опис процеса регистрације
 - 7.3.2. Технички опис процеса верификације
- 7.4. Експериментално истраживање предложене ROC-DNN методе биометријске аутентификације
- 7.5. Експериментални резултати примене алгоритама за препознавање лица и модела дубоког учења
- 7.6. Поређење перформанси тренирања модела дубоког учења у CPU и GPU окружењу
- 7.7. Примена алгоритама за енкрипцију биометријских података
- 7.8. Закључак урађених експеримената предложене ROC-DNN методе биометријске аутентификације
8. Даљи правци истраживања
9. Закључак
10. Речник термина
11. Литература

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Дисертација садржи укупно једанаест поглавља. Прво поглавље је Увод у којем се налазе потпоглавља предмет истраживања, проблем истраживања и структура рада. У овом поглављу описани су циљеви истраживања, хипотезе и методологија истраживања. Прво поглавље се састоји од три потпоглавља.

У другом поглављу Биометрија описана је биометрија и Биометријски системи и дат је приказ мултимодалне биометрије као и примена алата вештачке интелигенције у биометријским системима. Описана је подела биометрије на физиолошке бихејвиористичке биометријске модалитете, као и комбиновани биометријски модалитети. Дата је анализа биометријских система на основу њених саставних делова кроз четири елемента. У наставку поглавља дат је опис мултимодалне биометрије и пет типова интеграције унимодалних система у мултимодални биометријски систем. У овом поглављу описана је фузија података са примерима пет врсти фузије које су познате у биометријским системима. У наставку поглавља је потпоглавље са описом главних карактеристика вештачке интелигенције и њихова примена у биометријским системима. Ово поглавље се састоји од осам потпоглавља.

У трећем поглављу Електронски платни системи описани су системи електронског плаћања кроз приказ модела процесора плаћања и кроз употребу савремених платних система, као што су платне картице, мобилна плаћања, криптовалуте, и дигиталне валуте централних банака (CBDC). У следећем потпоглављу Постојеће стање проблема у системима електронског плаћања обрађена је тема: проблеми који су актуелни код пораста примене електронског плаћања с обзиром на пораст коришћења мобилних уређаја. Исто тако дат је увид у пораст броја трансакција електронског плаћања за време пандемије COVID-19. Описани су проблеми као што су: Поверење корисника у електронско плаћање, утицај пандемије COVID-19 на повећање броја трансакција електронског плаћања са статистичким приказом броја трансакција појединих категорија електронског плаћања у периоду пре и после пандемије COVID-19. У потпоглављу Преваре у аутентификацији електронског плаћања, дат је осврт на различите врсте напада које хакери користе у системима електронског плаћања. У наредном потпоглављу Проблеми примене CNN алгоритама у биометријској аутентификацији, описани су проблеми који се јављају код примене модела дубоког учења у процесу биометријске аутентификације. На крају је дат увид у заштиту приватности корисника у системима електронског плаћања. Ово поглавље садржи два потпоглавља.

Поглавље број четири Модели и методе аутентификације садржи у првом потпоглављу Архитектуру модела аутентификације. Описани су најважнији елементи архитектуре модела аутентификације. Затим је дат приказ Модела аутентификације у системима електронског плаћања, и Методе аутентификације у системима електронског плаћања. Кроз ова три потпоглавља дата је анализа досадашњих научних истраживања о доступним моделима и методама аутентификације електронског плаћања. У секцији Фактори аутентификације описана је подела на три типа аутентификације, од којих се у дисертацији анализирају аутентификације применом биометрије. Ово поглавље има укупно четири потпоглавља.

У поглављу број пет дат је Предлог модела биометријске аутентификације са блок дијаграмима процеса регистрације, идентификације и верификације, као и са описом компоненти, описом процеса и тока података у предложеном моделу. Описани су и модели података, и елементи архитектуре предложеног модела. На крају се налази блок дијаграм система електронског плаћања који користи предложени модел биометријске аутентификације.

У поглављу број шест Предлог методе биометријске аутентификације AC-CNN засноване на кластерско оријентисаној адаптивној CNN векторизацији слике лица, представљена је метода биометријске аутентификације која користи конволутивне неуронске мреже за енкодирање слике лица. У првом потпоглављу дата је Методологија представљене методе са блок дијаграмом процеса регистрације и верификације, и са описом процеса и тока података регистрације и верификације. Приказани су алгоритми машинског учења који се користе у препознавању лица са приказом резултата евалуације перформанси. У следећа два потпоглавља дате су перформансе предложене методе. У наставку се пореде перформансе представљене методе са перформансама референтне E3FRM (a three-way decision based Ensembled Face Recognition Mechanism) методе са извршеним експериментима на AFW (енг. Annotated Faces in the Wild) датасету. Затим се евалуирају перформансе представљене методе користећи MDMFR (енг. Mask Detection and Masked Facial Recognition) датасет са маскираним сликама лица. У петом потпоглављу предложена је метода биометријске аутентификације PIN бројем који је генерисан из слике лица. Ова метода примењује модел дубоког учења помоћу којег се експортују карактеристичне тачке слике лица. На крају поглавља описани су резултати истраживања и закључено је да представљене методе имају предности, али и одређене недостатке. У сврху превазилажења њихових евидентираних недостатака, у дисертацији је предложена трећа метода која је описана у седмом поглављу. Ово поглавље се састоји од пет потпоглавља.

У поглављу број седам Предлог методе биометријске аутентификације POC-DNN засноване на персонализованим моделима дубоког учења, представљена је трећа метода биометријске аутентификације. Приказане су компоненте процеса регистрације, идентификације и верификације. Дата је табела података регистрованога корисника која је записана у бази података. У наставку поглавља налазе се алгоритамски и технички описи предложене методе. У четвртом потпоглављу је урађено експериментно истраживање POC-DNN методе, док су у петом потпоглављу дати експериментални резултати примене алгоритама за препознавање лица и модела дубоког учења. У следећем потпоглављу приказано је поређење перформанси времена обраде процеса тренирања модела дубоког учења у CPU и GPU окружењу, док су у наставку перформансе времена обраде енкриптовања и декриптовања биометријских података користећи различите алгоритме за енкриптовање. У последњем потпоглављу дат је закључак уређаних експерименталних истраживања. Ово поглавље се састоји од осам потпоглавља.

У поглављу осам налазе се описани даљи правци истраживања. На крају дисертације је закључак, речник термина и преглед коришћене литературе.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Тема која је описана у докторској дисертацији описује изазове биометријске аутентификације који су присутни у условима када се класичне методе биометријске аутентификације суочавају са проблемима попут проблема присутних у пост-COVID19 периоду. Тада је смањена могућност препознавања слике лица с обзиром да је тада лице деломично прекривено маском. Због отежаног препознавања слике лица, када су доступни само делимични биометријски подаци, у дисертацији се игноришу конвенционални алгоритми препознавања лица (попут SIFT и LBP), и предност је дата примени модела дубоког учења. Модели дубоког учења се тренирају за сваког корисника посебно, користећи при том мале скупове података. У том смислу модел и метода биометријске аутентификације које су представљене у дисертацији омогућавају верификацију идентитета помоћу модела тренираних на мањим скуповима деломично доступних биометријских података.

На основу изложеног, може се закључити да докторска дисертација доноси новине у односу на постојеће стање и отвара простор за даља истраживања.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Докторска дисертација садржи укупно 199 литературних навода. За израду докторске дисертације коришћена је релевантна литература коју су публиковали водећи светски издавачи (IEEE, Springer, Elsevier, ACM). У референтној литератури могу се пронаћи релевантни описи техничких стандарда попут PCI-DCC v4.0, упутства за EMV, као и публикације Европске централне банке и међународних институција које се баве електронским плаћањем и дигиталним валутама централних банака. Литература укључује истраживања објављена током и након COVID-19 пандемије, која се баве изазовима биометријске аутентификације сликом лица које је деломично прекривено маском. У попису литературе су научни радови који се баве применом модела дубоког учења за биометријско препознавање слике лица, отиска прста и др. Неки од њих су у литературним наводима [20], [28], [29], [40], [43], [44], [104], [184]. Постоје и студије о дубоким неуронским мрежама које имају архитектуру аутоенкодера и они се налазе у наводима [32], [33], [45]. Научна литература у којој су описани конвенционални алгоритми препознавања лица, као што су SIFT, SURF и LBP налазе се у истраживањима [187], [188], [189].

У попису литературе су и радови који се односе на сигурност електронских плаћања и заштиту приватности биометријских система [13], [112], [132], [133], као и радови који укључују истраживања енкриптовања биометријског темплејта са хомоморфним и AES алгоритмима [72], [73], [195], [196], [197], [198], [199]. У литературним наводима су и радови у којима су анализиране регулативе и стандарди у области дигиталних плаћања као што су PCI (eng. Payment Card Industry), *Payment Tokenization Specification* и GDPR [57], [58], [69], [107], [108], [109] и [110]. Литература обухвата радове у којима аутори проучавају актуелну понашајну биометрију и у којима се истражује степен прихваћености система електронског плаћања и биометријске технологије од стране корисника [1], [63], [65], [89]. У дисертацији постоје литературни наводи из области мобилних аутентификационих система, које укључују адаптивне, континуиране и мултифакторске аутентификације [99], [148], [158].

Такође, у попису литературе су радови који обухватају примену модела дубоког учења у процесу верификације на паметним телефонима и носивим уређајима [36], [37]. У литературним наводима налазе се датасетови са сликама лица AFW (eng. Annotated Faces in the Wild) [174], затим MDMFR специјализовани датасет са маскираним и немаскираним лицима [175], 3D Dynamic Facial Expression Dataset (Yin et al.) са различитим изразима лица [179], као и Sejong Face Database [181] који је мултимодална база слика лица која садржи слике немаскираних лица и слике лица са различитим типовима маскирања. У литературним наводима су радови у којима

аутори истражују предности, недостатке, заштиту приватности и остале етичке изазове који се јављају код примене биометрије на јавним местима [25]. Постоји научна литература у којој се истражује блокчејн технологија за развој дигиталних валута централних банака [54], [56], [75], [76], [79], [81]. У попису литературних навода су и ауторски научни радови [80], [115], [177] у којима аутор истражује методе биометријске аутентификације. Литературни наводи садрже и прегледне радове из области електронског плаћања, биометрије, вештачке интелигенције и аутентификације [4], [6], [7], [10], [12], [15], [18], [27], [28], [29], [34], [98], [99], [114], [152], [158], [160], [169], [183], [184]. У Табели 1 класификовани су најважнији литературни наводи по категоријама области која се истражује.

Истражена област	Литературни наводи
Примена модела дубоког учења у биометријској аутентификацији. Преглед биометријских система.	[20], [28], [29], [40], [43], [44], [104]
Примена аутоенкодера у тренирању DNN модела.	[32], [33], [45]
Приватност и етички изазови коришћења биометрије.	[25]
Ауторски радови.	[80], [115], [177]
Блокчејн технологија и дигиталне валуте централних банака.	[54], [56], [75], [76], [77], [79], [80], [81], [115]
Анализа конвенционалних алгоритама за препознавање лица SIFT, SURF, LBP.	[187], [188], [189]
Изазови препознавања маскираних лица, развој метода отпорних на маскирања лица. Пост-COVID19 услови.	[84], [161], [177]
Датасетови са сликама алица који су коришћени у истраживању.	[174], [175], [179], [181]
Сигурност биометријских података и заштита приватности.	[13], [112], [132], [133]
Енкриптовање биометријских података применом хомоморфних и AES алгоритама.	[72], [73], [195], [196], [197], [198], [199]
Електронска плаћања. Сигурност електронских плаћања.	[1], [2], [5], [15], [52], [53], [59]
Корисничко прихватање система електронског плаћања и биометријске технологије.	[63], [65], [89]
Примена модела дубоког учења у процесу аутентификације на паметним телефонима и носивим уређајима.	[36], [37]
Стандарди, законска регулатива.	[57], [58], [69], [107], [108], [109], [110]
Литература са моделима аутентификације.	[114], [115], [116], [117], [118], [119], [120], [121], [122], [123]
Литература са методама аутентификације.	[99], [148], [158], [125], [126], [127], [128], [129], [130], [131], [132], [133], [134], [135], [136], [137], [138]
Прегледни радови из области биометрије, вештачке интелигенције и електронског плаћања.	[4], [6], [7], [10], [12], [15], [18], [27], [28], [29], [34], [98], [99], [114], [152], [158], [160], [169], [183], [184]

Табела 1. Класификација литературних навода по областима истраживања

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У дисертацији су коришћене основне аналитичке и синтетичке научне методе. Неке од њих су анализа, апстракција, специјализација и дедукција. Као и синтеза, генерализација и индукција. Додатно у изради дисертације коришћене су следеће научне методе:

- У првом делу дисертације (поглавља 1, 2, 3, 4) коришћене су методе прикупљања и анализе постојећих научних резултата и достигнућа.
- У петом поглављу примењена је научна метода моделовања и симулације за приказ представљеног модела биометријске аутентификације.
- У шестом поглављу коришћене су експерименталне, компаративне и статистичке методе за тестирање и поређење перформанси предложене методе.
- У седмом поглављу су такође коришћене експерименталне, компаративне и статистичке методе за тестирање и поређење перформанси предложене методе.
- У осмом поглављу дати су правци даљег развоја, док је у деветом поглављу, у закључку извршена генерализација и дати су научни закључци на основу извршених експеримената.

Резултати истраживања су презентовани текстуално (описивањем) и графички (приказивањем путем табела, слика и графика). Истраживање је интердисциплинарно, јер укључује научне дисциплине биометрију, вештачку интелигенцију, криптографију, системе електронског плаћања, информациону сигурности, статистичку анализу и др.

На основу анализе докторске дисертације, може се закључити да примењене научне методе и технике одговарају, по свом значају и структури, теми дисертације и спроведеном истраживању.

3.4. Применљивост остварених резултата

Предложени модел и три методе биометријске аутентификације могу се применити у секторима који захтевају информациону сигурност и биометријску аутентификацију која се примењује у екстремним условима који се јављају у пост-COVID19 периоду када је лице прекривено маском. Институције које могу користити предложене методе су:

- Банке и финансијске институције које користе биометријску аутентификацију;
- FinTech компаније;
- Државни органи који користе електронску верификацију грађана (еИД);
- Војска и министарство одбране који користе биометријске сигурносне системе (као што је контрола приступа у зградама, гранични прелази, системи за евиденцију присутних);
- Компаније које развијају решења у области сајбер сигурности;
- Здравствене установе које користе биометрију за приступ личним здравственим подацима;
- Образовне институције које проверавају идентитете у системима за онлајн испитивања;
- Научне институције које развијају сигурносне биометријске системе.

Из тог разлога може се сматрати да су резултати евалуације предложеног модела и метода релевантни.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Своје научно-истраживачко усавршавање Ненад Бадовинац је започео 2016. године кроз писање научних радова у области биометријске аутентификације, примене вештачке интелигенције у информационим системима. Објавио је више научних радова пре и за време докторских студија. Радио је у привредном сектору у којем има дугогодишње искуство као ИТ консултант и имплементатор софтверских решења. Током докторских студија Ненад Бадовинац је показао способност да сагледа проблем истраживања са више аспеката и да креативно приступи његовом решавању. У домену истраживања уочио је главне недостатке и проблеме постојећих решења и

направио је истраживања са циљем да се превазиђу недостаци постојећих решења. Ненад Бадовинац је резултате досадашњих истраживања објавио у зборницима радова научних скупова, и у научним часописима од националног и међународног значаја. Један рад је објављен у часопису међународног значаја који се налази на SCI/ SCIE листи:

Nenad Badovinac, Dejan Simić: „Biometric Authentication Model Based on Transformation of Face Image into a PIN Number Usable During the Covid-19 Pandemic", Romanian Journal of Information Science and Technology, Volume 26, Number 2, pp. 151–162, 2023. DOI: 10.59277/ROMJIST.2023.2.03, Scopus IF: 1,095, Web of Science IF: 0,643. **(M22)**.

На основу наведеног, сматрамо да кандидат Ненад Бадовинац поседује потребно знање и искуство за самосталан научни рад.

4. ОСТВАРЕН НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Током спроведеног истраживања у области теме дисертације, која се односи на развој и примену персонализованих модела дубоког учења у сфери биометријске аутентификације, остварено је више научних и стручних доприноса. Најзначајнији допринос овог рада је у унапређењу класичног процеса регистрације и биометријске верификације. Развијена је метода биометријске аутентификације која се заснива на персонализованим моделима дубоког учења који се користе у процесу доношења верификационе одлуке. Метода остварује повећану тачност у екстремним условима (нпр. када је лице маскирано, када је слабије осветљење и сл.). Представљени модел и метода заснива се на следећим принципима:

- Персонализација: за сваког корисника тренира се персонализовани модел дубоког учења.
- Сигурност: биометријски темплејти су енкриптовани и заштићени су од неовлашћеног коришћења.
- Адаптибилност: модел и метода користи системски параметар који одређује број и тип биометријског податка који ће се користити за тренирање персонализованог модела дубоког учења, затим параметар који одређује CPU или GPU процесорско окружење, и параметар који одређује тип алгорита за енкритовање биометријског темплејта.

Као најважнији **научни доприноси** докторске дисертације могу се издвојити:

- развој модела биометријске аутентификације заснованог на персонализованим моделима дубоког учења;
- развој методе биометријске аутентификације засноване на кластерски адаптивној CNN векторизацији слике лица;
- развој методе засноване на трансформацији слике лица у PIN;
- развој методе биометријске аутентификације засноване на персонализованим моделима дубоког учења.

Стручни доприноси:

Од реализованог истраживања добијени су јасни стручни доприноси који могу бити примењени у различитим стручним и научним областима: у областима електронског плаћања, биометријске идентификације и верификације, као и за заштиту приватности корисника. Конкретније као најважнији стручни доприноси могу се издвојити:

- анализа алгоритама вештачке интелигенције који се примењују у биометријској аутентификацији;

- приказ перформанси алгоритама вештачке интелигенције који се користе у биометрији;
- анализа стања проблема у системима електронског плаћања;
- систематизација знања о постојећим моделима и методама биометријске верификације;
- анализа предности и недостатака фактора аутентификације и ниво њихове сигурности;
- анализа утицаја маске на лицу на резултат тачности биометријске верификације;
- евалуација перформанси CNN алгорита тренираног од нуле;
- евалуација перформанси CNN алгорита претходно тренираног на мањем скупу података;
- евалуација перформанси CNN алгорита претходно тренираног на великим скуповима података;
- евалуација перформанси CNN верификатора који су тренирани на сликама лица једног корисника;
- евалуација перформанси CNN алгорита за препознавања слике немаскираног и маскираног лица;
- поређење перформанси тренирања модела дубоког учења у CPU и GPU окружењу;
- евалуација перформанси времена обраде енкриптовања биометријског темплејта са хомоморфним и AES алгоритмима.

На основу изложеног, може се закључити да добијени резултати докторске дисертације представљају оригинални научни допринос у односу на постојеће стање у овој области, те да омогућавају даља истраживања.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Увидом у дисертацију, полазне хипотезе и циљеве истраживања, остварене резултате, научне и стручне доприносе, Комисија констатује да је кандидат успешно анализирао и систематизовао постојећа научна сазнања истраживањем обимне литературе, да је успешно реализовао комплексно истраживање везано за биометријску аутентификацију са фокусом на примену пресонализованих модела дубоког учења. Остварени резултати истраживања оправдавају почетна истраживачка питања и испуњавају тражене захтеве докторске дисертације. Поред оствареног научног доприноса, дисертација садржи и резултате који су значајни за практичну примену предложеног решења. Све постављене хипотезе су верификоване како теоријским разматрањима, тако и експериментално кроз научно-истраживачки рад и пројектни ангажман кандидата, а добијени резултати су и доказани, те је тиме остварен значајан допринос корпусу сазнања релевантних за научну и стручну заједницу из ове области.

4.3. Верификација научних доприноса

Радови објављени у часопису међународног значаја на SCI листи из теме дисертације:

Рад у међународном часопису (M22)

1. **Nenad Badovinac**, Dejan Simić: „Biometric Authentication Model Based on Transformation of Face Image into a PIN Number Usable During the Covid-19 Pandemic", Romanian Journal of Information Science and Technology, Volume 26, Number 2, pp. 151–162, 2023. DOI: 10.59277/ROMJIST.2023.2.03, Scopus IF: 1,095, Web of Science IF: 0,643.

Поглавље у монографији међународног значаја (M14):

1. **Nenad Badovinac**, Dejan Simić: „Biometric Creation of Digital Signatures and Their Application in Blockchain“, Sustainable Business Management and Digital Transformation: Challenges and Opportunities in the Post-COVID Era. Springer, Lecture Notes in Networks and Systems, vol 562, 2023. DOI: 10.1007/978-3-031-18645-5_1
2. **Nenad Badovinac**, Dejan Simić: "E-Payment Systems Using Multi-card Smartcard". In: Mladenović N., Sifaleras A., Kuzmanović M. „Advances in Operational Research in the

Balkans“, Springer Proceedings in Business and Economics, 2020, 237-249, DOI: 10.1007/978-3-030-21990-1_14

Зборници међународних научних скупова (M30):

1. **Nenad Badovinac:** "Optimization of the decision threshold for application in Biometric systems under extreme conditions of Facial image verification", International Conference: Annual conference on Challenges of Contemporary Higher Education, Kopaonik, 2025. Book of proceedings, ISBN: 978-86-6211-150-0.
2. **Nenad Badovinac, Dejan Simić:** „A Multimodal Biometric Authentication (MBA) in Card Payment Systems". Proceedings of 2019 International Conference on Artificial Intelligence: Applications and Innovations, Los Alamitos, USA, (IC-AIAI), Serbia, 2019, pp. 23-27, ISBN: 978-1-7281-4326-2, DOI: 10.1109/IC-AIAI48757.2019.00011
3. **Nenad Badovinac:** „Model adaptivne biometrijske autentifikacije", Konferencija sa međunarodnim učešćem "Napredne tehnologije u obrazovanju i privredi", 2023. ISBN: 978-86-6211-145-6, COBISS.SR-ID 116724745
4. **Nenad Badovinac:** „Organizacioni model sistema za evidenciju korisnika pametnih bolnica", 4. Međunarodna konferencija na temu: „Upravljanje znanjem i informatika", Book of Proceedings, Str.30-36, 2018. Kopaonik, Srbija, ISBN 978-86-6211-113-5, COBISS.SR-ID 320281095.
5. **Nenad Badovinac, Dejan Simić:** „Model biometrijske autentifikacije u sistemu mobilnog bankarstva", The 5-th international Conference on knowledge management and informatics. Book of Proceedings, Str.115-120, 2019. Kopaonik, Srbija. ISBN 978-86-6211-115-9. COBISS.SR-ID 327620103
6. **Nenad Badovinac:** „Dizajniranje korisničkog interfejsa za evidenciju korisnika u pametnim bolnicama“, 4. Međunarodna konferencija na temu: „Upravljanje znanjem i informatika" Kopaonik, Srbija, Book of Proceedings, Str.19-29, 2018. ISBN 978-86-6211-113-5, COBISS.SR-ID 320281095.
7. **Nenad Badovinac:** „Android application for recording signed consents from GDPR regulation“, XVI International symposium: "Doing Business in the Digital Age: challenges, approaches and solutions" (pp.1084-1088), SymOrg 2018, Zlatibor-Serbia, 2018, ISBN 978-86-7680-361-3.
8. **Nenad Badovinac:** „Automatsko generisanje programske sheme onlajn radija bazirane na kategorijama emisija", XVI međunarodni naučno-stručni simpozijum Infoteh-Jahorina, Str. 613-616, 2017. ISBN: 978-99976-710-0-4
9. **Nenad Badovinac:** „Elektronsko poslovanje u auto kućama - upravljanje mrtvim zalihama - Electronic business in auto-house companies management of dead stock“, XLIII Simpozijum o operacionim istraživanjima. SYM-OP-IS, Tapa-Srbija, 2016. Str.85, ISBN 978-86-335-0535-2. COBISS.SR-ID 225714444
10. **Nenad Badovinac, Katarina Đorđević:** „CRM model in e-business for non-commercial online radio", International symposium SymOrg. XV International symposium. Reshaping the Future Through Sustainable Business Development and Enteproureship - SymOrg 2016, Zlatibor-Serbia, Str.318-324. ISBN 978-86-7680-326-2, COBISS.SR-ID 223988236.

Часописи националног значаја:

1. **Nenad Badovinac:** "Osvrt na GDPR uredbu i sugestije za razvoj aplikacione podrške - Review of the GDPR regulation and suggestions for the development of support application", Časopis InfoM, br 65/2018, str. 11-16. UDC: 343.45:340.134

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледа докторске дисертације под називом „Модел аутентификације корисника заснован на примени биометрије у системима електронског плаћања“, кандидата Ненада Бадовинца, 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. Резултати истраживања из докторске дисертације су и верификовани објављивањем једног научног рада у часопису од међународног значаја са СЦИЕ листе са импакт фактором, затим и радовима објављеним и у другим часописима као и на међународним и националним конференцијама.

На основу резултата и закључака приказаних у докторској дисертацији, Комисија констатује да је кандидат Ненад Бадовинац успешно завршио докторску дисертацију, у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима истраживања. С обзиром на научну актуелност дисертације, оригиналност приказаних резултата и методолошку и тематску адекватност, докторска дисертација задовољава све потребне критеријуме и квалификује кандидата за самосталан научно-истраживачки рад. Ценећи наведене научне и стручне доприносе докторске дисертације, Комисија констатује да су остварени постављени циљеви истраживања и позитивно оцењује дисертацију.

На основу свега наведеног, Комисија предлаже Наставно-научном већу Факултета организационих наука да се докторска дисертација под називом „Модел аутентификације корисника заснован на примени биометрије у системима електронског плаћања“, кандидата Ненада Бадовинад прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 16. 07. 2025. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

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

др Иван Миленковић, доцент,
Универзитет у Београду, Факултет организационих наука

др Вељко Дмитровић, ванредни професор,
Универзитет у Београду, Факултет организационих наука

др Милош Милић, ванредни професор,
Универзитет у Београду, Факултет организационих наука

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