

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ФАКУЛТЕТ ОРГАНИЗАЦИОНИХ НАУКА

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији
кандидата Ранка Петровића

Одлуком 05-01 бр 3/68-5 од 10.07.2025. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације кандидата **Ранка Петровића** под насловом

„Модел едукационе платформе за испитивање утицаја сателитског линка на успешност мисије безбедносно-критичних *IoT HSP* система“

и на основу тога подносимо следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Ранко Петровић 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 10.09.2022. године пријавио Приступни рад на докторским студијама. Одлуком 05-01 бр. 3/133-6 од 28.09.2022. 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 едукационе платформе за испитивање утицаја сателитског линка на успешност мисије безбедносно-критичних *IoT HSP* система “ одбрањен је 30.09.2022. године.

Одлука о усвајању извештаја Комисије о научној заснованости пријављене докторске дисертације донета је на Наставно-научном већу Факултета организационих наука 12.10.2022. године, под бројем 05-01 бр. 3/163-7. Одлуком Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду од 14.11.2022. 02 бр. 61206-4531/2-22 дата је сагласност на предлог теме докторске дисертације Ранка Петровића под називом „Модел едукационе платформе за испитивање утицаја сателитског линка на успешност мисије безбедносно-критичних *IoT HSP* система“. На Наставно-научном већу Факултета организационих наука од 30.11.2022. 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 Ранко Петровић завршио израду докторске дисертације. Наставно-научно веће Факултета организационих наука је одлуком 05-01 бр. 3/68-5 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 Душан Бараћ, редовни професор, Универзитет у Београду - Факултет организационих наука;
4. др Огњен Пантелић, редовни професор, Универзитет у Београду - Факултет организационих наука;
5. др Драгана Перић, виши научни сарадник, Vlatacom Институт високих технологија, Београд.

1.2. Научна област дисертације

У оквиру ове докторске дисертације примарни предмет истраживања који је идентификовање услова за развој модела едукационе платформе за испитивање утицаја сателитског линка на успешност мисије безбедносно-критичних *IoT HCP* система.

Докторска дисертација припада научној области техничке науке, подручје организационих наука, подобласти Информациони системи и технологије и ужој научној области Телекомуникациони системи. Поред ових области, у дисертацији се обрађују и теме из области едукације, *IoT*, људских кибер физичких система и безбедносно-критичних система.

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. Одговарајући научни радови ментора су наведени приликом пријаве теме докторске дисертације кандидата.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Ранко Петровић је рођен 1985. у Београду. Основну школу „Уједињене нације“ завршио је као ђак генерације. Тринаесту београдску гимназију завршио је 2004. године као носилац Вукове дипломе. Исте године уписује Електротехнички факултет Универзитета у Београду – Одсек за телекомуникације и информационе технологије, који завршава 2012. године са просечном оценом 8.62, одбравивши рад „Дигитална форензика мултимедијалних сигнала“. Мастер студије уписује 2012. године на Електротехничком факултету – Одсек за телекомуникације и информационе технологије и завршава 2014. са просечном оценом 10,00 одбравивши мастер рад „Преглед техника дигиталне форензике у детекцији *coru-move* напада на слику“. И дипломски и мастер рад одбранио је под менторством проф. др Ирини Рељин. У оквиру Електротехничког факултета је завршио и CISCO Networking академију 2013. године. У јулу 2018. године био је учесник Међународне летње школе из области дубоког учења у организацији Универзитета у Ђенови. Докторске студије на Факултету организационих наука Универзитета у Београду, изборно подручје Информационе технологије на смеру Информациони системи и квантитативни менаџмент, уписао је 2016. године. Положио је све испите са просечном оценом 10,00.

Од 2014. Ранко Петровић је запослен у Влатаком институту високих технологија где тренутно ради на позицији систем архитекте. Активно је учествовао у планирању, дизајну, инсталацији и имплементацији више међународних комерцијалних пројеката везаних за системе за контролу и надзор морске и копнене границе, системе за производњу и издавање електронских личних докумената, системе за контролу саобраћаја итд. Такође, од 2022. до 2024. године руководио је међународним пројектом интеграције и имплементације система инфраструктуре јавних кључева за издавање и управљање дигиталним сертификатима. Осим рада на комерцијалним пројектима, ангажован је и у сектору за истраживање и развој, у оквиру којег је од 2022. до 2023. водио пројекат за шифровање мрежног саобраћаја великог капацитета. Од стране Влатаком института 2015. године је изабран у звање „истраживач приправник“, да би потом 2023. био изабран у звање „истраживач сарадник“.

Аутор је или коаутор више радова из области информационих технологија који су објављени у домаћим и међународним часописима и на конференцијама, од којих се посебно издвајају два рада објављена у водећим међународним часописима категорије M21A+. Осим тога, учествовао је и у развоју осам техничких решења, од којих треба издвојити шест техничких решења из категорије M81, која су примењена на међународном нивоу. Године 2019. рад *“Thermal Image Degradation Influence on R-CNN Face Detection Performance”*, на којем је био коаутор, добио је награду „Илија Стојадиновић“ за најбољи научни рад на конференцији ТЕЛФОР. Такође, има и искуство у настави, с обзиром да има улогу ментора у оквиру стручне професионалне праксе коју Влатаком институт за високе технологије редовно организује за студенте завршних година техничких факултета.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација, укупног обима 234 страница, садржи 77 слика и графичких приказа, 20 табела и 289 литературних навода. 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. Кибер физички системи
 - 1.2. Кибер физички системи и *IoT*
 - 1.3. Безбедносно-критични *IoRT* системи и сателитска комуникација
 - 1.4. Мрежни параметри као кључни индикатори перформанси система
 - 1.5. Улога човека у безбедносно-критичним *IoT CP* системима
 - 1.6. Развој модела едукационе платформе као задатак истраживања
 - 1.7. Структура дисертације
2. Детаљан преглед литературе и постојећих решења
 - 2.1. Моделовање *HCP* система
 - 2.2. Концепт дигиталног близанца
 - 2.3. Моделовање комуникационог блока у *IoT HCP* системима
 - 2.3.1. Преглед постојећих модела комуникационог блока
 - 2.4. Симулација и емулација комуникационог линка
 - 2.4.1. Преглед постојећих симулатора и емулатора комуникационог блока
 - 2.5. *IoT HCP* системи и едукација
 - 2.5.1. Преглед постојећих *IoT HCP* едукационих платформи, лабораторија и њихових модела
 - 2.6. Критички осврт на постојећа решења и могућност унапређења
 - 2.7. Проблем, предмет и циљ истраживања
 - 2.8. Полазне хипотезе
3. Комуникациона инфраструктура у неприступачним граничним подручјима
 - 3.1. *IoT* сензорске мреже за контролу неприступачних подручја
 - 3.2. *IoT* комуникационе технологије
 - 3.2.1. Класификација комуникационих технологија
 - 3.3. Специфичности *IoT* комуникације преко сателитског линка
 - 3.3.1. Орбите сателитских система и фреквенцијски опсези
 - 3.3.2. Утицај метеоролошких услова на сателитску везу
 - 3.4. Комуникациона инфраструктура у земљама Гвинејског залива
 - 3.4.1. Фиксна телефонија

- 3.4.2. Фиксне широкопојасне технологије
- 3.4.3. Мобилна телефонија
- 3.4.4. Микроталасни линкови
- 3.4.5. Сателитски линк
- 4. Нови модел едукационе платформе за испитивање утицаја мрежних параметара сателитског линка
 - 4.1. Успешност мисије *IoT HCP* система као кључни параметар и основа за изградњу модела едукационе платформе
 - 4.2. Изградња модела едукационе платформе за испитивање утицаја мрежних параметара сателитског линка на успешност мисије безбедносно-критичних *IoT HCP* система
 - 4.2.1. Метамодел едукационе платформе
 - 4.2.2. Модел едукационе платформе
 - 4.3. Предности предложеног модела
- 5. Студија случаја на реалном систему за надзор обале у Гвинејском заливу на основу модела
 - 5.1. Сензорска мрежа за надзор обале у Гвинејском заливу
 - 5.2. Комуникација преко сателитског линка на основу искуства у Гвинејском заливу
 - 5.2.1. Утицај метеоролошких услова на сателитску везу у Гвинејском заливу
 - 5.2.2. Вероватноћа испада система у Гвинејском заливу
 - 5.2.3. Анализа мрежних параметара реалног сателитског линка
 - 5.2.4. Анализа сервиса за *OTH* радаре, ЕО системе и сензоре малог протока
 - 5.3. Примена предложеног модела на реалан систем у продукцији
 - 5.3.1. Примена модела на формирање трага мете и детекција њене девијације са задатог коридора
 - 5.3.2. Примена модела на испитивање утицаја укупног времена преноса на алгоритам за фузију
 - 5.3.3. Примена модела на идентификацију мете на основу слике или видео стрима и мерење растојања до мете
- 6. Симулација реалног система на основу предложеног модела у лабораторијском окружењу
 - 6.1. Имплементација хардверске платформе за потребе испитивања утицаја мрежних параметара сателитског линка
 - 6.2. Апликација за конфигурацију параметара комуникационог линка
 - 6.2.1. Картица за конфигурацију *GRE* тунела
 - 6.2.2. Картица за конфигурацију мрежних параметара комуникационог линка
 - 6.3. Валидација платформе за емулацију комуникационог линка
- 7. Експериментални резултати у лабораторијским условима
 - 7.1. *IoT HCP* систем за праћење аутомобила чија се комуникација заснива на емулираном сателитском линку
 - 7.1.1. Поређење реалног система и лабораторијског окружења
 - 7.1.2. Почетно искуство оператора
 - 7.1.3. Сценарији обуке
 - 7.1.4. Мисије *IoT HCP* система за праћење аутомобила
 - 7.1.5. Карактеристичан радни ток обуке за сваки сценарио
 - 7.1.6. Анализа резултата у контексту мисија и сценарија
 - 7.1.7. Резултати испитивања утицаја емулираног сателитског линка на успешност мисије система
 - 7.1.8. Анализа успешности оператора и избор најпогоднијих за рад на реалном систему
 - 7.1.9. Оцена квалитета обуке од стране оператора
 - 7.1.10. Методологија обуке и избора адекватних оператора
 - 7.2. Додатна едукација инжењера и студената завршних година техничких факултета
 - 7.2.1. Имплементирано лабораторијско окружење и сценарији обуке
 - 7.2.2. Пренос видео сигнала са *Full HD* камере преко емулираног сателитског линка
 - 7.2.3. Напад „лажирање *ARP* табеле“ у окружењу са емулираним сателитским линком

- 7.2.4. Оцена квалитета едукационе платформе од стране учесника праксе и њихових инструктора
8. Правци даљег истраживања
- 8.1. Проширење модела новим параметрима и генерализација његове примене
 - 8.2. Утицај параметара С и П на успешност мисије
 - 8.3. Узроци деградације перформанси оператера
 - 8.4. Дигитализација лабораторијског окружења
 - 8.4.1. Имплементација људског дигиталног близанца
 - 8.4.2. Имплементација мрежног дигиталног близанца
 - 8.4.3. Креирање синтетичких динамичких тренинг сценарија
 - 8.5. Унапређење апликације и нови сценарији за обуку оператера
9. Закључак
- 9.1. Научни, стручни и друштвени допринос дисертације
10. Литература
- Прилог А – Упитник за оператере о обуци на едукационој платформи у лабораторијском окружењу
- Прилог Б – Упитник за студенте о учествовању на пракси у Институт Влатаком и раду на едукационој платформи
- Прилог Ц – Резултати појединачних тестова урађених у оквиру експеримента на систему за праћење аутомобила
- Прилог Д – Карактеристични резултати мерења које су студенти бележили током рада на пракси

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Прво, уводно поглавље пружа општи преглед теме истраживања, а то су безбедносно-критични *IoT HCP* системи чија се комуникација заснива на сателитском линку. Мрежни параметри комуникационог линка су означени као кључни индикатори перформанси оваквих система. У овом поглављу је дефинисан задатак истраживања у виду развоја модела едукационе платформе. Ово поглавље броји седам потпоглавља.

Друго поглавље доноси детаљан преглед релевантне литературе и постојећих решења. Истакнут је општи значај моделовања, симулације и емулације како *HCP* система, тако и неких његових појединачних компоненти, попут комуникационог блока. Представљен је и појам дигиталног близанца који је по концепту најсличнији новом моделу едукационе платформе предложеном у овој докторској дисертацији. Потпуно одвојено су анализирана постојећа, доступна решења која се односе на моделовање комуникационог блока, од решења која се односе на симулацију и емулацију комуникационог система, са посебним акцентом на сателитски линк. Посебна пажња је посвећена анализи постојећих *IoT HCP* едукационих платформи, лабораторија и њихових модела. Постојећа решења су поређена по различитим критеријумима и резултати су табеларно приказани. У овом поглављу дискутовани су и недостаци постојећих решења, као и могућности њиховог унапређења. На основу поменуте анализе дефинисани су проблем, предмет и циљ истраживања. На крају самог поглавља дефинисане су и хипотезе докторске дисертације. Ово поглавље броји осам потпоглавља.

У трећем поглављу фокус је био на комуникационој инфраструктури у неприступачним граничним подручјима у оквиру којих могу да буду постављене *IoT* сензорске мреже. Урађена је класификација *IoT* комуникационих технологија на основу домета, а посебна пажња је посвећена *IoT* комуникационим технологијама изузетно великог домета, у које се убраја и пренос преко сателитског линка. Након тога су анализиране све специфичности *IoT* комуникације преко сателитског линка, са посебним освртом на утицај метеоролошких фактора на сателитску везу. Посебна пажња је посвећена комуникационој инфраструктури у земљама Гвинејског залива, имајући у виду да се реалан систем везан за студију случаја, која је анализирана у докторској дисертацији, налази управо у овој регији. Ово поглавље броји четири потпоглавља.

Изградња новог модела едукационе платформе за испитивање утицаја мрежних параметара сателитског линка на успешност обављања мисије система детаљно је описана у четвртном поглављу. Успешност обављања мисије неког *IoT HCP* система је идентификована као кључни параметар и основа на којој је изграђен модел. Такође, дефинисани су и сви елементи реалних *IoT HCP* система и њихови параметри који утичу на успешност мисије система и који су због тога узети у обзир приликом развоја модела едукационе платформе. Ослањајући се на инжењерство које се заснива на моделу, прво је представљен метамодел едукационе платформе, као највиши ниво апстракције. Даљим развојем сваког појединачног блока метамодела и увођењем детаља, дошло се и до коначног облика модела едукационе платформе за испитивање утицаја сателитског линка на успешност мисије безбедносно-критичних *IoT HCP* система, чије су компоненте такође детаљно објашњене. У овом поглављу је предложен и нови начин дефинисања метрике „успешност мисије“ безбедносно-критичних *IoT HCP* система који је омогућио специфичну процену перформанси оваквих система у целини, као и анализу потенцијалних слабих тачака. Суштина предложеног модела је да кроз идентификацију кључних параметара који утичу на метрику M омогући анализу услова под којим се може обезбедити максимизација функције успешности обављања мисије неког реалног система. Модел процеса који показује редослед операција и активности међу компонентама модела као и поступак за испуњење критеријума за завршетак оптимизације су такође описани у овом поглављу. Предности новог модела едукационе платформе у односу на постојећа, доступна решења, су посебно наглашене. Ово поглавље броји три потпоглавља.

У петом поглављу је представљена студија случаја на реалном безбедносно-критичном *IoT HCP* систему за надзор обале у Гвинејском заливу. Том приликом је анализиран утицај метеоролошких фактора на пренос преко сателитског линка у оквиру конкретног, реалног сценарија. Након детаљног описа система и његових сервиса, са посебним акцентом на комуникацију преко сателитског линка, приступило се анализи мрежних параметара поменутог сателитског линка, као и анализи сервиса за сензоре који се користе у оквиру система. У том контексту су дефинисане и вредности параметара које је потребно на основу предложеног модела пресликати у лабораторијско окружење. Затим су представљена и три конкретна примера примене новог модела у различитим мисијама система имплементираног у Гвинејском заливу. То су формирање трага покретне мете и детекција њене девијације са задатог коридора, затим испитивање утицаја укупног времена преноса радарских детекцијских фајлова на алгоритам за њихову фузију, и на крају идентификација мете на основу слике или видео стрима и мерење растојања до мете. У склопу једног од примера примене идентификован је математички модел који најбоље описује понашање сервиса безбедносно-критичног система имплементираног у Гвинејском заливу. Поглавље пет се састоји од три потпоглавља.

Шесто поглавље бави се симулацијом претходно описаног реалног система у лабораторијском окружењу, а на основу предложеног модела. У том контексту представљена је хардверска платформа за емулацију сателитског линка, затим апликација за конфигурацију параметара комуникационог линка, као и комплетно лабораторијско окружење које симулира рад реалног *IoT HCP* система за надзор обале у Гвинејском заливу. Валидација хардверске платформе за емулацију комуникационог линка је извршена поређењем добијених времена преноса идентичних детекцијских фајлова у реалном и лабораторијском окружењу. Како је Уговором о неоткривању података забрањено дељење већине резултата са система у продукцији, нумерички подаци експерименталних резултата добијених кроз студију случаја су изостављени. Ово поглавље броји три потпоглавља.

У седмом поглављу представљени су експериментални резултати у лабораторијским условима. Због немогућности дељења нумеричких података са реалног система имплементираног у Гвинејском заливу, у Институту Влатаком је, на основу новог модела, имплементиран посебан безбедносно-критичан *IoT HCP* систем за праћење аутомобила чија се комуникација заснива на емулираном сателитском линку. За емулацију сателитског линка коришћене су вредности параметара реалног сателитског линка у Гвинејском заливу. На тај начин су у лабораторијском

окружењу постигнути исти ефекти преноса као што су у оквиру реалног система у Гвинејском заливу. Иако су услови комуникације довољно слични, окружења се међусобно разликују у погледу типа ЕО сензора који се користи, врсте мете која се детектује, идентификује и прати, као и броја и карактеристика мисија које се у тим окружењима реализују. Због тога је у оквиру овог поглавља спроведено њихово детаљно поређење. Осим тога, детаљно су описани сценарији обуке, карактеристичан радни ток обуке за сваки сценарио, као и мисије које је потребно реализовати. Поменуто окружење је послужило како за саму обуку, тако и за избор оператера који би били адекватни за рад на реалном систему. Евалуација укупно тринаест оператера, са различитим почетним искуством, који су одрадили укупно хиљаду и триста појединачних тестова је рађена на различите начине, али за коначан избор оних оператера који ће радити на реалном систему, инструктори су се определили за критеријум укупне успешности узимајући у обзир све сценарије. Том приликом су дискутовани и резултати испитивања утицаја емулираног сателитског линка на успешност мисије система. Дакле, на конкретном примеру у реалним условима је показано како је помоћу анализе на основу предложеног модела, могуће евидентирати слабе тачке система, али и како се кроз подизање степена обучености и искуства дизајнера, администратора и оператера система у лабораторијском окружењу повећава успешност обављања мисије система у продукцији, што је и био крајњи циљ. Према томе, у овом поглављу је предложена нова методологија избора и обуке оператера у лабораторијским условима за рад на једном безбедносно-критичном *IoT HCP* систему, а која доводи до повећања успешности обављања мисије тог система, што је потврђено како експерименталним резултатима, тако и резултатима упитника који су оператери попуњавали. Такође, у истом поглављу, представљен је и пример примене новог модела едукационе платформе у додатној едукацији студената техничких факултета и инжењера који су желели да повећају ниво свог практичног знања и то кроз седам различитих сценарија. Студенти су коришћењем специјално дизајниране лабораторије добили јединствену прилику да се, кроз симулацију, емулацију и моделовање, упознају са функционисањем безбедносно-критичних *IoT HCP* система и изазовима са којима се исти суочавају, а пре свега када се њихова комуникација заснива на сателитском линку. Подизањем нивоа практичног знања учесника праксе потврђена је едукативна вредност развијеног окружења. И оператери и студенти су били у прилици да оцене како саму обуку, тако и лабораторијско окружење путем унапред припремљених упитника. Поглавље седам се састоји од два потпоглавља.

У осмом поглављу су представљени правци будућег истраживања. Први правац даљег истраживања би свакако подразумевао испитивање могућности проширења модела новим параметрима, као што су параметар потрошње енергије система, параметар здравствено стање система и параметар временско ограничење чекања. Потребно је такође испитати могућност генерализације предложеног модела како у погледу примене на друге *IoT HCP* системе, а не само на безбедносно-критичне, тако и у погледу примене на неке друге комуникационе технологије, а не само на сателитски линк. Други правац будућег истраживања се односи на значајније испитивање утицаја мреже сензора и блока за обраду података на успешност мисије система, при чему би требало размислити о креирању потпуно независних модела. Осим тога предлаже се и изучавање правих узорака деградације перформанси оператера, у смислу да ли је то психофизичко стање оператера, његова неталентованост, несавршеност система на којем ради, окружење у којем се ради или нешто потпуно друго. Трећи правац будућег истраживања би требало да буде усмерен на дигитализацију лабораторијског окружења имплементацијом различитих дигиталних близанаца и креирањем, а онда и употребом синтетичких динамичких сценарија. Четврти правац даљег истраживања би се односио на осмишљавање и креирање додатних и захтевнијих сценарија обуке попут праћења авиона, дронова и људи, као и даље унапређење апликације за конфигурацију параметара комуникационог система.

Девето поглавље садржи закључна разматрања са научним, стручним и друштвеним доприносом дисертације. У оквиру истог поглавља представљен је поступак потврде хипотеза на којима се заснива ова докторска дисертација, кроз анализу резултата истраживања и њихово довођење у везу са постављеним научним претпоставкама.

Десето поглавље представља списак цитиране литературе, након које следи биографија кандидата. На самом крају дисертације се налази и неколико прилога који су везани за експерименталне резултате као и два упитника, при чему је један намењен за оператере који се обучавају за рад на безбедносно-критичном *IoT HCP* систему, а други за студенте који они попуњавају након завршене праксе у Институту Влатаком.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Тренд недостатка стручног кадра и релевантних образовних програма у области наменских система је све израженији, на шта индустрија континуирано указује и истиче као изазов. Недостатак адекватних курсева, едукационих платформи, лабораторија, и њихових модела, је нарочито карактеристичан за војно-одбрамбене и безбедносно-критичне *IoT HCP* системе. Уколико се комуникација у оваквим системима заснива на сателитском линку тај недостатак постаје још израженији. Развој безбедносно-критичних *IoT HCP* система, који су по природи веома хетерогени и комплексни, често се суочава са читавим низом изазова, нарочито ако се у обзир узму њихови захтеви у виду високе доступности, поузданости, безбедности, скалабилности, могућности ефикасног одржавања и сервисирања итд. Осим потребе за искусним оператерима, који на оваквим системима раде, постоји и константна потреба за дизајнерима, односно инжењерима који овакве системе пројектују, као и администраторима, односно инжењерима који овакве системе одржавају. Међутим, обука и тренинзи на оваквим системима који су у продукцији је практично неизводљива из више објективних разлога. Са друге стране, тешко је за очекивати да образовне институције, у којима би поменути инжењери требало да стичу своја знања и вештине, имају на располагању реалан сателитски линк који би се користио чисто у едукативне сврхе. Са сличним проблемом се суочава и Институт Влатаком, у којем је кандидат запослен од 2014. године, а у којем се, између осталог, развијају безбедносно-критични *IoT HCP* системи чија се комуникација заснива на сателитском линку. Осим тога, у доступној литератури готово и да нема радова који се баве проблемом едукације у овако специфичним системима чија се комуникација заснива на сателитском линку. Такође, још увек не постоји јединствен приступ када је у питању изградња *IoT HCP* едукационих платформи, лабораторија и њихових модела, што даје простора за нова решења. Имајући у виду све наведене околности и изложене чињенице, оправдано је било приступити развоју новог модела едукационе платформе.

У том контексту, у овој докторској дисертацији је предложен и представљен нови модел едукационе платформе за испитивање утицаја мрежних параметара сателитске везе на успешност мисије безбедносно критичних *IoT HCP* система. Овај концептуални модел је развијен са циљем да кроз идентификацију кључних параметара који утичу на метрику *M*, у лабораторијском окружењу, омогући анализу услова под којим се може постићи повећање успешности обављања мисије неког реалног система у продукцији. Радом у лабораторијском окружењу, које је реализовано на основу предложеног модела, повећава се степен обучености и искуства како дизајнера, администратора и корисника оваквих система, тако и студената завршних година техничких факултета који на овај начин добијају јединствену прилику да се кроз, симулацију, емулацију и моделовање, упознају са функционисањем безбедносно-критичних *IoT HCP* система и изазовима са којима се исти суочавају, а пре свега када се комуникација заснива на сателитском линку. У доступној литератури није забележен модел применљив на сличне системе, а који обухвата такву бројност и разноврсност параметара, посебно у оквиру комуникационе компоненте система. Изградњом модела едукационе платформе за испитивање утицаја сателитског линка на успешност мисије безбедносно-критичних *IoT HCP* система постигнут је недвосмислен допринос у виду унапређења образовног и истраживачко-развојног процеса у области комплексних *IoT HCP* система чија се комуникација заснива на сателитском линку, што је потврђено и експерименталним резултатима.

Кандидат је своју оригиналност потврдио и објављивањем радова који су уско повезани са темом докторске дисертације и то у међународним научним часописима (1 рад у водећем међународном часопису категорије M21 и 1 рад у међународном часопису категорије M22), као и у зборницима међународних научних скупова (3 рада категорије M33).

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

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Докторска дисертација садржи укупно 289 литералних навода. За израду докторске дисертације коришћена је релевантна литература коју су публиковали водећи светски издавачи (IEEE, Springer, Elsevier, Wiley, MDPI и други), као и стандарди и препоруке од међународног значаја (ITU, ITU-T) који се односе на комуникационе системе, квалитет сервиса, задовољство корисника итд.

Посебно треба издвојити литературу у оквиру које је кандидат идентификовао недостатке и ограничења у досадашњим истраживањима што је послужило као основ за постизање научних, стручних и друштвених доприноса који су представљени у овој дисертацији.

Тако је показано да у доступној литератури постоје модели, који се односе на *IoT HCP* системе, али који уопште не разматрају комуникациони систем, попут (Guan 2017, Poursoltan 2022, Zhao 2022). То се може сматрати великим недостатком имајући у виду да су у основи *IoT HCP* система информационо-комуникационе технологије. Ипак, узимајући у обзир колики је значај комуникације за *IoT HCP* системе, кандидат је посебну пажњу посветио моделима у оквиру којих се разматра комуникациони систем (Aishwarya 2022, Althoubi 2021, Bellouch, 2021, Chang 2024, Guillen 2017, Jafri 2023, Kang 2019, Metzger 2019, Mishra 2023, Poperezhnyak 2018). Што је већи број параметара комуникационог система узет у обзир, утолико се анализа заснована на моделу може сматрати темељнијом, а сам модел детаљнијим, при чему управо обимност разматраних параметара представља кључну одлику која нови модел издваја у односу на постојеће. У наведеној литератури није пронађен модел који обухвата све параметре комуникационог система који се разматрају у предложеном новом моделу, а који су неопходни да би се на адекватан начин анализирао сателитски линк.

Такође, кандидат је истраживањем дошао до закључка да се у наведеној литератури перформансе неког *IoT HCP* система, који ради у реалном времену, углавном процењују кроз анализу комуникационог система, и кроз испитивање да ли он испуњава захтеве сервиса које систем пружа (Austad 2024, Behnke 2023, Farag 2023, Lu, 2025, Sheet 2024), али се не разматра оперативни исход задатка. Са друге стране постоје истраживања која користе метрику „успешност мисије“ система попут (Kheder 2023, Meng 2024, Qiu 2024, Yang 2024 A, Yang 2024 B, Zhao 2022, Yang 2022, Xing 2022). У овим истраживањима метрика „успешност мисије“ је углавном изражена у функцији од параметара као што су здравствено стање система, старост система, степен деградације система, трајање мисије, политике одржавања итд. Међутим, треба имати у виду да, иако су у фокусу ових радова углавном безбедносно-критични системи, чије је обављање мисије само по себи критично, утицај комуникационог система, као и утицај људског фактора или уопште нису разматрани, или су разматрани на неком основном нивоу, што се може сматрати озбиљним недостатком из више разлога. У фокусу ових радова је углавном балансирање између успеха мисије и очувања система, а одлуку о прекиду мисије доноси систем. Ипак, човек је тај који у улози дизајнера система дефинише прагове и одређује начин прекида мисије. Исто тако, човек у улози оператера у оваквим системима, може да промени одлуку система о прекиду мисије и да настави са њеним обављањем, уколико процени да би последице ипак биле прихватљиве. Са друге стране, човек може да детектује деградације система, које сензор није у стању да региструје. Управо због свега наведеног, игнорисање утицаја људског

фактора ограничава применљивост резултата у наведеним истраживањима на стварне системе, јер у пракси, ризик од неуспеха или катастрофе не зависи само од стања система, већ и од ситуације у којој се систем налази, а коју може да перцепира само човек. Слично је и са комуникационим системом, који је такође потпуно занемарен у овим истраживањима, у оквиру којег се углавном сматра да су подаци одмах доступни, иако параметри попут кашњења и губитка пакета, могу утицати на тачност информације о стању система. Дакле, може се закључити да се неукључивањем људског фактора и комуникационог система у анализу, занемарују реални оперативни услови система.

Када су у питању цитирани научни радови који се баве перформансама комуникације преко сателитског линка (Bisu 2018, Grec 2024, Heine 2023, Iskandar 2022, Soi 2019), фокус њиховог истраживања је искључиво на структуралним компонентама кашњења унутар система, али не и на метеоролошким условима. Наведена истраживања се баве анализом укупног кашњења са краја на крај у системима чија се комуникација заснива на сателитском линку. Том приликом су разматрани *LEO* и *GEO* сателити, који раде у различитим радним опсезима. Међутим, ни у једном од радова није разматран утицај метеоролошких услова на комуникацију преко сателитског линка. Имајући у виду какав утицај метеоролошки услови могу имати на комуникацију преко сателитског линка, њихово изостављање из анализе сервиса са краја на крај система се може сматрати озбиљним недостатком.

Анализом прикупљене и цитиране литературе која је обухватила 15 хардверских платформи и 22 лабораторије за потребе истраживања, развоја и едукације у области *IoT HCP* система, кандидат је показао да не постоји решење које подржава емулацију сателитског линка. Када је реч о апликацијама за конфигурацију параметара неког комуникационог система које су представљене у наведеној литератури, кандидат је дошао до закључка да не постоји софтверско решење које има подршку за све мрежне параметре комуникационог блока као што су пропусни опсег, кашњење, варијације у кашњењу, губитак пакета, непредвидиви прекиди, *PER*, *MTU* и *GRE*.

На основу анализираних референци, оригинални научни резултати до којих је кандидат дошао у дисертацији су стављени у одговарајући научни контекст.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У оквиру израде докторске дисертације примењене су различите научне методе које се могу класификовати на:

1. теоријске методе (анализа, апстракција, дедукција, синтеза)
2. емпиријске методе (посматрање, мерење, анализа података)
3. методе дизајна и изградње,
4. методе симулације и емулације,
5. методе валидације и верификације,
6. методе евалуације и анкетирања

Њихова примена је била усклађена са предметом и циљевима истраживања, као и са карактером предложеног модела и доприноса. Истраживање је спроведено у интердисциплинарном контексту који обухвата, информационе системе и технологије, телекомуникације, *IoT HCP* системе, едукацију, статистичку анализу и др.

У наставку се даје преглед примењених метода по поглављима дисертације:

- У првом делу дисертације (поглавља 1, 2 и 3) коришћене су аналитичке методе (анализа, систематизација, дедукција) и критичке методе којима су синтетизовани релевантни појмови, дефинисани основни технолошки и концептуални аспекти безбедносно-

критичних *IoT HSP* система, и идентификовани недостаци у постојећим научним решењима, која су приказана у прикупљеној литератури. На тај начин је постављена основа за формулисање проблема, циљева и хипотеза докторске дисертације.

- У четвртом поглављу коришћене су методе анализе, апстракције, специјализације и дедукције у формулисању теоријских оквира и структуре модела, а затим и метода моделовања за изградњу новог концептуалног модела едукационе платформе за испитивање утицаја сателитског линка на успешност мисије безбедносно-критичних *IoT HSP* система. Осим модела, приказан је и метамодел. У истом поглављу, методом анализе, а затим и синтезе различитих параметара, у виду псеудо функције, предложена је метрика „успешност мисије“ безбедносно-критичних *IoT HSP* система за процену његових перформанси. Конкретне вредности поменутих параметара се добијају применом емпиријских метода. Имајући у виду да је модел усмерен на специфичан подскуп система као што су безбедносно-критични *IoT HSP* системи са сателитском комуникацијом, може се закључити да је у овом поглављу примењена и метода специјализације.
- У петом поглављу, у којем је приказана студија случаја на реалном безбедносно-критичном *IoT HSP* систему за надзор обале у Гвинејском заливу, методом конкретизације претходно дефинисани теоријски модел добија своју примену у пракси. У истом поглављу је на основу емпиријске анализе реалног сателитског линка, и статистичке анализе, извршено моделовање понашања сервиса са краја на крај безбедносно-критичног система имплементираног у Гвинејском заливу.
- У шестом поглављу су коришћене методе симулације којима је реалан систем симулиран у лабораторијским условима. Инжењерском методом дизајна и пројектовања имплементирана је хардверска платформа за емуляцију комуникационих линкова у оквиру које је развијен и софтверски алат за конфигурацију мрежних параметара. Применом емпиријских метода, кроз анализу и прикупљање података, одређене су конкретне вредности кључних параметара реалног система које су потом примењене на симулационо окружење. Методом верификације кроз поређење времена преноса радарских детекцијских фајлова у симулираном и реалном систему у продукцији, показан је висок степен подударности између два окружења.
- У седмом поглављу коришћене су методе инжењерског дизајна и изградње, за имплементацију једног лабораторијског окружења, у којем је организована обука и евалуација оператера, и другог лабораторијског окружења у оквиру којег је организована обука за студенте у оквиру стручне професионалне праксе. Такође, у истом поглављу методом валидације, кроз експерименталне резултате, је потврђена применљивост предложеног концептуалног модела у безбедносно-критичним *IoT HSP* системима. У оквиру овог поглавља су примењене методе анкетирања и евалуације коришћене за анализу образовних ефеката у датом лабораторијском окружењу, као и за мерење степена разумевања и примене стечених знања од стране студената и оператера.
- У осмом поглављу на основу аналитичко-синтетичке методе, кроз идентификацију елемената који нису обухваћени моделом предложеним у докторској дисертацији, дефинисани су правци будућег истраживања.
- У деветом поглављу дати су закључци и научни доприноси дисертације

Резултати истраживања су презентовани текстуално (описивањем) и графички (приказивањем путем табела, слика и графикана).

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 едукационе платформе за испитивање утицаја сателитског линка на успешност мисије безбедносно-критичних *IoT HCP* система може се применити у образовним и научним институцијама, надлежним локалним и иностраним министарствима, као и у индустрији.

Институције које га могу користити су:

- Министарство унутрашњих послова
- Министарство одбране
- Факултети и друге образовне установе
- Научни институти

Оваква широка применљивост модела потврђује његову практичну вредност и интердисциплинарни потенцијал, чиме се обезбеђује директна корист како академској заједници, тако и институцијама од стратешког значаја за безбедност и развој.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Своје научно-истраживачко усавршавање Ранко Петровић је започео 2014. године запослењем у Истраживачко-развојном институту „Влатаком“, у оквиру којег је и данас професионално ангажован. Као резултат рада у истраживачко-развојном сектору Института, објављена су бројна техничка решења на којима је био аутор или коаутор, од којих се посебно истичу она која су примењена на међународном нивоу (категиорија M81). Године 2016. уписује докторске академске студије на Факултету организационих наука Универзитета у Београду, током којих је објавио више научних радова.

Током израде докторске дисертације, Ранко Петровић је показао способност да проблем истраживања сагледа из више перспектива и да му приступи на креативан и аналитички начин. Уочио је кључне недостатке постојећих решења и спровео истраживања усмерена ка њиховом превазилажењу.

Ранко Петровић је резултате истраживања из ове докторске дисертације објавио у пет радова, и то у зборницима радова научних скупова и у научним часописима међународног значаја. Од наведеног два рада су објављена у часописима међународног значаја:

1. **R. Petrović**, D. Simić, Z. Čiča, D. Drajić, M. Nerandžić, D. Nikolić, “IoT OTH maritime surveillance service over satellite network in equatorial environment: Analysis, design and deployment,” *Electronics*, vol. 10, no. 17, Aug. 2021, doi: 10.3390/electronics10172070, IF (2021): 2.690, **(M22)**
2. **R. Petrović**, D. Simić, D. Drajić, Z. Čiča, D. Nikolić, and M. Perić, “Designing laboratory for IoT communication infrastructure environment for remote maritime surveillance in equatorial areas based on the Gulf of Guinea field experiences,” *Sensors*, vol. 20, no. 5, Feb. 2020, doi: 10.3390/s20051349, IF (2020): 3.576, **(M21)**

На основу наведеног, сматрамо да кандидат Ранко Петровић 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, односно развоја модела едукационе платформе за испитивање утицаја сателитског линка на успешност мисије

безбедносно-критичних *IoT HCP* система, остварено је више научних доприноса који се могу класификовати на теоријско-методолошке, апликативне и друштвене доприносе. Стручни доприноси су посебно издвојени.

Најзначајнији допринос овог рада се огледа у изградњи новог модела едукационе платформе за испитивање утицаја сателитског линка на успешност мисије безбедносно-критичних *IoT HCP* система. Овај концептуални модел је развијен са циљем да кроз идентификацију кључних параметара који утичу на метрику M омогући анализу услова под којим се може постићи повећање успешности обављања мисије неког система. Главни циљ је да се, на основу предложеног модела, повећа успешност обављања мисије кроз унапређење инжењерског и корисничког искуства дизајнера, администратора и оператера у лабораторијском окружењу, а затим и његовом применом на реалном систему. Том приликом су разматрана три нивоа апстракције: метамодел, модел и практична инстанца. Модел се састоји од три главна ентитета која су међусобно повезана: инжењерско-пројектантског окружења у оквиру којег се налази реалан систем, блока за параметризацију и лабораторијско-теоријског окружења у оквиру којег се налази симулирани систем. Иако је у фокусу комуникациони систем и скуп параметара T_{TEL} , нови модел едукационе платформе узима у обзир и параметре сензора S , параметре блока за обраду података P , као и параметар степен обучености и искуство E , којим се у обзир узима и утицај људског фактора на систем. Посебно се издваја параметар W , који се односи на променљиве временске услове, а који није обухваћен ниједним постојећим моделом из анализиране доступне литературе.

Од осталих научних доприноса докторске дисертације могу се издвојити:

1. Теоријско-методолошки доприноси:

1. Прикупљање, систематизација, свеобухватна анализа и критички преглед литературе и постојећих решења у циљу идентификације недостатака и проблема када су у питању модели комуникационог блока, симулатори и емулятори комуникационог блока, *IoT HCP* едукационе платформе, лабораторије и њихови модели.
2. Предложен је нов приступ у дефинисању метрике „успешност мисије“ безбедносно-критичних *IoT HCP* система, и то у облику псеудо функције која обухвата параметре телекомуникационог система, блока за обраду података, квалитет сирових података на извору, као и степен обучености и искуства оператера који раде у оквиру система.
3. Предложен је модел процеса који приказује логички редослед операција и интеракција између компонената представљеног концептуалног модела.
4. Математичким моделом је описано понашање сервиса безбедносно-критичног *IoT HCP* система имплементираних у Гвинејском заливу у различитим временским условима. Добијени модел сервиса се може сматрати референтним и може се користити приликом имплементације сличних решења за надзор обале и у другим екваторијалним регионима у којима су метеоролошки услови слични условима у Гвинејском заливу.
5. Предложена је нова методологија избора и обуке оператера у лабораторијским условима за рад на једном реалном безбедносно-критичном *IoT HCP* систему, а која доводи до повећања успешности обављања мисије тог система, што је потврђено како експерименталним резултатима тако и резултатима упитника који су попуњавали оператери на крају обуке.

2. Апликативни допринос:

1. Валидација предложеног модела кроз практичну реализацију и експерименталне резултате. Примена предложеног модела на студију случаја омогућила је потврду његове применљивости у конкретним условима. У оквиру докторске дисертације

спроведена је студија случаја на реалном безбедносно-критичном *IoT HCP* систему за надзор обале у Гвинејском заливу и на основу предложеног модела је изграђено лабораторијско окружење у оквиру којег је симулиран реалан систем. Кроз три различита сценарија обуке на симулираном систему, дошло је до повећања степена обучености и искуства дизајнера и оператера система. Примена тог стеченог знања и искуства на реалном систему омогућила је повећање успешности обављања мисије реалног система, што је и био крајњи циљ.

3. Друштвени допринос:

1. Унапређење образовног процеса у области комплексних *IoT HCP* система чија се комуникација заснива на сателитском линку, кроз развој лабораторијског окружења за симулацију специфичних сценарија. Ово лабораторијско окружење омогућава студентима стицање практичних вештина и знања која нису доступна у стандардним наставним програмима, што су они и потврдили попуњавањем упитника на крају праксе. Подизањем нивоа и квалитета практичног знања учесника праксе потврђена је едукативна вредност развијеног окружења. Развијено окружење може да послужи и као референтни модел једноставне имплементације уз минималне трошкове, који се може применити и у другим високообразовним институцијама за потребе едукације студената на овако специфичним комплексним системима.

4. Стручни допринос:

1. Развој нове апликације за конфигурацију мрежних параметара комуникационог линка за потребе његове емулације. Апликација може бити имплементирана на рачунару или на било којем физичком рачунарском модулу који има један или више Ethernet RJ45 портова.
2. Имплементација хардверске платформе за емулацију комуникационог линка као део лабораторије за потребе истраживања и развоја *IoT HCP* система. У основи лабораторије, која је представљена у овој докторској дисертацији, налази се хардверска платформа која се састоји од два физичка рачунарска модула чија је улога у емулацији различитих комуникационих система. Нова апликација за конфигурацију мрежних параметара је имплементирана на оба поменута модула, тако да се подешавањем мрежних параметара може утицати на комуникацију у оба смера. Сваки од модула садржи по два Ethernet RJ45 порта, при чему је један искоришћен за директну везу са другом плочом, док се други повезује са свичем на који се такође повезују различити стандардни и нестандартни сензори, сервери, радне станице и други уређаји. Верификација платформе за емулацију комуникационог линка је извршена поређењем времена преноса идентичних радарских детекцијских фајлова у симулираном и реалном систему у продукцији. Представљена хардверска платформа има могућност емулације било каквог комуникационог система чија се комуникација заснива на Интернет Протоколу и може се користити за потребе истраживања, развоја и имплементације различитих уређаја, сервиса и апликација, у ситуацијама када је потребно испитати утицај комуникационог система.

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

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Увидом у дисертацију, полазне хипотезе и циљеве истраживања, остварене резултате, као и научне и стручне доприносе, Комисија констатује да је кандидат успешно анализирао и систематизовао постојећа научна сазнања на основу обимне литературе, те да је успешно

реализовао комплексно истраживање усмерено на развој модела едукационе платформе за испитивање утицаја сателитског линка на успешност мисије безбедносно-критичних *IoT HCP* система. Остварени резултати истраживања оправдавају почетна истраживачка питања и у потпуности испуњавају захтеве постављене пред докторску дисертацију. Поред научног доприноса, дисертација садржи резултате од значаја 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 аргументовано потврђени, чиме је остварен значајан допринос корпусу знања релевантном за научну и стручну заједницу у овој области.

4.3. Верификација научних доприноса

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

Рад објављен у водећем међународном часопису категорије **M21**:

1. **R. Petrović**, D. Simić, D. Drajić, Z. Čiča, D. Nikolić, and M. Perić, “Designing laboratory for IoT communication infrastructure environment for remote maritime surveillance in equatorial areas based on the Gulf of Guinea field experiences,” *Sensors*, vol. 20, no. 5, Feb. 2020, doi: 10.3390/s20051349, IF (2020): 3.576, (**M21**)

Рад објављен у међународном часопису категорије **M22**:

2. **R. Petrović**, D. Simić, Z. Čiča, D. Drajić, M. Nerandžić, D. Nikolić, “IoT OTH maritime surveillance service over satellite network in equatorial environment: Analysis, design and deployment,” *Electronics*, vol. 10, no. 17, Aug. 2021, doi: 10.3390/electronics10172070, IF (2021): 2.690, (**M22**)

Радови објављени у зборницима међународних скупова (**M33**) из теме дисертације:

3. **R. Petrović**, D. Simić, S. Stanković, M. Perić, “Educational Platform for Examining the Influence of the Simulated Satellite Link on Overall Communication inside of Different IoT Systems,” *Proceedings of the 16th International Conference on Advanced Technologies, Systems and Services in Telecommunications (TELSIKS)*, 25-27 Oct. 2023, Nis, Serbia, doi: 10.1109/TELSIKS57806.2023.10316056
4. **R. Petrović**, D. Simić, S. Stanković, and M. Perić, “Man-in-the-middle attack based on ARP spoofing in IoT educational platform,” *Proceedings of the 15th International Conference on Advanced Technologies, Systems and Services in Telecommunications (TELSIKS)*, pp. 307-310, 20-22 Oct. 2021, Nis Serbia, doi: 10.1109/TELSIKS52058.2021.9606392
5. **R. Petrović**, D. Simić, and M. Perić, “IoT laboratory for supporting different types of secure communications with sensors, with the special emphasis on satellite link,” *Proceedings of the 17th International Symposium on Business and Artificial Intelligence, Symorg*, pp. 183–192, 7-9 Sep. 2020, Belgrade, Serbia.

Остале научне и стручне публикације кандидата:

Радови објављени у водећим међународним часописима категорије **M21**:

- N. Ilić, M. Vučetić, A. Makarov, **R. Petrović**, and M. Punt, “Adaptive asynchronous gossip algorithms for consensus in heterogeneous sensor networks,” *IEEE Internet of Things Journal*, Apr. 2025, doi: 10.1109/IIOT.2025.3559242
- N. Ilić, D. Dašić, M. Vučetić, A. Makarov, and **R. Petrović**, “Distributed web hacking by adaptive consensus-based reinforcement learning,” *Artificial Intelligence*, vol. 326, 104032, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.artint.2023.104032

Радови објављени у водећим националним часописима категорије **M51**:

- M. Pavlović, B. Stojanović, **R. Petrović**, S. Puzović, and S. Stanković, "Optimal hog cell to image ratio for robust multi-sensor face recognition systems," *Serbian Journal of Electrical Engineering*, vol. 16, no. 3, pp. 387–403, 2019, doi: 10.2298/SJEE1903387P
- **R. Petrović** and I. Reljin, "Uloga forenzike u otkrivanju zloupotrebe digitalne slike," *Crimen - casopis za krivicne nauke*, vol. 8, no. 1, pp. 22–43, 2017

Радови објављени у националним часописима категорије **M52**:

- N. Latinović, T. Vuković, **R. Petrović**, M. Pavlović, M. Kadijević, I. Popadić, M. Veinović, "Implementation challenge and analysis of thermal image degradation on R-CNN face detection," *Telfor Journal*, vol. 12, no. 2, pp. 98–103, 2020, doi: 10.5937/telfor2002098l
- **R. Petrović**, M. Pavlović, B. Stojanović, and S. Puzović, "Prepoznavanje emocija sa slika lica primenom multisenzorskih sistema," *Info M*, vol. 19, no. 70, pp. 38–45, 2019
- **R. Petrović**, "Uloga digitalne forenzike u detekciji copy-move napada na sliku," *Info M*, vol. 16, no. 61, pp. 40–49, 2017

Зборници међународних научних скупова категорије **M33**:

- Ž. Lončarević, S. Stanković, **R. Petrović**, "A Comprehensive Analysis of Vendor-Neutral Network Management Strategies," *Proceedings of the 32nd Telecommunications Forum (TELFOR)*, 26-27 Nov. 2024, Belgrade, Serbia, doi: 10.1109/TELFOR63250.2024.10819040
- S. Stanković, Z. Čiča, D. Drajić, **R. Petrović**, M. Perić, "Implementation of GRE Tunelling on low cost SoM," *Proceedings of the 30th Telecommunications Forum (TELFOR)*, 15-16 Nov. 2022, Belgrade, Serbia, doi: 10.1109/TELFOR56187.2022.9983761
- S. Stanković, S. Gajin, and **R. Petrović**, "A Review of Wazuh Tool Capabilities for Detecting Attacks Based on Log Analysis", *Proceedings of the 9th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcETRAN*, 6-9 Jun. 2022, Novi Pazar, Serbia.
- S. Puzović, **R. Petrović**, M. Pavlović, and S. Stanković, "Enhancement algorithms for low-light and low-contrast images," *Proceedings of the 19th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH)*, pp. 1–6, 18-20 Mar. 2020, Jahorina, doi: 10.1109/INFOTEH48170.2020.9066316.
- T. Vuković, **R. Petrović**, M. Pavlović, and S. Stanković, "Thermal image degradation influence on R-CNN face detection performance," *Proceedings of the 27th Telecommunications Forum (TELFOR)*, pp. 1–4, 26-27 Nov. 2019, Belgrade, Serbia, doi: 10.1109/TELFOR48224.2019.8971128.
- **R. Petrović**, B. Stojanović, M. Pavlović, S. Puzović, and S. Stanković, "Thermal imagery noise influence on face recognition performance," *Proceedings of the 18th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH)*, pp. 1–5, 20-22 Mar. 2019, doi: 10.1109/INFOTEH.2019.8717662.
- M. Pavlović, B. Stojanović, **R. Petrović**, and S. Stanković, "Fusion of visual and thermal imagery for illumination invariant face recognition system," *Proceedings of the 14th Symposium on Neural Networks and Applications (NEUREL)*, pp. 1–5, 20-21 Nov. 2018, Belgrade, Serbia, doi: 10.1109/NEUREL.2018.8586985.
- B. Stojanović, S. Puzović, N. Vlahović, **R. Petrović**, and S. Stanković, "Real-time multi-sensor infrared imagery enhancement," *Proceedings of the 14th Symposium on*

Neural Networks and Applications (NEUREL), pp. 1–6, 20–21 Nov. 2018, Belgrade, Serbia, doi: 10.1109/NEUREL.2018.8587023.

- K. Knezević, E. Mandić, **R. Petrović**, and B. Stojanović, “Blur and motion blur influence on face recognition performance,” Proceedings of the 14th Symposium on Neural Networks and Applications (NEUREL), pp. 1–5, 20–21 Nov. 2018, Belgrade, Serbia, doi: 10.1109/NEUREL.2018.8587028.
- M. Nerandžić, S. Trifunović, **R. Petrović**, B. Stojanović, and M. Perić, “Educational platform for VoIP communication legal eavesdropping,” Proceedings of the 5th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering, IcETRAN, pp. 1190–1194, 11–14 Jun. 2018, Palic, Serbia.
- **R. Petrović**, B. Stojanović, M. Pavlović, and S. Stanković, “Thermal-to-Visible Face Recognition for Illumination Invariant Systems,” Proceedings of the 5th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering, IcETRAN, pp. 766–771, 11–14 Jun. 2018, Palic, Serbia.
- M. Pavlović, **R. Petrović**, B. Stojanović, and S. Stanković, “Facial expression and lighting conditions influence on face recognition performance,” Proceedings of the 5th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering, IcETRAN, pp. 777–781, 11–14 Jun. 2018, Palic, Serbia.
- A. Valjarević, H. Venter, and **R. Petrović**, “ISO/IEC 27043:2015 — Role and application,” Proceedings of the 24th Telecommunications Forum (TELFOR), pp. 1–4, 22–23 Nov. 2016, Belgrade, Serbia, doi: 10.1109/TELFOR.2016.7818718.

Објављена нова техничка решења примењена на међународном нивоу, категорија **M81**:

- A. Makarov, M. Vučetić, N. Ilić, **R. Petrović**, B. Božilović, D. Ćiprovski, D. Dašić, “Softversko rešenje za samokalibraciju kamera zasnovano na veštačkoj inteligenciji i primenjeno u heterogenim mrežama fiksnih i mobilnih nodova”, tehničko rešenje, 2025.
- Z. Popović, M. Đoković, M. Obradović, **R. Petrović**, U. Lero, O. Joksimović, M. Dimitrijević, “Integrisano rešenje za proizvodnju i izdavanje ličnih dokumenata – eID”, tehničko rešenje, 2023.
- D. Grujić, B. Popović, A. Makarov, **R. Petrović**, D. Damjanov, M. Anucojić, A. Živković, “Sistem za praćenje boravka izbeglica u kampu”, tehničko rešenje, 2023.
- A. Makarov, M. Vučetić, M. Pavlović, D. Dašić, **R. Petrović**, B. Božilović, “Sistem za proveru verodostojnosti identifikacije vozila u saobraćaju”, tehničko rešenje, 2023.
- M. Perić, P. Milićević, N. Latinović, **R. Petrović**, Z. Banjac, “Laboratorijsko okruženje za proveru performansi multigigabitskih rešenja za zaštitu saobraćaja”, tehničko rešenje, 2018.
- M. Vučetić, D. Damjanov, B. Božilović, Z. Popović, **R. Petrović**, “Sistem za monitoring aktivnosti u računarskoj mreži zasnovanoj na digitalnim sertifikatima i RADIUS serveru”, tehničko rešenje, 2018.

Објављена техничка решења у фази реализације, категорија **M85**:

- **R. Petrović**, M. Perić, B. Božilović, Z. Popović, M. Vučetić, “Simulator interkontinentalnog i satelitskog prenosa IP komunikacije”, tehničko rešenje, 2018.
- L. Josipović, M. Perić, M. Vučetić, Z. Popović, **R. Petrović**, N. Tošić, “Primena Google Earth Pro aplikacije za vizuelizaciju FOV-a”, tehničko rešenje, 2018.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледа докторске дисертације под називом „Модел едукационе платформе за испитивање утицаја сателитског линка на успешност мисије безбедносно-критичних *IoT HSP* система“, кандидата Ранка Петровића, 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 два научна рада у часописима од међународног значаја са *SCIe* листе са импакт фактором, као и три рада објављеним на међународним конференцијама.

У Београду, 23. 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 Душан Бараћ, редовни професор,
Универзитет у Београду, Факултет организационих наука

др Огњен Пантелић, редовни професор,
Универзитет у Београду, Факултет организационих наука

др Драгана Перић, виши научни сарадник,
Vlatacom Институт високих технологија, Београд