

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Милоша Павловића, мастер инжењера електротехнике и рачунарства

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета Универзитета у Београду бр. 920-25 од 14.05.2024. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Милоша Павловића под насловом

### **Праћење покретних објеката у секвенци краткоталасних инфрацрвених слика корелационим методама и техникама робусне Калманове филтрације**

После прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала и разговора са кандидатом, Комисија је сачинила следећи

## РЕФЕРАТ

### 1. УВОД

#### 1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Милош Павловић је школске 2019/2020. године уписао докторске академске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, на модулу Управљање системима и обрада сигнала. Положио је све испите са оценом 10,00 и испунио је све обавезе везане за студијски истраживачки рад предвиђене планом и програмом докторских студија на изабраном модулу.

Кандидат је 29.12.2022. године пријавио тему за израду докторске дисертације под називом *“Праћење покретних објеката у секвенци краткоталасних инфрацрвених слика корелационим методама и техникама робусне Калманове филтрације”*.

Комисија за студије трећег степена је на својој седници одржаној 10.01.2023. године разматрала предлог теме за израду докторске дисертације и упутила Наставно–научном већу предлог за именовање Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације.

Наставно-научно веће Електротехничког факултета у Београду је 25.01.2023. године, на својој именовало Комисију за оцену научне заснованости теме докторске дисертације у следећем саставу:

1. др Александра Крстић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
2. др Зоран Баџац, виши научни сарадник, *Vlatacom* институт
3. др Јелена Ђертић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
4. др Илија Попадић, виши научни сарадник, *Vlatacom* институт

За ментора докторске дисертације је предложен др Бранко Ковачевић, професор емеритус, Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

Јавна усмена одбрана теме докторске дисертације одржана је 10.02.2023. године. Комисија за оцену научне заснованости теме докторске дисертације оценила је одбрану као успешну (оцена “задовољава”).

Комисија за студије трећег степена је на својој седници, одржаној 04.03.2023. године, разматрала записник Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације са јавне усмене одбране, који је упутила Наставно-научном већу Електротехничког факултета на усвајање.

Наставно-научно веће Електротехничког факултета је 14.03.2023. године, на својој 884. седници, донело одлуку о прихватању теме докторске дисертације и усвојило извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације. За ментора докторске дисертације је именован је др Бранко Ковачевић, професор емеритус Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Веће научних области техничких наука дало је сагласност на предложену тему докторске дисертације и именовање ментора на седници одржаној 10.04.2023. године (број одлуке: 61206-1273/2-23).

Кандидат је 12.04.2024. године предао докторску дисертацију на преглед и оцену.

Комисија за студије трећег степена потврдила је на својој седници, која је одржана 07.05.2024. године, испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације.

Наставно-научно веће Електротехничког факултета је на својој 897. седници, одржаној 14.05.2024. године, именovalo Комисију за преглед и оцену докторске дисертације (одлука број: 920-25 од 14.05.2024. године) у саставу:

1. др Жељко Ђуровић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
2. др Александра Крстић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
3. др Зоран Баџац, виши научни сарадник, *Vlatacom* институт
4. др Јелена Ђертић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
5. др Илија Попадић, виши научни сарадник, *Vlatacom* институт

## 1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација припада научној области Електротехника и рачунарство и ужој научној области Управљање системима и обрада сигнала за коју је матичан Електротехнички факултет Универзитета у Београду. Ментор дисертације је др Бранко Ковачевић, професор емеритус Електротехничког факултета Универзитета у Београду који има наставни и научни допринос у области теме докторске дисертације.

## 1.3. Биографски подаци о кандидату

Милош Павловић је рођен 23.06.1995. године у Зајечару. Завршио је основну школу “Бранко Радичевић” у Неготину, као носилац Вукове дипломе. Уписао је гимназију у Неготину, коју је завршио као носилац Вукове дипломе и ђак генерације. Електротехнички факултет уписао је 2014. године. Дипломирао је на одсеку за Сигнале и системе 2018. године са просечном оценом 9,33. Дипломски рад под називом “*Систем за идентификацију особа заснован на препознавању говора и лица*” под менторством проф. др Жељка Ђуровића одбранио је у августу 2018. године. Од стране Математичког института Српске академије наука и уметности добио је награду за најбољи студентски рад у области рачунарства. На 5. међународној конференцији *ICETAN* добио је 2018. године награду за најбољи рад младог истраживача. Након завршетка основних студија радио је стручну праксу на Електротехничком институту Универзитета у Дрездену у Немачкој, где се бавио управљачким алгоритмима система за напајање у електричним аутомобилима.

Дипломске академске – мастер студије на Електротехничком факултету у Београду, на модулу за Сигнале и системе, уписао је у октобру 2018. године, а завршио у септембру 2019. године са просечном оценом 9,83. Мастер рад под називом “*Видео праћење аутоматски детектованих објеката методама дубоког учења*”, под менторством доц. др Александре Марјановић одбранио је са оценом 10.

Докторске академске студије уписао је у октобру 2019. године на Електротехничком факултету у Београду на модулу Управљање системима и обрада сигнала. Област истраживања Милоша Павловића обухвата управљање системима, обраду сигнала, дигиталну обраду слике, компјутерску визију и вештачку интелигенцију. Аутор је и коаутор више од 20 радова објављених у домаћим и међународним научним часописима и на међународним конференцијама.

Од децембра 2018. године запослен је у Влатаком институту, Београд, на позицији систем инжењера. На овој позицији радио је на развоју и имплементацији алгоритама компјутерске визије у оквиру електро оптичких система. Био је ангажован и на пројекту Фонда за науку Републике Србије *AI-DECIDE*, где се бавио дистрибуираним мултиагентним системима.

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација под називом “Праћење покретних објеката у секвенци краткоталасних инфрацрвених слика корелационим методама и техникама робусне Калманове филтрације” написана је на српском језику, латиничним писмом. По својој форми и структури у потпуности одговара Упутству за обликовање докторске дисертације Универзитета у Београду. Укупан број страна куцаног текста дисертације је 142, са укупно 96 слика, 5 табела, и 201 референцом, које су наведене по редоследу цитирања у тексту дисертације. Текст дисертације је организован кроз следећа поглавља:

- Увод
- Краткоталасна инфрацрвена слика
- Праћење покретних објеката у секвенци слика
- Корелационе методе за праћење покретних објеката
- Робусна естимација стања стохастичких система
- Робусни систем за праћење покретних објеката у секвенци краткоталасних инфрацрвених слика
- Закључак
- Литература

Такође, дисертација садржи насловну страну на српском и енглеском језику, страну са информацијама о ментору и члановима комисије, страну са изјавом захвалности, резиме дисертације на српском и енглеском језику, садржај, листу скраћеница, списак коришћене литературе, биографију аутора, изјаву о ауторству, изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторске дисертације и изјаву о коришћењу.

## 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводном поглављу приказана је област дисертације и дефинисани су предмет, циљ и значај истраживања. Такође, део поглавља пружа увид у структуру и садржај остатка дисертације.

У другом поглављу је анализирана природа сензора који раде у краткоталасном инфрацрвеном опсегу (енг. *Short Wave Infra Red - SWIR*). Извршена је карактеризација слике са *SWIR* камере и анализирани су особине *SWIR* камера у разматраним и захтевним условима средине. Експерименталним тестовима у истим условима сцене извршена је компаративна анализа слика са *SWIR*, термалне и камере која ради у видљивом опсегу. Потврђена је ефикасност *SWIR* камера у карактеристичним условима сцене, а затим је приказан детаљни развој алгоритама компјутерске визије за детекцију и праћење објеката на *SWIR* слици. Анализом јавно доступних скупова секвенци за развој и евалуацију алгоритама за праћење, утврђено је да не постоји јавно доступан скуп репрезентативних секвенци које су снимљене *SWIR* камерама. У последњем сегменту другог поглавља је предложена нов репрезентативни скуп *SWIR* видео секвенци за развој и тестирање метода за праћење покретних објеката у *SWIR* опсегу.

Треће поглавље дефинише проблем праћења покретних објеката у секвенци слика. Приказане су основне компоненте алгоритама за праћење, а затим детаљно анализирани изазови који се јављају у праћењу покретних објеката у секвенци слика. Потом су разматране методе иницијализације праћења објеката и предложене две нове методе за аутоматску иницијализацију праћења. Прва се заснива на детекцији покрета у секвенци слика, док се друга ослања на моделе дубоког учења за детекцију објеката дефинисане класе. За обучавање модела дубоког учења за детекцију објеката на *SWIR* слици, у овом поглављу се предлаже нови аутоматизовани метод крос-спектралне анотације скупова *SWIR* слика. На крају, дат је детаљни приказ развоја алгоритама за праћење покретних објеката у секвенци слика.

Четврто поглавље се бави корелационим методама за праћење покретних објеката. Приказан је развој од фундаменталних до савремених корелационих филтара, који се користе у алгоритмима за праћење покретних објеката. Затим је извршена анализа техника адаптације корелационих филтара које имају за циљ превазилажење изазова у видео праћењу, који су описани у трећем поглављу. Анализа је обухватила следеће аспекте: естимацију величине објекта, детекцију оклузија, регуларизацију и ажурирање корелационих филтара, превазилажење оклузија и фузију предиктора са корелационим филтрима. Затим је дат предлог новог система за праћење покретних објеката који се заснива на контекстно

регуларизованом корелационом филтру и Калмановом филтру. За тако дизајниран комбиновани систем праћења извршена је статистичка анализа резултата рада и установљени су основни узроци грешака, посебно у естимацији позиције објекта. Као посебно изазован тип грешака издвојене су обсервације веома великог интензитета, третиране и означене као аутлајери или лоши мерни подаци (енг. *bad data* или *outlier*).

Пето поглавље је посвећено теорији робусне естимација стања стохастичких система. Најпре је приказан стандардни Калманов филтар, као линеарни оптимални естиматор стања система у смислу минималне варијансе грешке естимације, а затим су разматране особине и ограничења стандардног Калмановог филтра. Други сегмент овог поглавља је посвећен техникама робусне естимације стања динамичких система. Полазећи од методе динамичке стохастичке апроксимације, изложене у трећем сегменту овог поглавља, у четвртном сегменту поглавља је предложен нов статистички линеаризован М-робусни тип Калмановог филтра и теоријски је изведен оптимални коефицијент статистичке линеаризације Хуберове М-робусне нелинеарне функције утицаја типа засићења. Такође, дат је приказ различитих робусних функција утицаја, које се могу применити у робустификацији Калмановог филтра. У последњем сегменту поглавља приказан је М-робусни Калманов филтар са адаптивним естимацијама статистика шумава стања и мерења, паралелно са М-робусном естимацијом стања система.

У шестом поглављу је предложен робусни систем за праћење покретних објеката инкорпорирањем М-робусног естиматора, развијеног у петом поглављу, у оригинални систем за праћење, који је заснован на корелационом филтру, из четвртог поглавља. Затим је дат приказ експерименталних резултата. Након описа поступка иницијализације система, анализирани су резултати праћења коришћењем стандардног Калмановог филтра. У другом сегменту овог поглавља, потврђена је ефикасност М-робусног Калмановог филтра на симулираним подацима. Након тога су на скупу *SWIR* видео секвенци анализирани перформансе праћења целокупног система који је заснован на робусном Калмановом филтру, а потом је разматрана примена различитих функција утицаја у робусном Калмановом филтру. У наредном сегменту је предложен нови метод за адаптивно подешавање параметра Хуберове функције утицаја на основу информација из корелационог одзива. Даље су приказане и перформансе праћења робусног система у коме се адаптивно ажурирају статистике шума мерења у робусном Калмановом филтру, са адаптивним подешавањем параметара Хуберове функције утицаја. На крају је извршена компаративна анализа предложеног адаптивно-робусног система за праћење и познатих ефикасних алгоритама за праћење покретних објеката из референтне литературе.

Седмо поглавље представља закључак дисертације где су сумирани главни доприноси истраживања, али и предложени правци даљег истраживања у области од интереса дисертације.

### **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

#### **3.1. Савременост и оригиналност**

Праћење покретних објеката у секвенци слика представља процес естимације трајекторије кретања објеката и сматра се једним од фундаменталних проблема у компјутерској визији. Способност да се прецизно прате објекти у динамичким и непредвидивим окружењима представља основу за развој интелигентних система, који могу интераговати са својим окружењем на ефикасан начин. Примарни циљеви развоја система за праћење у дисертацији јесу остваривање високе прецизности праћења у различитим околностима на сцени, уз

могућност дуготрајног праћења, као и постизање брзине процесирања довољне за рад у реалном времену.

За снимање сцене, у дисертацији се разматра камера која ради у краткоталасном инфрацрвеном опсегу. Особине ове камере комплементарне су камерама које раде у видљивом опсегу и термалним камерама у специфичним условима средине попут присуства дима, измаглице, магле, испарења или јаке кише. У овим условима камере које раде у другим спектралним опсезима имају тенденцију да генеришу слике лимитиране у детаљима и информативним обележјима, те на тај начин директно утичу на перформансе целокупног система за праћење објеката. Стога, уочава се важност истраживања примене краткоталасних инфрацрвених камера у системима за надзор и праћење покретних објеката, како би се употпуниле могућности рада у свим условима средине. За потребе истраживања, креиран је потпуно нов оригинални скуп секвенци краткоталасних инфрацрвених слика за праћење једног покретног објекта, обзиром да у јавно доступним скуповима секвенци намењених за развој и евалуацију недостају секвенце снимљене у краткоталасном инфрацрвеном опсегу.

У фокусу дисертације су методе за праћење засноване на корелационим филтрима, првенствено због својих добрих перформанси у регуларним условима сцене, као и њихове рачунске ефикасности зарад могућности рада у реалном времену. Оригиналноста дисертације се огледа у дизајну система за праћење покретних објеката, који обухвата следеће подсистеме: Калманов филтар као естиматор стања објекта, модул за детекцију оклузија и нерегуларности у праћењу објекта, модул за превазилажење оклузија и поновну идентификацију објекта, модул за естимацију величине објекта и модул за адаптивно ажурирање контекстно регуларизованог корелационог филтра. Предложени систем обезбеђује перформансе праћења које су значајно боље од класичних система за праћење, базираних само на корелационим филтрима. Поред самог дизајна система, у дисертацији је извршена статистичка анализа понашања система у различитим сценаријима праћења. Посебно у случају оклузија, означених као највећи изазов у праћењу, уочено је да се услед недоступности релевантних информација о објекту, док је под оклузијом, може генерисати корелациони одзив чија позиција пика, која указује на детектовану позицију објекта, значајно одступа од стварне позиције објекта. Природа појаве таквих грешака у детекцији позиције објекта је непредвидива (случајна), при чему је интензитет грешака веома велики, тако да се у статистичком смислу могу третирати као лоши подаци или „аутлајери“ који у потпуности могу деградирати систем за праћење.

За елиминисање утицаја аутлајера, у дисертацији је предложена нова класа статистички линеаризованих М-робустификованих адаптивних техника Калманове филтрације. Представљено је комплетно теоријско извођење естиматора који има предиктор-коректор структуру, при чему је корак предикције пројектован у складу са оптималним Калмановим филтром, док је рекурзивно ажурирање мерења (корак корекције) засновано на нелинеарној робусној процедури динамичке стохастичке апроксимације. Предложени процес нелинеарне оптимизације примењује технику статистичке линеаризације, како би се обезбедила субоптимална робусна верзија матрице Калмановог појачања, у смислу минималне тоталне варијансе грешке естимације, а такође су предложене фиксна и временски променљива апроксимација оптималног коефицијента статистичке линеаризације. Без повећања комплексности, у дисертацији је на оригиналан начин извршена адаптација робусног естиматора условима на сцени, интегрисући у процес адаптације информације из корелационог одзива. На овај начин је обезбеђена бржа адаптација робусног система за праћење у регуларним условима, али и приликом поновне детекције објекта за време његовог маневра током периода оклузија, када се грешке између предикције позиције објекта и позиције детекције могу третирати као аутлајери, који се елиминишу робусном процедуром.

### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији је наведена 201 релевантна библиографска референца. Кандидат је проучио литературу из области карактеризације краткоталасне инфрацрвене слике, праћења покретних објеката, корелационих метода које се примењују у видео праћењу и теорије адаптивне робусне естимације стања стохастичких система. Кандидат је у докторској дисертацији изложио широк распон литературе, укључујући књиге и радове објављене у престижним међународним часописима и зборницима радова са референтних научних скупова, који обухватају од основних теоријских поставки до најновијих истраживања у свакој од проучаваних области. Прегледом дисертације и анализом коришћене литературе, може се уочити да су оригинални научни доприноси кандидата ефикасно уклопљени у постојећи научни контекст, показујући тако истинску дубину и ширину истраживачког рада кандидата. Списак литературе укључује и радове које је кандидат публикувао као аутор, а који су произашли из рада на дисертацији, чиме су верификовани доприноси докторске дисертације.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методологија истраживања у оквиру докторске дисертације обухватала је следеће фазе:

- Извршена је карактеризација краткоталасне инфрацрвене слике. Разматране су предности и ограничења рада краткоталасних инфрацрвених камера у различитим условима средине.
- Разматрани су јавно доступни скупови секвенци слика за праћење покретних објеката. На основу те анализе креиран је нов скуп секвенци краткоталасних инфрацрвених слика за потребе истраживања у оквиру дисертације.
- Детаљно је анализирана и систематизирана литература о алгоритмима за праћење једног покретног објекта у секвенци слика.
- Сагледани су главни изазови у праћењу покретних објеката у секвенци слика у општем случају, али и изазови специфични за секвенце краткоталасних инфрацрвених слика.
- Проучавана је литература у којој се за праћење покретних објеката користе корелациони филтри. Извршен је детаљан преглед развоја од фундаменталних до савремених корелационих филтара за праћење покретних објеката.
- Дизајниран је систем за праћење покретних објеката, заснован на корелационом и Калмановом филтру са различитим модулима за превазилажење главних изазова у праћењу покретних објеката.
- Извршена је детаљна статистичка анализа рада дизајнираног система и уочени су главни узроци и природа грешака које се јављају током праћења.
- У наредној фази истраживања, циљ је био креирање робусног естиматора стања стохастичких система за примену у дизајнираном систему за праћење. Извршена је теоријска анализа и изведена је техника робусне Калманове филтрације са побољшаном брзином конвергенције.
- Дизајниране су и имплементирани адаптивне робусне технике естимације стања стохастичких система.
- Извршено је инкорпорирање адаптивних робусних техника Калманове филтрације у дизајнирани систем за праћење заснован на корелационим филтрима.
- Спроведена је експериментална анализа дизајнираног адаптивног робусног система за праћење на креираном скупу секвенци краткоталасних инфрацрвених слика. На истом скупу је извршена и компаративна анализа предложеног решења са савременим методама за праћење покретних објеката у секвенци слика.

Примењена методологија задовољава стандарде научно-истраживачког рада и омогућава испуњење циљева дефинисаних на почетку израде докторске дисертације. Методологија у потпуности одговара решавању проблема праћења покретних објеката у секвенци слика.

### 3.4. Применљивост остварених резултата

Докторска дисертација кандидата Милоша Павловића на свеобухватан начин анализира креирање система за праћење покретних објеката у секвенци краткоталасних инфрацрвених слика, који има могућност рада у реалном времену.

Услед недостатка јавно доступних скупова секвенци краткоталасних инфрацрвених слика неопходних за развој алгоритама за праћење покретних објеката, у конкретном случају једног покретног објекта, значај дисертације се огледа у креирању потпуно новог скупа секвенци краткоталасних инфрацрвених слика. Додатно, у дисертацији је детаљно описан начин креирања секвенци и обухваћени су сви изазови који се јављају у видео праћењу покретних објекта. Стога је овај скуп погодан за детаљну статистичку анализу, али и унапређење перформанси различитих алгоритама за праћење, који се могу наћи у литератури и применити у системима за надзор.

Предложени систем за праћење корелационим филтрима са модулима за естимацију величине објекта, за детекцију и превазилажење оклузија, као и адаптивно ажурирање модела корелационог филтра, је могуће применити са различитим базичним корелационим филтрима. Предложена методологија робусне естимације, уз адаптацију статистика шума мерења и адаптацију параметара робусне функције утицаја је такође применљива са различитим типовима корелационих филтара, али и са методама за праћење које могу пружити информацију о нивоу поузданости приликом локализације објекта у видео секвенци. Чињеница да предложени робусни систем за праћење има могућност рада у реалном времену указује да систем има широку практичну примену, при чему се значајно могу унапредити перформансе праћења у изазовним сценаријима.

Из дисертације су произашле и две нове методе за иницијализацију праћења објеката. Прва метода се односи на посебно изазовну иницијализацију праћења објекта који је у покрету у тренутку иницијализације. Друга метода се бави иницијализацијом праћења објеката дефинисане класе. Обе методе се могу применити за иницијализацију различитих алгоритама за праћење. Како друга метода предлаже поступак за обучавање модела дубоког учења за детекцију објеката у краткоталасном инфрацрвеном опсегу приступом крос-спектралне анотације, ова метода се може применити и за обучавање модела за детекцију објеката у различитим спектралним опсезима и иницијализацију праћења.

### 3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат Милош Павловић је током израде докторске дисертације показао систематичност, способност препознавања актуелних и отворених питања у научној литератури, као и креативност у решавању истих, што је кључно за самостални научно-истраживачки рад. Кандидат је комбиновао аналитичко истраживање релевантне литературе са разумевањем и применом теоријских и практичних концепата. Радећи на проблему праћења покретних објеката у секвенци краткоталасних инфрацрвених слика, кандидат је спојио резултате из различитих научних области, као што су инфрацрвени сензори, корелациони филтри, теорија робусне естимације и оптимизација. Кандидат је најпре креирао нови скуп секвенци за развој и верификацију метода за праћење објеката у краткоталасном инфрацрвеном опсегу. Затим је предложио нов систем који комбинује у више аспеката унапређене корелационе филтре и робустификовани адаптивни Калманов филтар, чиме је постигнуто успешно праћење покретних објеката у изазовним условима сцене, са могућношћу рада у реалном времену.



Тиме је кандидат показао да добро влада знањем из свих наведених области, те да је способан да усвоји и примени мултидисциплинарни начин решавања проблема, како би превазишао савремене изазове у области од интереса. На основу објављених радова, али и из саме дисертације се може видети да је кандидат показао способност да остварене научне резултате прикаже на адекватан начин у области праћења покретних објеката.

Сходно изложеном, Комисија сматра да је кандидат достигао ниво способности неопходан за даљи самостални научно-истраживачки рад.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### **4.1. Приказ остварених научних доприноса**

У дисертацији су остварени следећи научни доприноси:

- Опсежан преглед и анализа релевантних подобласти укључујући карактеризацију краткоталасне инфрацрвене слике, корелационе филтре за праћење покретних објеката и технике естимације стања система.
- Креиран је нов репрезентативни скуп секвенци краткоталасних инфрацрвених слика за праћење једног покретног објекта у изазовним сценаријима. Скуп садржи и секвенце чија дужина омогућава и примену алгорита за дуготрајно праћење.
- Предложене су две нове методе за иницијализацију праћења објекта у секвенци краткораласних инфрацрвених слика, за објекат који је у тренутку иницијализације у покрету и за дефинисану класу објеката. Обе методе имају великог значаја у практичним применама.
- Дизајниран је нов систем за праћење, заснован на комбинацији контекстно регуларизованог корелационог филтра и Каламновог филтра.
- Изведена је нова статистички линеаризована М-робустификована техника Калманове филтрације. Две једноставне практичне верзије предложеног М-робустификованог естиматора стања су изведене апроксимацијом оптималног средње квадратног коефицијента статистичке линеаризације са фиксним и временски променљивим факторима.
- Креиран је робусни систем за праћење, који се прилагођава условима сцене адаптацијом параметра функције утицаја робусног естиматора на основу информација из корелационог одзива као и адаптацијом статистика шума.
- Спроведена је опсежна евалуација предложеног робусног система за праћење на креираном репрезентативном скупу секвенци краткоталасних инфрацрвених слика, при чему су приказани резултати детаљно дискутовани. Компаративна анализа са савременим алгоритмима из литературе за праћење објеката указује на побољшање перформанси праћења у условима оклузија, а посебно праћења објеката малих димензија.

### **4.2. Критичка анализа резултата истраживања**

На основу увида у полазне хипотезе, постављене циљеве истраживања и остварене резултате кандидата, Комисија констатује да је кандидат успешно одговорио на релевантне истраживачке проблеме у оквиру докторске дисертације. Праћење покретних објеката у секвенци краткоталасних инфрацрвених слика је истраживачки актуелан проблем услед све веће примене камера које раде у краткоталасном инфрацрвеном опсегу у системима за надзор, али је недовољно обрађен. Метода праћења предложена у дисертацији представља ново решење у односу на постојеће стање у области праћења једног покретног објекта у

секвенци краткоталасних инфрацрвених слика. Представљен је оригинални начин фузионисања корелационих филтара и робусних естиматора стања система, као и адаптације робусног естиматора на основу информација из корелационог одзива. У контексту естимације стања стохастичких система, изведен је нов приступ робустификације Калмановог филтра методом статистичке линеаризације. Поред теоријских резултата, дисертација садржи експерименталне резултате добијене евалуацијом система на новом креираном скупу секвенци краткоталасних инфрацрвених слика, обзиром да у постојећим јавно доступним скуповима секвенци за праћење покретних објеката недостају секвенце снимљене камером у краткоталасном инфрацрвеном опсегу. Показано је да се применом предложеног адаптивно-робусног система могу побољшати перформансе постојећих система за праћење у контексту омогућавања дуготрајног праћења покретног објекта. Поред тога што предложени систем у изазовним сценаријима праћења показује боље перформансе у односу на савремена решења из литературе, систем има и могућност рада у реалном времену без потребе за обрадом на графичким процесорским јединицама. Остварени резултати у дисертацији су верификовани публикавањем радова у истакнутим часописима међународног значаја, као и на референтним међународним конференцијама.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

Кандидат Милош Павловић је објавио следеће радове, који су у непосредној вези са темом докторске дисертације:

##### Категорија M21:

1. **Pavlović M.**, Milanović P., Stanković M., Perić D., Popadić I., Peric M.: “*Deep Learning Based SWIR Object Detection in Long-Range Surveillance Systems: An Automated Cross-Spectral Approach*,” - Sensors 22, no. 7: 2562, 2022. (IF: 3.576) (DOI: 10.3390/s22072562)

##### Категорија M22:

1. **Pavlović M.**, Banjac Z., Kovačević B.: “*Object Tracking in SWIR Imaging Based on Both Correlation and Robust Kalman Filters*,” - IEEE Access, vol. 11, pp. 63834-63851, 2023. (IF: 3.9) (DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3288694)

##### Категорија M23:

1. **Pavlović M.**, Banjac Z., Kovačević B.: “*Approximate Kalman Filtering by Both M-robustified Dynamic Stochastic Approximation and Statistical Linearization Methods*,” - EURASIP Journal on Advances in Signal Processing 2023, 69, 2023. (IF: 1.759) (DOI: <https://doi.org/10.1186/s13634-023-01030-1>)
2. **M. Pavlović**, Z. Banjac, B. Kovačević, “*Digital Video Stabilization Verification Based on Genetic Algorithm Template Matching*,” Advances in Electrical and Computer Engineering, vol.22, no.2, pp.53-60, 2022, doi:10.4316/AECE.2022.02007

##### Категорија M33:

1. Cizelj D., **Pavlović M.**, Unkašević T., Banjac Z.: “*Automated Target Tracking Activation Based on Motion Detection*,” - Proc. of the 10th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering (IcETRAN 2023), East Sarajevo, B&H, June 5-8 2023.
2. **Pavlović M.**, Stojilković N., Gluvačević I, Vučetić M., Perić M.: “*Real-Time Moving Object of Interest Detection in Multi-Sensor Imaging System*,” - Proc. of the 7<sup>th</sup> International

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

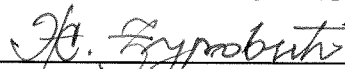
Докторска дисертација кандидата Милоша Павловића под називом “Праћење покретних објеката у секвенци краткоталасних инфрацрвених слика корелационим методама и техникама робусне Калманове филтрације” садржи оригиналне научне доприносе и представља значајан допринос сложеној области праћења покретних објеката у секвенци слика. Дисертација је написана у складу са образложењем изложеним у пријави теме докторске дисертације и садржи све елементе које захтева Правилник о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Иновативни приступ развоју система за праћење покретних објеката заснованог на корелационим филтрима и адаптивним робусним техникама естимације стања стохастичких система са могућношћу рада у реалном времену указују на способност кандидата за самостални научно-истраживачки рад, али и за развој решења која имају практичну примену. Стога, резултати дисертације имају и теоријски и практични значај у области Управљања системима и обраде сигнала.

На основу претходно изложеног, Комисија сматра да је кандидат испунио све формалне и суштинске услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду. Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом “Праћење покретних објеката у секвенци краткоталасних инфрацрвених слика корелационим методама и техникама робусне Калманове филтрације” кандидата Милоша Павловића прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 24.05.2024.

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



др Жељко Буровић, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Александра Крстић, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Зоран Баћац, виши научни сарадник  
Институт *Vlatacom*



др Јелена Терзић, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Илија Попадић, виши научни сарадник  
Институт *Vlatacom*

