

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Асема Ал-Хасаерија.

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета бр. 5054/14-3 од 24.03.2020. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Асема Ал-Хасаерија под насловом

### **Адаптивне технике у системима за праћење покретних циљева**

(енг. Adaptive techniques in target tracking systems) која је написана на енглеском језику. После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала, Комисија је сачинила следећи

## РЕФЕРАТ

### **1. УВОД**

#### 1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Асем Ал-Хасаери је 31.05.2018. године пријавио тему за израду докторске дисертације под називом 'Адаптивне технике у системима за праћење покретних циљева'.

Комисија за студије трећег степена разматрала је 05.06.2018. године предлог теме за израду докторске дисертације и предлог Комисије о оцени подобности теме и кандидата и упутила Наставно –научном већу Електротехничког факултета на усвајање.

Наставно-научно веће Електротехничког факултета је на својој седници од 22.06.2018. године, одлуком бр. 5054/14-1, именовало Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације у саставу др Жељко Ђуровић, редовни професор (Универзитет у Београду-Електротехнички факултет), др Предраг Тадић, доцент (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет), др Милан Рапаић, ванредни професор (Универзитет у Новом Саду – Факултет техничких наука), др Марија Рашајски, редовни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет) и др Александра Марјановић, доцент (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет).

Дана 04.07.2018. године кандидат је полагао јавну усмену одбрану теме пред наведеном Комисијом и добио задовољавајућу оцену.

Наставно-научно веће Електротехничког факултета је на својој седници од 09.10.2018. године усвојило Извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације (Одлука бр. 5054/14-2).

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације (број 61206-4699/2-18 од 29.10.2018. године).

Дана 20.02.2020. године кандидат је предао докторску дисертацију на преглед и оцену.

Дана 03.03.2020. године Комисија за студије трећег степена потврдила је испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације.

На својој седници од 24.03.2020. године Наставно-научно веће Факултета именовало је Комисију за преглед и оцену докторске дисертације у саставу др Жељко Ђуровић, редовни професор (Универзитет у Београду-Електротехнички факултет), др Александар Ракић, ванредни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет), др Милан Рапаић, ванредни професор (Универзитет у Новом Саду – Факултет техничких наука), др Марија Рашајски, редовни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет) и др Александра Марјановић, доцент (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет). (број одлуке 5054/14-3).

### 1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација Асема Ал-Хасаерија под насловом 'Адаптивне технике у системима за праћење покретних циљева' припада научној области електротехника и рачунарство, а ужој научној области Обрада сигнала и управљање системима, за коју је матичан Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

Ментор докторске дисертације је др Жељко Ђуровић, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду. Проф. Др Жељко Ђуровић се дуги низ година бави научноистраживачким радом у области обраде сигнала, стохастичких система и естимације као и примене различитих техника вештачке интелигенције, што је документовано релевантним научним радовима који су наведени приликом пријаве теме докторске дисертације кандидата.

### 1.3. Биографски подаци о кандидату

Асем Ал-Хасаери је рођен 06. августа 1966. године у Зуари, Либијска Џамахирија. Основну и средњу школу је завршио 1978. односно 1984. године у Триполију. Факултет за нуклеарну технику и електронику на Државном универзитету у Триполију је уписао 1984. године и дипломирао 1991. године на Одсеку за електронику. Дипломски рад под називом 'Симулација система за чекање' је одбранио под руководством професора Фаража Хмада.

2001. године се уписао на магистарске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, на Одсеку за сигнале и системе. Положио је све планом предвиђене испите са просечном оценом 9.00 и 2003. године је одбранио магистарски рад под називом '*Pattern recognition support to the algorithms of missiles guidance*' под руководством проф. Жељка Ђуровића. На докторске студије на Електротехничком факултету у Београду се уписао школске 2014/15. године, на модулу за Управљање системима и обраду сигнала. У међувремену је положио све планом предвиђене испите са просечном оценом 9.30 и добио сагласност за израду докторске дисертације под називом 'Адаптивне технике у системима за праћење покретних циљева'.

У периоду од 1991. до 2001. године, као и од 2004. до 2014. године био је запослен у Центру за електронска истраживања (*Electronic Research Center*) у Триполију као инжењер за развој софтвера у возилима без људске посаде. Највећи део свог професионалног ангажовања је посветио системима за праћење покретних циљева у условима сензорских система различитог типа као што су радари, сонари, инфрацрвене и видео камере. Такође се интензивно бавио и развојем алгоритама за вођење летећих објеката без људске посаде примењујући модификоване технике *LQG* и *LQR* приступа. Истовремено је био ангажован као

асистент при високошколским институцијама *Injila High Institute* у Цанзур у Либији, *Nasser Institute* у Тархуани и *Faculty of Engineering* у Зуари.

## 2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Асема Ал-Хасаерија под насловом 'Адаптивне технике у системима за праћење покретних циљева' је написана на 108 страна, односно на 113 са прилозима. Организована је у шест поглавља и садржи 71 слику и две табеле. Наслови поглавља су: 1. Увод, 2. Системи за праћење покретних циљева, 3. Утицај вероватноће детекције циљева и густине лажних аларма на квалитет праћења, 4. Процена вероватноће детекције циљева и густине лажних аларма применом принципа максималне веродостојности, 5. Закључак и 6. Коришћена литература. У наставку дисертације је приказана кратка биографија кандидата, листа публикација и на крају се налазе прилози.

### 2.2 Кратак приказ појединачних поглавља

У уводном поглављу кандидат Ал-Хасаери говори о актуелности и сложености проблема који је предмет истраживања у његовој докторској дисертацији. Наведено је да проблеми праћења покретних циљева окупирају стручну јавност још од седамдесетих година прошлог века, откако су узнапредовали војни ваздушни и против-ваздушно системи, паралелно са развојем рачунарских ресурса и перформанси. Проблем праћења више покретних циљева је вишеслојан, јер са једне стране подразумева добру хардверску подршку у смислу квалитетних сензора кратког одзива и високе резолуције, са друге стране се захтевају ефикасни алгоритми за естимацију кинематике покретних објеката у условима високог ометања, односно интензивних реализација шума великих вредности, такозваних '*outlier-a*'. На крају неопходни су и алгоритми за брзу реализацију дигиталних филтара, јер је императив реализације оваквих система рад у реалном времену. У уводу тезе су наведени и нови простори за примену техника за праћење покретних циљева који нису вођени искључиво војним апликацијама. Наведено је све чешће коришћење таквих система у управљању саобраћајем, медицинским истраживањима, надгледању прометних чворишта од високог ризика и томе слично. На крају увода приказана је укратко и структура докторске дисертације.

Друго поглавље тезе је насловљено као *Системи за праћење више покретних циљева*. Ово поглавље садржи приказ историјског развоја ове области. Уведени су основни термини и дефиниције које су одомаћене у литератури која се бави овим проблемима. Посебна пажња је посвећена елементима МТТ система (*Multiple-Targets Tracking*). Приказани су илустративни дијаграми у којима се јасно види комуникација података између појединих елемената, међу којима су посебно истакнути Систем за аквизицију мерења, Алгоритам за придруживање података, Систем за менаџмент трагова, Систем за филтрирање и предикцију као и Техника прозоровања. Свакоме од ових елемената је поклоњена одређена пажња, при чему је посебан простор посвећен Алгоритмима за придруживање података, не само зато што је то најсложенији сегмент сваког МТТ система, већ и зато што он представља окосницу истраживања које је приказано у овој дисертацији.

Треће поглавље је посвећено утицају познавања односно непознавања вероватноће детекције циљева и густине лажних аларма на квалитет праћења покретних циљева. Наиме,

ово поглавље представља увод за резултате који ће бити приказани у ударном делу тезе. За почетак, у овом поглављу је дат кратак преглед великог броја радова који се баве естимацијом наведених параметара са циљем поправке ефикасности система за праћење. Приказани су *PND* и *CPND* филтри (*Mahler et al. (2011,2017)*) као најновији резултати у овој области и анализирана је њихова осетљивост на непознавање статистичких параметара који описују објекте који се прате и околину. Затим су приказани симулациони сценарији који на врло ефектан начин приказују деградацију квалитета система за праћење покретних циљева у условима непознавања вероватноће детекције циљева и густине лажних аларма. Посебан акценат је бачен и на чињеницу да су у највећем броју апликација наведени параметри не само непознати већ и временски променљиви. Другим речима, као резултат навода у овом поглављу се недвосмислено намеће идеја да је адаптивност техника за праћење покретних циљева која се заснива на сталној процени непознатих параметара једини исправан приступ.

Четврто поглавље ове тезе је насловљено као *Естимација вероватноће детекције циљева и густине лажних аларма на бази приступа максималне веродостојности*. Ово је најважнији део ове докторске дисертације јер се у њему налази ударни научни допринос. На почетку овог поглавља су дате претпоставке под којима је предложени естиматор изведен. Наведена је структура Калмановог филтра који прати кинематику покретних објеката, дате су претпоставке о познавању статистика другог реда шума улаза и мерења у филтру, претпостављено је да су ови стохастички процеси бели и међусобно некорелисани, такође је претпостављено да се у временској скали процес лажних аларма понаша као Поасонов процес, а у просторној скали униформно. Даље је претпостављено да се у кратком временском интервалу у коме се процес естимације реализује предметне статистике не мењају и што је најважније, претпостављено је да је праћени објекат усамљен. На основу познате предисторије од одређеног броја скенова формиран је низ хипотеза о пореклу појединих опсервација. Одмах су у старту одбачене неверодостојне хипотезе и у сваком скену су сачуване највише две хипотезе, од којих једна претпоставља да су сви одрази лажни аларм а друга да међу одразима постоји само један који није лажни аларм веће је дошао као одраз од циља и то је она опсервација која има најкраће статистичко одстојање од позиције предикције циља. За тако формиране хипотезе су срачунате одговарајуће функције веродостојности, а затим су непознате статистике (вероватноћа детекције циља и густина лажних аларма) срачунате са циљем максимизације веродостојности. Одмах након тога је извршена анализа перформанси тако добијеног естиматора и нажалост је показано да он болује од недостатака који су у литератури добро познати. Наиме, у литератури постоји велики број радова који илуструју чињеницу да је немогуће квалитетно естимирати и вероватноћу детекције и густину лажних аларма јер су то параметри који карактеришу два независна процеса који коегзистирају у истом простору, у истом времену, и у духу Хајзенберговог принципа неодређености, немогуће их је тачно проценити симултано. Међутим, на основу исцрпне анализе добијених резултата и врло захтевне Монте-Карло симулације, уочене су неке правилности. Као прво, уочено је да померај у естимацији ових статистика показује детерминистичку зависност од стварне вероватноће детекције, стварне густине лажних аларма, дужине хоризонта за који се формирају хипотезе и величине прозорске функције. Такође је потврђена и претпоставка да се варијанса ових естиматора на квалитетан начин може редуковати примењујући технику фактора заборављања са специфично испројектованом динамиком. У сваком случају, ово поглавље се завршава врло ефектном демонстрацијом нове методе за процену вероватноће детекције циљева и густине лажних

аларма која је заснована на приступу максималне веродостојности, а значајно поправљена редукцијом помераја и редукцијом варијансе естимације. Редукција помераја је извршена применом регресионих модела. Наиме, формиран су линеарни регресиони модели који показују зависност помераја од праве вероватноће детекције, праве густине лажних аларма, дужине хоризонта и величине прозора. На основу тако усвојених модела извршен је инверзни инжењеринг и компензован је померај. Редукција варијанси је извршена тако што су текуће естимације доведене на улаз филтра са бесконачним импулсним одзивом при чему је сингуларитет типа пола временски променљив и динамика његове промене је прилагођена динамици кретања циља који се прати и предвиђеног времена његовог боравка у простору нашег осматрања. Показује се да је избор ове динамике од круцијалног значаја, јер он треба да успостави компромис између мале варијансе и осетљивости алгорита на промене у параметрима.

Пето поглавље дисертације су закључци. У овом поглављу је извршена кратка рекапитулација, како актуелности и сложености проблема који је анализиран у тези, тако и најважнијих резултата који су у дисертацији приказани. Оно што је такође добило одговарајући простор у овом поглављу су ограничења предложеног метода и правци за даљи рад. Наиме, једнозначно је наведено да је нови метод предложен у овој тези примењив искључиво за кретање и праћење усамљеног циља. Јасно је наведено да се у случају кретања блиских циљева, при чему се лако може догодити да дође до пресека односно преклапања прозорских функција, мора развити проширење ове методе. Овај проблем је наведен као и један од праваца даљег рада. Такође је јасно наведено да је испројектован метод примењив у случају да густина лажних аларма не превазилази одређени праг. Вредност тог прага је срачуната у претходном поглављу а условљена је чињеницом да ће, уколико је густина лажних аларма сувише велика, метод максималне веродостојности увек давати предност хипотези која каже да сви одрази долазе од лажних аларма. На тај начин ниједан циљ неће бити виђен у тако густој шуми лажних аларма, па се ни његова вероватноћа детекције не може проценити. Везано за овај проблем, дат је коментар да се такав проблем може решавати искључиво развојем нових сензорских система који ће, користећи неку нову технику или вештачку интелигенцију, бити у стању да потисне велики број лажних аларма.

Коначно, на крају дисертације је приказана листа коришћене литературе. Ова листа броји 70 наслова од којих се неки сматрају основном уџбеничком литературом у овој области, као што су књига *Multiple Target Tracking with Radar Applications*, аутора Семјуела Блекмана из 1986. године или рад *An Algorithm for Tracking Multiple Targets*, аутора Донлда Раида из 1979. године. Међутим, у списку коришћене и цитиране литературе се налазе и радови објављени последњих година, поготово аутора окупљених око професора Р. Махлера који се сматрају ауторима нових PHD и CPHD филтра заснованих на теорији коначних случајних скупова.

### 3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

#### 3.1 Савременост и оригиналност

Иако су системи за праћење покретних циљева доживели своју потпуну афирмацију и обезбедили себи простор у научној заједници чувеним радом "*An Algorithm for Tracking Multiple Targets*" аутора Donald-а Raid-а давне 1979-те године, последње четири деценије је ова област изузетно жива и богата великим бројем значајних, па често и револуционарних идеја. Разлога за овако активно интересовање многих научника у свету за ову

интердисциплинарну област има много, али генерално говорећи, могу се издвојити три најважнија. Први разлог који сведочи о актуелности ове теме јесте све већа количина материјалних средстава које развијене земље улажу у системе за надгледање, надзор и заштиту објеката и људи. Седамдесетих и осамдесетих година прошлог века системи који су захтевали интелигенцију у облику праћења више покретних циљева су доминантно били радарски и сонарни системи. Међутим, са развојем друмског и ваздушног саобраћаја, потребом да се он прати и да се њиме управља, све израженијим сателитским саобраћајем и апликацијама које се на њега ослањају, са еволуцијом форми специјалног рата, субверзивним и терористичким активностима, праћење покретних циљева у смислу праћења животиња и особа на отвореним, а нарочито затвореним просторима, аутобуским и метро станицама, аеродромима, прометним раскрсницама и слично, праћење покретних објеката постаје научна дисциплина са много сложенијим захтевима, са све рестриктивнијим ограничењима и све израженијим облицима неодређености. Други разлог, због кога је ова област већ деценијама врло активна, лежи у технологији која прати све сложеније захтеве. Док су у почетку једини сензори били радари за извиђање ваздушног простора и сонари у мору, у међувремену су се, као последица технолошког развоја, појавиле читаве фамилије нових уређаја као што су термовизијске и телевизијске камере, сеизмички детектори, Доплер- детектори, детектори покрета, извиђачки радари, ласери, лидари и многи други сензори. Наведене чињенице сведоче о савремености теме која је предмет докторске дисертације кандидата Ал-Хасаерија. Она је у самом језгру наведених активности које су усмерене ка повећавању ефикасности и поузданости различитих система за праћење покретних циљева. Информације о вероватноћи детекције различитих врста објеката који се прате, као и информација о нивоу ометања са којим се појављује окружење, су од суштинског значаја за реализацију и могућност примене оваквих система.

Са друге стране, тек последњих десетак година је уочен значај потребе да се системи за праћење покретних циљева учине адаптивним у смислу естимације параметара који карактеришу статистике објеката који се прате и окружења. До тада је пажња углавном била сконцентрисана на развој техника за придруживање података које су априори сматрале да су нам ове статистике некако познате. А онда, са развојем рачунарских система и са све већом и распрострањеном имплементацијом МТТ система, испоставило се да не само да ти параметри нису ниоткуда познати већ да се погрешним усвајањем њихових вредности добијају неприхватљиво лоши резултати праћења. И тада се велики број истраживача посветио том проблему и врло брзо суочио са непријатном чињеницом да је немогуће истовремено, квалитетно естимирати и параметре циљева и параметре окружења. Отуда се у највећем броју радова прибегава следећим претпоставкама, односно поједностављенима: у неким радовима се претпоставља довољно велика вероватноћа детекција, усваја се као априори дата и онда се естимира искључиво параметар окружења; у неким радовима се заједно са вероватноћом детекције циља, естимира густина лажних аларма на врло широком простору, чија је запремина довољно велика да присуство објеката који се прате готово не утичу на процене статистичког дескриптора окружења. Постоје и радови који на већем простору осматрања не рачунају вероватноће детекције појединачних циљева већ такозвану кардиналност случајног коначног скупа, и тада нормализовану кардиналност придружују сваком од циљева као појединачне процене вероватноће детекције. Метод који је предложен овом дисертацијом превазилази сва наведена ограничења. Он се врло успешно бори са истовременом естимацијом параметара и циљева и окружења, на оригиналан начин редукује

и померај и варијансу ових процена, сваком од циљева појединачно придружује његову вероватноћу детекције и коначно, процена густине лажних аларма се врши за простор у непосредном окружењу тренутног положаја објекта који се прати. По сазнању аутора тезе и чланова Комисије, у литератури тренутно не постоји метод који сваки од наведених проблема адресира на овако ефикасан начин.

### 3.2 Осврт на референтну и коришћену литературу

Списак коришћене литературе броји 70 наслова и она се, грубо говорећи, може поделити у три скупа. Први од њих представља базичну литературу која је била актуелна седамдесетих и осамдесетих година прошлог века и из које се могу сагледати основне структуре система за праћење покретних циљева, проблеми који се приликом пројектовања таквих система доминантно појављују и основна решења за проблем придруживања података која су до краја двадесетог века доминирала у практичним имплементацијама. У ову групу свакако треба поменути наслове као што су S. Blackman and R. Popoli: *Design and Analysis of Modern Tracking Systems*, 1999.; S. Blackman: *Multiple-target tracking with radar applications*, 1986.; D. Reid: *An algorithm for tracking multiple targets*, 1979 и Y. Bar-Shalom: *On Optimal Tracking in Multiple Target Environments*, из 1972. године.

Другу групу референтних наслова чине резултати који су скоријих година објављени и који сведоче како о актуелности проблема који се разматра тако и о различитим приступима на који се они могу решавати. У првом реду се мисли на примену коначних случајних скупова у системима за праћење покретних циљева. У ову групу коришћене и реферисане литературе свакако треба поменути следеће наслове: R. Mahler, B.-T. Vo and B.-N. Vo: *CPHD filtering with unknown clutter rate and detection profile*, 2011; K. Rameshbabu, J. Swarnadurga, G. Archana and K. Men: *Target tracking system using Kalman filter*, 2012; H. N. Nguyen and F. Guillemin: *On process noise covariance estimation*, 2017.; H. Leung, H. Zhijian and M. Blanchette: *Evaluation of multiple radar target trackers in stressful environments*, 2003.; F. Yang, W. Tang and Y. Liang: *A novel track initialization algorithm based on random sample consensus in dense clutter*, 2018; и S. Wang, Q. Bao and Z. Chen: *Refined PHD Filter for Multi-Target Tracking under Low Detection Probability*, 2019.

Трећу групу референтних радова чине управо резултати који се налазе у самој сржи ове докторске дисертације, односно истраживањима и напорима да се нађу ефикасне методе за естимацију статистичких параметара који описују објекте и окружење. У овој групи наслова свакако треба поменути следеће: H. Lachlan: *Clutter-based test statistics for automatic track*, 2008; X. Chen, R. Tharmarasa, M. Pelletier and T. Kirubarajan: *Integrated Clutter Estimation and Target Tracking Using Poisson Point Process*, 2012; S. Yildirim, L. Jiang, S. S. Singh and T. A. Dean: *Calibrating the Gaussian multi-target tracking model*, 2014.; W. C. Kim and T. L. Song: *Interactive clutter measurement density estimator for multitarget data association*, 2017; X. Chen, R. Tharmarasa, T. Kirubarajan and M. McDonald: *Online clutter estimation using a Gaussian kernel density estimator for multitarget tracking*, 2015. и R. Mahler, B.-T. Vo and B.-N. Vo: *CPHD filtering with unknown clutter rate and detection profile*, 2011.

Наведени наслови говоре о томе да је радећи на својој докторској дисертацији кандидат имао увид у релевантну расположиву литературу која је у најужој вези са проблемом који је обрађиван у дисертацији. Са друге стране, на овај начин се стиче увид у чињеницу да је своје резултате кандидат поредио са најновијим светским резултатима из дотичне области

и на тај начин стручној јавности пружио могућност да на објективан начин суди о вредности како докторске дисертације тако и о методи која је у оквиру ње развијена.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Током израде своје докторске дисертације кандидат Асем Ал-Хасаери је од научних метода истраживања доминантно користио технике анализе, апстракције, спецификације и коначно синтезе.

У почетку, улазећи у научну област, кандидат је био посвећен прегледу постојећих резултата из области праћења покретних циљева, са посебним освртом на блок придруживања података. У том контексту је посебна пажња била посвећена могућности адаптације поступака асоцијације опсервација траговима. Овај се сегмент истраживања доминантно ослонио на методе анализе.

Касније, током рада на својој тези када се ударни проблем јасно диференцирао, значајан део истраживања је покрио анализу утицаја недостатка априорних информација о статистикама праћених објеката и окружења на квалитет праћења. С тим у вези било је важно дефинисати и мере квалитета праћења која ће узети у обзир не само средњу квадратну грешку естимације положаја објекта од његове објективне позиције већ и вероватноћу брисања трага као и временско кашњење до његове иницијализације. У циљу реализације ових задатака, кандидат је морао да испројектује комплетан систем за праћење покретних циљева, са различитим опцијама за придруживање података, као и са различитим сценаријима трајекторије циљева. Овај део истраживања је био реализован кроз комбинацију метода анализе и синтезе.

Техникама генерализације и спецификације је био формиран општи симулациони модел који је у себи садржао врло генералне форме трајекторија, врста маневара, начина генерисања одраза и лажних аларма, као и међусобне сценарије позиције опсервација у прозорским функцијама. Идеја је била да се комплетна анализа и синтеза ослони на правоугаоне прозорске функције, верујући да промена геометријске форме овог објекта не може значајно утицати на добијене резултате.

На крају, финализујући своју тезу, методом синтезе, био је предложен нови систем за адаптацију процедуре за придруживање података а на основу процењених параметара као што су вероватноћа детекције циља и густина лажних одраза. Ова форма адаптивности је произашла као резултат компромиса за што мањом варијансом грешке естимације параметара у условима њихових стационарних статистика, али истовремено могућност праћења промена тих параметара. Са посебном пажњом је анализирана и динамика промене параметара која се на овај начин може пратити.

### 3.4 Применљивост остварених резултата

Резултати остварени током рада на овој докторској дисертацији су од велике вредности са становишта примењивости, и то на два начина. Првенствено, сваки од система за праћење покретних циљева, без обзира да ли је то војни систем који надгледа небо над одређеним регионом, или је то систем за надгледање кретања пешака на неком од урбаних саобраћајних чворишта, или је то систем који пребројава одређене микроорганизме у раствору неког



органског узорка, захтева познавање статистика објеката који се прате и окружења. Неки од ових система захтевају само параметре окружења, као то су на пример микроскопски биолошки системи, а неким је доминантно важна карактеристика објеката. У сваком случају, метод који је описан у дотичној докторској дисертацији је директно примењив као помоћни сегмент за естимацију недостајућих параметара. Са друге стране, применљивост предложеног алгорита је изузетно велика и због његове мале нумеричке захтевности. Како је цео алгорита изведен из претпоставке да се уклањају мало веродостојне хипотезе, и да се у сваком скену осматрања чувају највише две, најверодостојније хипотезе, дошло се дотле да је предложени алгорита, са становишта захтева за рачунарским ресурсима, најскромнији. Отуда се очекује да ће предложени метод наћи место у сложеним, софистицираним, дистрибуираним системима за праћење покретних објеката у реалном времену различитог типа.

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

Током рада на својој докторској дисертацији кандидат је показао да је стању да самостално уочава проблеме, да из доступне литературе препознаје елементе који су од веће или мање важности за њихово решавање, такође је, што је нарочито важно, стекао могућност да критички анализира постојећа решења. Током времена, напредујући кроз рад, испољио је захтевану научну зрелост и оспособљен је за даљи успешан научно-истраживачки рад.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### 4.1. Приказ научних доприноса

Током истраживања и рада на докторској дисертацији кандидат је остварио врло значајне резултате који се могу исказати кроз следеће научне доприносе:

- Извршен је врло детаљан преглед научне области која се бави праћењем покретних циљева, издвојени су сви значајни резултати у сегменту асоцијације података, на критичан начин су наведена ограничења и недостаци појединих приступа и на тај начин је отворен простор за развој новог метода који је описан у овој дисертацији;
- Испројектован је адекватни сценарио кретања покретних објеката у простору са одговарајућим моделом статистичке карактеризације окружења, а са циљем увођења тест- проблема за квантитативно поређење система за праћење покретних циљева;
- Извршена је детаљна анализа предности и недостатака различитих система за праћење са посебним акцентом на рад система у условима одсуства априорне информације о статистикама циљева и окружења. У том смислу је недвосмислено показано у којој мери недостатак информација о вероватноћи детекције циљева и густине лажних аларма врше деградацију квалитета система за праћење;
- Предложена је нова метода за естимацију вероватноће детекције циљева и процену густине лажних аларма засноване на принципу максималне веродостојности. При томе је минимизован број хипотеза које се узимају у обзир, те је без утицаја на квалитет естимације значајно смањена нумеричка захтевност предложене технике;

- Извршена је исцрпна анализа нове естимационе процедуре у смислу помераја и варијансе естиматора и њихове зависности од дужине временског прозора над којим се врши процена, величине прозорске функције и вредности самих параметара који се естимирају;
- У циљу отклањања уочених недостатака методе засноване на принципу максималне веродостојности, предложено је побољшање у смислу редукције помераја процена и њихове варијансе.
- Показано је на који се начин развијене технике за процену статистика објеката и окружења могу укључити у постојеће системе за праћење покретних циљева. У раду је извршена анализа бенефита који се на овај начин, адаптацијом постојећих система, добија;
- Извршена је експериментална анализа предложеног решења у условима блиским реалности, са релативно ниским вероватноћама детекције циљева и релативно високим густинама лажних аларма. Такође су успостављене границе које дефинишу област примењивости развијене методе.

#### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Иако је развијени метод за адаптацију система за праћење покретних циљева који се заснива на процени вероватноће детекције објеката који се прате и густине лажних аларма, а који је приказан у дотичној докторској дисертацији, савремен, оригиналан и детаљно анализиран и тестиран, он свакако има нека ограничења и недостатке. Ова ограничења и недостаци су поменути и њима је посвећена одговарајућа пажња у четвртој и петом поглављу дисертације, а на овом месту ће бити само наведени. Наиме, развијени метод је подразумевао кретање усамљених објеката. Другим речима, у условима постојања више покретних објеката који су блиски на начин да може доћи до преклапања њихових прозорских функција, овај метод није примењив. Такође, метод не показује задовољавајуће резултате у условима врло високе густине лажних аларма, јер тада приступ максималне веродостојности фаворизује хипотезу која подразумева да сви одрази долазе од лажних аларма, и тада није могуће проценити вероватноћу детекције циљева. Коначно, није анализиран случај да нека од претпоставки везаних за тип расподеле шума мерења или дистрибуције лажних аларма није задовољена. У том случају би вероватно дошло до деградације перформанси естиматора, али то није био предмет истраживања у овој дисертацији.

Са друге стране, Комисија изражава задовољство што су сви очекивани научни доприноси, наведени приликом пријаве теме истраживања, остварени и детаљно презентовани у коначној верзији докторске дисертације. Такође, Комисија је задовољна формом и начином презентовања остварених резултата.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

У циљу илустрације начина на који је извршена верификација научних доприноса, наводимо списак радова које је кандидат Асем Ал-Хасаери публикувао радећи на својој докторској дисертацији:

*Категорија радова M22:*

**Asem Al-Hasaeri, Aleksandra Marjanović, Predrag Tadić, Sanja Vujnović, Željko Đurović,**  
 "Probability of Detection and Clutter Rate Estimation in Target Tracking Systems: Generalized

Maximum Likelihood Approach," IET Radar, Sonar and Navigation, Vol. 13, No. 11, pp. 1963-1973, 2019. (IF=2.015)

Kategорија радова M33:

Sanja Vujnović, **Asem Al-Hasaeri**, Predrag Tadić, Goran Kvašček, "Acoustic Noise Detection for State Estimation," in 3-rd International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering (IcETRAN), Zlatibor Serbia, 2016.

**Asem Al-Hasaeri**, Predrag Tadić, Aleksandra Marjanović and Željko Đurović, "Analysis of a method for mitigating miscorrelation in target tracking algorithm," in 4-th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering (IcETRAN), Kladovo Serbia, 2017.

**Asem Al-Hasaeri**, A. Marjanović, S. Vujnović, P. Tadić, Ž. Đurović, "On False Alarms Density and Detection Profile Estimation in Target Tracking systems," in XIV International SAUM Conference on Systems, Automatic Control, and Measurements, Niš Serbia, 2018.

**Asem Al-Hasaeri**, Predrag Tadić, Aleksandra Marjanović, and Željko Đurović, "On the Robustness of Target Tracking With Respect to Errors in Parameter Values," in the 5-th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering (IcETRAN), Palić Serbia, 2018.

**Asem Al-Hasaeri**, Aleksandra Marjanovic, Sanja Vujnović, Goran Kvašček, and Željko Đurović, "Probability of Detection and False Alarm Density Estimation in Target Tracking Systems With Unknown Measurement Noise Statistics," in Int. Conf. on Elec., and Comp. Engineering IcETRAN, Srebrno jezero Serbia, 2019.

## **ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ**

Докторска дисертација кандидата Асема Ал-Хасаерија под називом 'Адаптивне технике у системима за праћење покретних циљева' (енг. 'Adaptive techniques for target tracking systems') која је написана на енглеском језику, је у целини написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме и садржи све битне елементе који се захтевају Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

У дисертацији се на систематски и доследан начин анализира проблем праћења покретних циљева у шумовитом окружењу окарактерисаном присуством лажних аларма, дефинишу се основни елементи и принципи пројектовања таквог система, и на врло уверљив начин илуструје значај естимације параметара који карактеришу статистичка својства циљева и окружења. Полазећи од принципа максималне веродостојности предлаже се метод за процену ових параметара, а затим уочавајући недостатке таквог резултата, даље се предлажу поступци за његову поправку, а у циљу смањења помераја и варијансе добијених процена. За разлику од сличних резултата који су доступни у литератури, предложени метод омогућава конкретну доделу параметра вероватноће детекције сваком циљу понаособ, процењује густину лажног аларма за непосредно окружење тренутног положаја циља и омогућава праћење ових параметара кроз време као нестационарних временских категорија.


Кандидат Асем Ал-Хасаери је показао способност за самостални научни рад, што потврђује и чињеница је објавио неколико научних радова који су проистекли из истраживања приказаних у оквиру ове тезе, а у којима се појављује као први коаутор. Оцењујући докторску дисертацију, као и чињеницу да је анализирани и решавани проблем актуелан и савремен, као и да садржи научне доприносе, Комисија констатује да је кандидат Асем Ал-Хасаери,

магистар електротехнике, испунио све услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Имајући у виду напред наведено, Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом 'Адаптивне технике у системима за праћење покретних циљева' кандидата Асема Ал-Хасаерија прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 12.05.2020.

#### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



Др Жељко Ђуровић, редовни професор  
Универзитет у Београду-Електротехнички факултет



Др Александар Ракић, ванредни професор  
Универзитет у Београду-Електротехнички факултет



Др Милан Рапаић, ванредни професор  
Универзитет у Новом Саду-Факултет техничких наука



Др Марија Рашајски, редовни професор  
Универзитет у Београду-Електротехнички факултет



Др Александра Марјановић, доцент  
Универзитет у Београду-Електротехнички факултет