

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата мр Димитрија Бујаковића

Одлуком Наставно – научног већа Електротехничког факултета Универзитета у Београду бр. 953/3 од 01.03.2016. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Димитрија Бујаковића под насловом

**Експертски систем за праћење и препознавање циљева у окружењу извиђачких радара**

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

Кандидат је тему докторске дисертације под називом „Експертски систем за праћење и препознавање циљева у окружењу извиђачких радара“ пријавио Комисији за студије трећег степена на Електротехничком факултету у Београду 07.05.2015. године и за ментора предложио проф. др Желька Ђуровића.

Комисија за студије трећег степена разматрала је на својој седници одржаној 12.05.2015. године предлог теме за израду докторске дисертације и упутила предлог Комисије о оцени подобности теме и кандидата Наставно-научном већу на усвајање.

Наставно-научно веће Електротехничког факултета, на својој седници одржаној 30.06.2015. године (број одлуке 953/1), именовало је Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације у саставу: проф. др Бранко Ковачевић, проф. др Миленко Андрић (Војна академија Универзитета одбране у Београду) и доц. др Марко Барјактаревић.

На седници Наставно-научно веће Електротехничког факултета, одржаној 10.07.2015. године, Наставно-научно веће усвојило је извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације (број одлуке 953/2).

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду је на седници од 15.09.2015. године дало сагласност на предлог теме докторске дисертације под насловом „Експертски

систем за праћење и препознавање циљева у окружењу извиђачких радара“ (решење бр. 61206-3791/2-15 од 15.09.2015. године)

Кандидат је предао докторску дисертацију 10.02.2016. године.

Комисија за студије трећег степена потврдила је на својој седници одржаној 17.02.2016. године испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације кандидата мр Димитрија Бујаковића.

Наставно-научно веће Факултета је на својој седници, одржаној 23.02.2016. године именовало Комисију за преглед и оцену докторске дисертације у саставу: проф. др Жељко Ђуровић, проф. др Бранко Ковачевић, проф. др Миленко Андрић, проф. др Стевица Граовац и проф. др Горан Дикић (број одлуке 953/3 од 01.03.2016. године).

Кандидат је стекао диплому Магистра електротехничких наука – област Управљање системима, одбранивши 20.03.2008. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду тезу под називом „Детекција циљева на слици сцене применом статистичког препознавања облика“, под менторством проф. др Жељка Ђуровића.

## 1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација припада Техничким наукама, ужој научној области Аутоматике, за коју је матичан Електротехнички факултет Универзитета у Београду. Ментор докторског рада је проф. др Жељко Ђуровић, који је изабран у звање редовног професора за исту научну област и истовремено је аутор већег броја радова у истакнутим међународним часописима.

## 1.3. Биографски подаци о кандидату

Кандидат Димитрије Бујаковић је рођен 30.12.1980. године у Крагујевцу где је завршио основну и средњу школу. 1999. године је уписан на основне студије Војнотехничке академије, смер Техничке службе, где је дипломирао 2004. године. Исте године је уписао последипломске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. На овом нивоу образовања, избор предмета је био фокусиран у области Управљања системима, па је и завршни, магистарски рад био одбрањен 2008. године на тему "Детекција циљева на слици сцене применом статистичког препознавања облика", под руководством професора Жељка Ђуровића.

Током периода од 2004. године до данас, кандидат је запослен као сарадник на Војној академији у Београду. Његово ангажовање је било везано за Катедру Војноелектронског инжењерства, Одсек за ракетну технику на коме је држао вежбе из предмета Сигнали и системи, Системи аутоматског управљања 2, Препознавање облика, Основи електротехнике и електронике и Електроника. Поред активности у настави, кандидат је учествовао на три пројекта које је финансирало Министарство одбране. 2010. године Војна академија је предложила кандидата за стипендију коју додељује Министарство одбране. Добивши стипендију, Димитрије Бујаковић се пријавио за израду докторске дисертације на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Том приликом одређен му је ментор дисертације, проф. Жељко Ђуровић, и период 2010. до 2016. године провео је у истраживању и припреми докторске тезе.

## 2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

### 2.1. Садржај дисертације

Дисертација је написана на српском језику, ћириличним писмом, и садржи 139 страна. Текст је организован у пет поглавља: 1) Увод, 2) Радар као сензор, 3) Скривени Марковљеви ланци као модел сложеног стохастичког процеса, 4) Експертски систем за праћење и препознавање циљева у радарском окружењу, и 5) Закључак. На почетку тезе дати су Резиме на српском и енглеском језику, Садржај, Листе слика (укупно 76) и табела (укупно 2). Иза последњег поглавља дат је списак коришћене литературе са 61 референцом наведене по редоследу појављивања у тексту и Биографија кандидата.

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Прво поглавље је уводног карактера и у њему је истакнут значај и предмет истраживања докторске дисертације, а истовремено је дат и преглед неких досадашњих истраживања у овој области. У њему је истакнуто да је један од основних задатака који се поставља приликом примене сензора у војним системима представља процена ситуације. Један од сензора који се може користити за процену ситуације представља радарски сензор. У односу на оптоелектронске сензоре радари могу радити у различитим условима атмосфере и омогућавају већу даљину детекције циљева, док се мане примене радарских сензора огледају у слабијој резолуцији у односу на оптоелектронске сензоре и могућности активног ометања њиховог рада. За разлику од радара који су намењени за осматрање ваздушног простора, радари за извиђање земљишта се суочавају и са проблемима рада у јаком клатерском окружењу, као и појаве нестајања циља иза препрека на земљишту.

У глави 2 дати су основни принципи рада импулсно–Доплеровог радара са високом фреквенцијом понављања импулса без унутаримпулсне модулације. Најпре је дефинисана основна структура радарског система и дефинисани су његови основни делови, као и принципи мерења удаљености радарског циља од радара и брзине радарског циља у односу на радар. У наставку је дат начин организовања података у модерним радарима и посебно је обрађена Доплеровска обрада радарских сигнала. Надаље је детаљно разматран принцип рада импулсно–Доплеровог радара који је коришћен у процесу аквизиције реалних радарских сигнала. На крају овог дела изложени су начини и принципи утицаја сложеног кретања радарског циља на спектар примљеног радарског сигнала и формирање микро–Доплерове сигнатуре радарског циља.

Глава 3 је посвећена скривеним Марковљевим ланцима као моделима сложених стохастичких процеса. У овој глави су најпре дефинисани елементи скривених Марковљевих ланаца и детаљно размотрени проблеми евалуације, декодовања и обучавања ових ланаца са циљем њихове примене за класификацију сигнала. Поред овога детаљно су разматрани неки од проблема имплементације скривених Марковљевих ланаца као што је скалирање, недовољан број података за обучавање ових ланаца, као и употреба вишеструких опсервација за обучавање скривених Марковљевих ланаца и избор њихове топологије. Коначно, на крају ове главе, разматран је проблем векторске квантизације као један од кључних процеса формирања кодне књиге квантизације дискретних скривених Марковљевих ланаца.

Централни део ове тезе чини материјал изложен у глави 4. У првом делу ове главе приказана је база реалних радарских сигнала која је прикупљена за потребе израде ове дисертације. Специфичност ове базе у односу на остале доступне базе реалних радарских сигнала се

огледа у чињеници да се у оквиру исте секвенце могу појавити различити радарски циљеви са различитом динамиком. У наставку ове главе разматран је избор дужине и врсте прозора временско – фреквенцијске дистрибуције снаге радарског сигнала, при чему су као мера квалитета ове дистрибуције коришћене мере концентрације енергије у временско–фреквенцијској равни. Затим је анализиран избор реда модела ауторегресивних процеса реалних радарских сигнала. У ту сврху предложена је нова мера за одређивање реда ових процеса заснована на максималној сепарабилности између разматраних процеса. Избором одговарајућих вредности модела ауторегресивних процеса као вектора обележја извршен је избор одговарајуће димензије кодне књиге квантизације. Избором топологије скривеног Марковљевог модела пројектован је експертски систем за праћење и препознавање циљева у окружењу извиђачких радара заснован на скривеним Марковљевицима. Резултати примене експертског система дати су у наставку главе.

Последња глава тезе чини закључак у коме су сумирани главни доприноси тезе и могући правци даљег истраживања. У овом делу приказана је компаративна анализа добијених резултата у односу на вероватноћу појаве лажног аларма, као и на сложеност предложеног решења и дат је критички осврт на добијене резултате.

### **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Процена ситуације у војним применама је процес континуираног издвајања информација применом сензора ради процене могућих претњи и опасности током неког периода времена са интеракцијом или без интеракције са њима, [1]. Овај процес представља један од основних задатака који се поставља при примени сензора на бојном пољу. Комплексност и разноликост појава на бојном пољу намеће употребу сензора који раде у различитим деловима електромагнетног спектра, као и фузију информација добијених различитим сензорима. Свака врста коришћених сензора има предности, али и недостатака. Предност коришћења радарских сензора представља њихова повећана даљина детекције циљева у односу на оптоелектронске сензоре, као и могућност рада у свим метеоролошким условима атмосфере, док недостаци представљају мања резолуција у односу на оптоелектронске система, као и активно зрачење енергије радарским сензором које може постати предмет активног ометања. За разлику од радара намењених за извиђање циљева у ваздуху, радарски за извиђање земљишта се сусрећу са низом додатних проблема. Један од ових проблема представља детекција споропокретних циљева који се налазе утопљени у јако клатерско окружење, док је, услед кретања по неравном земљишту, потребно пратити и детектовати циљ који се може наизменично појављивати и нестати, [2].

У радарским системима намењеним за извиђање земљишта, процес детекције циљева је у потпуности аутоматизован, док се класификација циљева врши на основу искуства оператора. Оператор на основу свог искуства доноси одлуку о врсти циља, његовом понашању и значају, [3]. Један од начина реализације радара за извиђање земљишта представља импулсно – Доплеров радар који се често користи услед релативно лаке конструкције, малих габарита и масе. У овим радарима поступак класификације је заснован на јединственој микро – Доплеровој сигнатури циља, [4]. Микро – Доплерова сигнатура представља јединствену фреквенцијску модулацију примљеног радарског сигнала која настаје услед додатних кретања делова радарског циља у односу на основно кретање.

Како се број и врста претњи по безбедност повећавају, систем за детекцију понашања циљева постаје кључни део система безбедности. Познавање уобичаеног, конвенционалног

понашања циљева представља кључ за детекцију могућих претњи. Интерпретација покрета људи, праћење ових покрета, избор одговарајућих обележја и детекција догађаја од интереса за безбедност представљају и даље отворено поље истраживања. Један од најзначајнијих проблема који се поставља пред примену извиђачких радара представља процес класификације радарских циљева на основу сигнала са аудио – излаза ових радара и очекује се интензиван рад у овој области у наредним годинама, [5].

### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде докторске дисертације, кандидат мр Димитрије Бујаковић је користио сву релевантну расположиву литературу везану за проблеме пројектовања експертских система за праћење и препознавање циљева у окружењу извиђачких радара, као и литературу везану за обраду радарских сигнала извиђачких радара, одређивање оптималног реда параметара ауторегресивних модела, препознавање облика, редукуцију димензија вектора обележја и избор броја кластера при кластеризацији великог скупа података. Поредџи методе предложене у доступној литератури могу се уочити два основна правца при класификацији сигнала са излаза извиђачких радара: издвајање обележја на основу временско – фреквенцијске дистрибуције сигнала, [6], [7], [8], [9], [10] и издвајање обележја на основу репрезентације звучних сигнала [11], [12]. Заједничко за сва претходна истраживања класификације сигнала извиђачких радара представља претпоставка да је у целој анализираној секвенци присутна само једна врста радарских циљева са само једном одређеном динамиком (возило, особа хода, група трчи). Аутори су у [13] применили класификациони алгоритам који користи скривене Марковљеве ланце како би класификовали три класе радарских циљева: особе, возила – гусеничаре и возила – точкаше. Међутим, у [14] критички су разматрани резултати презентовани у [13] и показано је да је примењене техника дала сувише оптимистичке резултате. Скривени Марковљеви модели су примењени за класификацију циљева добијених са излаза високорезолуционих радара, [15].

Референтна и коришћена литература:

[1] Damarla, T., 2008. Hidden Markov Model as a Framework for Situational Awareness, in: Information Fusion, 2008 11th International Conference on, June 30 2008-July 3 2008, Cologne, pp. 1 – 7

[2] Симић С., Зејак А., 2007. Детекција аудио сигнала импулсно – Доплерових радара у временско – фреквенцијском домену, in: 2. научно – стручни скуп ОТЕХ, Београд, 03-05.10.2007.

[3] Bilik I., Tabrikian J., Cohen A., GMM – Based Target Classification for Ground Surveillance Doppler Radar, in: IEEE Transaction on Aerospace and Electronic Systems, 42, (1), 2006, pp. 267 – 278

[4] Chen V, Ling H, The Micro – Doppler Effect in Radar, Artech House, Boston, 2011.

[5] Chen, V., Tahmoush D., Miceli W., Micro – Doppler Signatures – Review, Challenges and Perspectives, in: Radar – Micro Doppler Signatures: Processing and Applications, Edited by Chen, V., Tahmoush D., Miceli W., IET, London, 2014

[6] Chen V, Ling H, Time – Frequency for Radar Imaging and Signal Analysis, Artech House, Boston, 2002.

- [7] Molchanov P., Asstola J., Egiazarian K., Totsky A. Classification of Ground Moving Radar Targets using Joint Time – Frequency Analysis, in: IEEE Radar Conference, Atlanta, USA, 7-11 May 2012, pp. 1-6
- [8] Andrić M., Đurović Ž., Zrnić B., Ground Surveillance Radar Target Classification based on Fuzzy Logic Approach, in: Computer as a Tool, 2005. EUROCON 2005, The International Conference on, 2, IEEE, pp. 1390-1392, Belgrade
- [9] Thayaparan T, Stanković Lj, Đurović I, Micro-Doppler Based target Detection and Feature extraction in Indoor and Outdoor Environments, Journal of the Franklin Institute vol. 345, no. 6, pp. 700 - 722, September, 2008
- [10] Orović I, Stanković S, Thayaparan T, Stanković Lj, Multiwindow S-method for Instantaneous Frequency Estimation and its Application in Radar Signal Analysis, IET Signal Processing vol. 4, no. 4, pp. 363 - 370, August, 2010
- [11] Yessad D., Amrouche A., Debyeche M., Djeddou M., 2015, Micro-Doppler Classification for Ground Surveillance Radar Using Speech Recognition Tools, in: Progress in Pattern Recognition, Image Analysis, Computer Vision and Applications, Proceedings of 16th Iberoamerican Congress CIARP 2011, November 15-18, 2011
- [12] McConaghy T, Leung H., Bosse E., Varadan V., Classification of Audio Radar Signals Using Radial Basis Function Neural Networks, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 52, no. 6, pp. 1771 - 1779, December, 2003.
- [13] Jahangir M., Pointing K., O’Loghlen J., Robust Doppler Classification Technique Based on Hidden Markov Models, in: IEE Proceedings Radar Sonar Navigation, 2003, 150, (1), pp. 33-36
- [14] Jahangir M., Pointing K., O’Loghlen J., Correction to Robust Doppler Classification Technique Based on Hidden Markov Models, in: IEE Proceedings Radar Sonar Navigation, 2003, 150, (5), pp. 387
- [15] Runkle P, Bharadwaj P, Couchman L, Carin L, Hidden Markov Models for Multiaspect Target Classification, IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 47, No. 7, July 1999., pp. 2035 - 2040

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методологија примењена у овој дисертацији је била да се примене скривени Марковљеви ланци као модел сложеног стохастичког процеса ради праћења и препознавања циљева у окружењу извиђачких радара. Са посебном пажњом су анализирани артефакти у реалним радарским сигнаlima који се на било који начин издвајају у временско – фреквенцијском домену, а све у циљу издвајања карактеристика које носе информацију о врсти циља у анализираном реалном радарском сигналу. У циљу обезбеђења визуелне супервизије и смањењу комплексности предложених алгоритама, примењени су поступци редуkcије димензија података. Објективна мера успешности спроведених истраживања био је експериментални резултат спроведен коришћењем базе реалних радарских сигнала који је прикупљен за потребе истраживања у овој дисертацији. На основу издвојених и редукованих обележја извршено је пројектовање експертског система за праћење и препознавање циљева у окружењу извиђачких радара. Овај експертски систем је пројектован на основу скривених Марковљевих ланаца као модела сложеног стохастичког процеса. За разлику од Калмановог филтра који претпоставља да су обележја Гаусовски расподељена и честичним филтрима који су засновани на секвенцијалним Монте Карло симулацијама, опис сложеног

стохастичког система заснован на скривеним Марковљевим ланцима омогућава моделовање сложених стохастичких процеса. Избор стања скривених Марковљевих ланаца тако да свако стање одговара једној врсти разматраних радарских циљева, омогућило је детекцију промена ситуације у окружењу извиђачких радара. О адекватности примењених научних метода истовремено говоре и савремена литература посвећена овој теми, али истовремено и резултати праћења и препознавања циљева у окружењу извиђачких радара добијени на експериментално снимљеној бази података. Посебна вредност ове дисертације се огледа у тестирању пројектованог експертског система на реалним сигнаlima прикупљених са аудио – излаза извиђачког радара, па су сви резултати праћења и препознавања циљева експериментално верификовани.

#### 3.4. Применљивост остварених резултата

Крајњи циљ докторске дисертације кандидата Димитрија Бујаковића јесте пројектовање експертског система за праћење и препознавање циљева у окружењу извиђачких радара, као и анализа предности и недостатака предложеног експертског система у смислу тачности класификације и даље примене овог система. На свим појединим корацима вршене су одређене припреме за повећање тачности и потенцијалну имплементацију у реалном окружењу и у реалном времену аквизиције сигнала са излаза извиђачких радара, нпр. пре издвајања обележја извршена је одговарајућа предобрада сигнала, пре класификације понашања радарских циљева извршена је редукација димензија вектора обележја, итд. Експертски систем је верификован на реалним радарским сигнаlima снимљеним за потребе истраживања спроведеног у овој дисертацији што додатно повећава његову евентуалну примену у реалном окружењу. Другим речима, имајући у виду нумеричку сложеност предложеног алгорита, могућност да се овакав алгоритам имплементира у савременим радарима за извиђање земљишта, робусност предложеног експертског система на варијације у појави различитих врста радарских циљева, добијене резултате у класификацији и праћењу понашања радарских циљева, мале вероватноће лажног аларма и мале вероватноће пропуштене класификације, применљивост развијеног експертског система је изузетно висока. Један од недостатака спроведеног истраживања је била ограниченост расположиве базе снимака, те би стога, у циљу комплетне анализе, пре потенцијалне практичне примене развијеног експертског система за праћење и препознавање циљева у окружењу извиђачких радара било неопходно додатно тестирање предложеног експертског система у различитим условима коришћења (неравни терен, постојање препрека, радарски циљеви се не крећу на линији осматрања радара и др.).

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

Кандидат мр Димитрије Бујаковић је истраживању и изради ове докторске дисертације посветио шест година. Током овог времена значајну пажњу је посветио изучавању тангентних научних дисциплина као што су стохастички системи и теорија естимације, теорија статистичке обраде сигнала, теорија детекције и одлучивања, праћење покретних циљева и обрада радарских сигнала. Изучавајући ове области, а истовремено радећи на својој дисертацији, кандидат је показао систематичност, упорност, креативност, самосталност, зрелост и могућност примене и синергије резултата из различитих научних области. Проблем којим се бави ова дисертација је веома актуелан а добијени резултати превазилазе недостатке постојећих решења. Остварени доприноси су оригинални и они сами по себи потврђују способност кандидата за самостални научно-истраживачки рад.

## 4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Имајући у виду све напред наведено као и на основу приложеног рукописа дисертације, чланови Комсије могу систематизовати остварене научне доприносе на следећи начин:

1. Исцрпним прегледом релевантне литературе извршена је систематизација метода класификације радарских циљева, односно метода за праћење њиховог понашања, уз анализу предности, недостатака и услова под којима је свака од метода применљива. Са тог становишта, сачињени преглед представља квалитетан и детаљан увод у област класификације и праћења циљева применом извиђачких радара. Истовремено, материјал садржан у овој дисертацији може представљати полазну основу за будућа истраживања класификације циљева извиђачким радарима.
2. Предложена је структура експертског система заснована на скривеним Марковљевим ланцима намењеног за праћење и препознавање циљева у окружењу извиђачких радара. Овај експертски систем је тестиран на реалним сигнаlima са аудио излаза извиђачких радара. Као вектори обележја коришћени су параметри модела ауторегресивних процеса ових сигнала редуковани на различит број димензија како би се смањила нумеричка сложеност алгорита.
3. Током истраживања припремљена је и генерисана велика база реалних сигнала са излаза извиђачких радара. Оно што издваја ову базу у односу на друге доступне базе реалних радарских сигнала је то да је ова база снимљена у оквиру пажљиво припремљеног сценарија тако да се у оквиру једне секвенце може налазити више врста радарских циљева, али се у сваком тренутку у зони осматрања радара налази само један тип циљева. Прикупљена база реалних радарских сигнала може послужити и другим истраживачима у области детекције и класификације радарских сигнала ради тестирања својих алгорита.
4. У дисертацији је, на конзистентан и објективан начин, спроведена анализа концентрације енергије у временско – фреквенцијској равни, која је послужила као оптимизациони критеријум за избор дужине и типа прозорске функције у условима окружења различитим типовима радарских циљева.
5. Додатни допринос ове дисертације представља и оригинална мера за одређивање реда параметара ауторегресивних модела реалних радарских сигнала. Ова мера, настала као резултат истраживања приказаних у овој дисертацији, је заснована на максималној сепарацији вектора обележја која потиче од различитих класа радарских циљева. Резултати добијени овом мером су упоређени са стандардним мерама предложеним у литератури. Поређење је извршено на основу непристрасног критеријума који се огледа у коначној вероватноћи исправне класификације типа радарског циља. Добити резултати показују да се, применом новопредложене мере, добија видљиво мања вероватноћа погрешне класификације при чему је одабрани ред параметара ауторегресивних модела радарских сигнала значајно мањи од реда параметара одређених мерама предложеним у литератури. Са друге стране, треба нагласити да се примена овако дефинисане мере не завршава у домену радарских сигнала, већ се може применити и при одређивању оптималног реда параметара ауторегресивних модела других врста сигнала ради њихове класификације.



#### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Значајни део докторске дисертације је посвећен анализи добијених резултата. У односу на постојеће стање у области, узимајући у обзир резултате публиковане до дана предаје докторске дисертације, као предности предложене технике се могу навести следеће чињенице:

1. предложени експертски систем је пројектован ради детекције промене врсте циљева у окружењу извиђачких радара, за разлику од осталих експертских система који су пројектовани под претпоставком да у току анализираних секвенци није дошло до промене врсте радарског циља.
2. као вектори обележја коришћени су параметри ауторегресивних модела реалних радарских ехо сигнала, чији је ред одређен на основу мере предложене у овој дисертацији. Овако добијена обележја показују предност у односу на стандардне технике којима се априори врши избор реда параметара ауторегресивних модела.
3. изабрана је дужина прозорске функције која обезбеђује максималну концентрацију енергије око централне Доплерове учестаности на основу мера предложених у литератури. Овако одређена дужина прозорске функције показује предност у односу на стандардне технике којима се апприорно врши њен избор или се мере концентрације енергије одређују не на реалним сигнаlima, већ на симулираним сигнаlima са излаза извиђачких радара.

Са друге стране, објективно постоје и елементи истраживања који нису спроведени у приложеној дисертацији, а који су углавном последица њихове обимности, што би превазишло уобичајен обим докторске дисертације. Ови недостаци или путокази за даље истраживање у овој области се могу формализовати и навести у следећем низу:

1. у дисертацији је показано да су параметри ауторегресивних модела реалних радарских сигнала зависни од централне Доплерове учестаности, док се информације о класи радарских циљева налазе око ње. Другачији избор вектора обележја би могао да узрокује већу тачност класификације разматраних појава, као и мању вероватноћу лажног аларма.
2. у дисертацији је предложена једна топологија скривених Марковљевих модела, док се, можда, избором другачије топологије може постићи повећање тачности класификације појава у окружењу извиђачких радара и смањење вероватноће лажног аларма.
3. од великог значаја би била додатна верификација предложеног експертског система на другим базама реалних радарских сигнала у циљу даљег развоја, критичке анализе и адаптације предложеног експертског система за примену у реалном окружењу
4. као занимљив и изазован задатак се појављује могућност тестирања и утврђивања перформансе нове технике у области детекције активности при чему су улази у експертски систем сигнали са излаза оптоелектронских сензора, или пак фузија података добијених на излазу радарског и оптоелектронских сензора.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

У току истраживачког рада, у ужој области теме докторске дисертације, кандидат мр Димитрије Бујаковић објавио је следеће радове:

##### Категорија М23:

1. **Бујаковић, Д.**, Andrić, M., Bondžulić, B., Mitrović S., Simić S.: Time–Frequency Distribution Analyses of Ku-Band Radar Doppler Echo Signals, - *Frequenz*, vol. 69, no. 3-4, pp. 119-128, 2015 (**IF=0.393**) (ISSN (Online) 2191-6349, ISSN (Print) 0016-1136) (DOI: 10.1515/freq-2014-0093).
2. Andrić, M., **Бујаковић, Д.**, Bondžulić, B., Simić S., Zrnić B.: Analysis of Radar Doppler Signature from Human Data, - *Radioengineering*, vol. 23, no. 1, pp. 11-19, 2014 (**IF=0.653**) (ISSN (Online) 1805-9600, ISSN (Print) 1210-2512) (DOI: 10.2478/jee-2013-0044).

##### Категорија М33:

1. Andrić, M., Bondžulić, B., **Бујаковић, Д.**, Mitrović, S.: “Analysis of Radar Doppler Echoes from Various Ground Moving Targets,” -*Proceedings of the 14th International Conference on Aerospace Sciences and Aviation Technology – ASAT 2011*, Cairo, Egypt, 2011., pp. 166-171.
2. Andrić, M., **Бујаковић, Д.**, Zrnić, B.: “Cepstrum – based Analysis of Radar Doppler Signals,” - *Proceedings of the 10th International Conference on Telecommunication in Modern Satellite Cable and Broadcasting Services (TELSIKS 2011)*, Niš, Serbia, 2011., pp. 575-578.
3. Andrić, M., **Бујаковић, Д.**, Bondžulić, B., Zrnić, B.: “ Spectral Analysis of Radar Doppler Echoes from Various Ground Moving Targets,” -*Proceedings of the 4th International Scientific Conference on Defensive Technologies (ОТЕН 2011)*, Belgrade, Serbia, 2011., pp. 470-474.

##### Категорија М63:

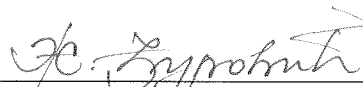
1. Андрић М., **Бујаковић, Д.**: “Анализа радарских сигнала помоћу ентропије,” –*Зборник 16. Конференције о рачунарским наукама и информационим технологијама YUINFO 2010*, Копаоник, Србија, 2010., pp. 573-577.
2. Андрић М., **Бујаковић, Д.**: “Ентропија у анализи радарских сигнала,” –*Зборник 54. конференције Друштва за електронику, телекомуникације, рачунарску технику, аутоматику и нуклеарну технику ЕТРАН 2010*, Доњи Милановац, Србија, 2010., pp. ЕМ1.3.1-4.
3. Andrić, M., **Бујаковић, Д.**, Zrnić, B.: “Radar Echoes Signals Analysis using Real Cepstrum,” – *Зборник 55. конференције Друштва за електронику, телекомуникације, рачунарску технику, аутоматику и нуклеарну технику ЕТРАН 2011*, Бања Врућица, Теслић, Босна и Херцеговина, 2011., pp. АУ2.3.1-4.
4. **Бујаковић, Д.**, Андрић М., Бонцулић, Б., Митровић С., Симић, С.: “Један приступ аутоматској класификацији покретних радарских објеката,” –*Зборник 56. конференције Друштва за електронику, телекомуникације, рачунарску технику, аутоматику и нуклеарну технику ЕТРАН 2012*, Златибор, Србија, 2012., pp. АУ1.4.1-4.
5. **Бујаковић, Д.**, Андрић М., Бонцулић, Б., Митровић С.: “Математички модели Доплерових радарских ехо сигнала,” –*Зборник 58. конференције Друштва за електронику, телекомуникације, рачунарску технику, аутоматику и нуклеарну технику ЕТРАН 2014*, Врњачка бања, Србија, 2014., pp. АУ1.3.1-4.
6. **Бујаковић, Д.**, Симић, С., Андрић М., Бонцулић, Б., Митровић С.: “Издвајање обележја реалних радарских ехо сигнала коришћењем спектрограма,” –*Зборник 59. конференције*

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу свега изложеног, Комисија сматра да дисертација испуњава све законске, формалне и суштинске услове, као и све критеријуме који се уобичајено примењују приликом вредновања докторске дисертације. Узимајући у обзир све наведене научне доприносе, новопредложени експертски систем на бази скривених Марковљевих ланаца за праћење и препознавање циљева у окружењу извиђачких радара и његову применљивост на реалне системе који се користе у војсци, показану зрелост кандидата и његову способност за научно-истраживачки рад, Комисија сматра да докторска дисертација кандидата мр Димитрија Бујаковића садржи оригиналне научне доприносе који имају доказану применљивост у области аутоматике. Стога Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом „Експертски систем за праћење и препознавање циљева у окружењу извиђачких радара“ кандидата мр Димитрија Бујаковића, прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

у Београду,  
дана 30.03.2016.



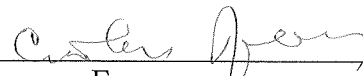
др Жељко Буровић, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



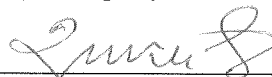
др Бранко Ковачевић, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Миленко Андрић, ванредни професор  
Универзитет одбране у Београду – Војна академија



др Стевица Граовац, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Горан Дикић, ванредни професор  
Универзитет одбране у Београду – Војна академија