

## STATISTIČKA I MULTIMEDIJALNA ANALIZA RADARSKÉ SLIKE U PRISUSTVU LED ŠUMA

Andreja Samčović<sup>1</sup>, Nikola Tošić<sup>2</sup>, Dejan Drajić<sup>3</sup>, Nenad Dumbelović<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, andrej@sf.bg.ac.rs

<sup>2</sup> nikola.tosic2017@gmail.com

<sup>3</sup> Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet, ddrajić@etf.rs

<sup>4</sup> Vlatacom institut visokih tehnologija, nenad.dumbelovic@gmail.com

**Rezime:** *Kratkotalasni radar analiziran u ovom radu se primarno koristi za detekciju brodova na moru. Ovaj radar koristi vertikalno polarizovane elektromagnetne talase kako bi ostvario detekciju brodova, a primarno područje koje se želi pokriti je Ekskluzivno-Ekonomska Zona. Performanse kratkotalasnih radara mogu da budu degradirane najviše zahvaljujući spoljnoj interferenciji, a primarna interferencija koja će se biti analizirana u ovom radu potiče od elektromagnetnog šuma usled smetnji prouzrokovanih LED osvetljenjem. RD slika se može ekstrahovati kao jedan od koraka kod procesiranja prijemnog signala i predstavlja dvodimenzionalnu sliku gde je prikazana spektralna gustina snage radarskog eho signala. Uz pomoć sofisticirane analize koja se primenjuje nad RD slikom izvršiće se multimedijalna analiza, kao i statistička analiza histograma RD slike.*

**Cljučne reči:** *elektromagnetne smetnje, obrada slike, kratkotalasni radar, radijacioni LED šum*

### 1. Uvod

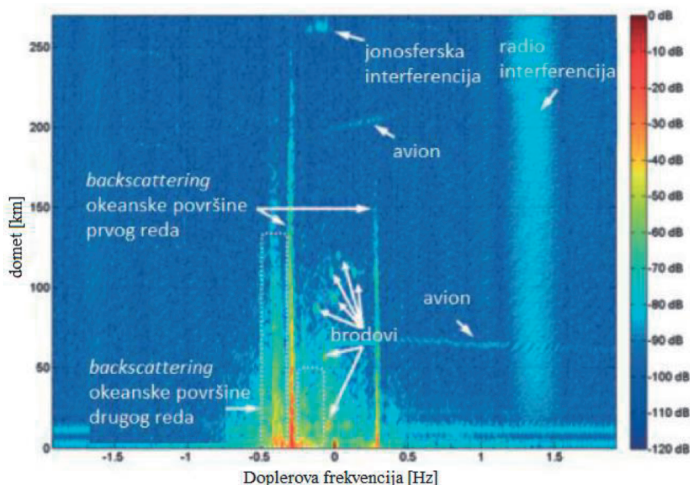
Analiza eksternih smetnji koje imaju uticaj na funkcionisanje radara je veoma važna zbog kvaliteta detekcije radarskih ciljeva. Izdvajanje radarskog signala iz intereferencije kod radara je mnogo teže nego kod komunikacionih sistema jer se signal reflektuje od radarskog cilja kome nije primarni cilj da bude detektovan. Sa druge strane, kod komunikacionih sistema signal se detektuje od predajne antene koja emituje elektromagnetni signal u cilju međusobnog komuniciranja. U opsegu frekvencija od 3 do 30 MHz eksterni šum daleko više dominira od unutrašnjeg šuma sistema. Smetnje u radarskim kanalima se mogu posmatrati kao slučajan proces, a sve ovo ima za posledicu kompleksno izdvajanje korisnog signala iz šuma. Eksterna interferencija ima negativan uticaj na kratkotalasni radar, a u ovom radu posebno će se analizirati elektromagnetni radijacioni šum koji potiče od LED (*Light Emitting Diode*) osvetljenja. Za analizu ovih smetnji je korišćena RD (*Range Doppler*) slika, na kojoj se mogu uočiti mnogo različitih smetnji. Sa obzirom na to da se u poslednje vreme usled ekonomičnosti sve više poslovnih

i rezidencijalnih korisnika okreće LED osvetljenju, negativni uticaj elektromagnetnog šuma usled LED osvetljenja sve više predstavlja problem za rad telekomunikacionih uređaja u blizini u novije vreme.

## 2. Kratkotalasni radari i RD slika

Kratkotalasni radar nad kojim su sprovedena istraživanja u ovom radu koristi površinske radio talase za detekciju brodova od moru. Ovi radari imaju mogućnost da detektuju brodove koji se nalaze iza linije horizonta. Područja pokrivenosti su daleko izvan konvencionalnih mikrotalasnih radarskih područja. Kratkotalasni radari se mogu koristiti, pored detekcije brodova, i za mnoge druge aplikacije, kao što su detekcija cunamija, morskih struja, detektovanje santi leda i dosta toga, a sve u okviru Ekskluzivno-Ekonomske Zone države koja izlazi na more. Nadgledanje morske aktivnosti je veoma važno pitanje u zaštiti nacionalnog suvereniteta države koja ima izlaz na more [1].

Kod procesiranja prijemnog signala kratkotalasnog radara može se izdvojiti RD slika. Na Slici 1 je prikazana spektralna gustina snage radarskog eho signala. Jedna osa ove slike predstavlja Doplerovu frekvenciju, a druga osa označava rastojanje radarskog cilja od radara koji se koristi za detekciju cilja od interesa. Primer jedne RD slike se može videti na Slici 1.



Slika 1. RD slika kada su prisutne određene smetnje [2]

Kada se završi procesiranje prijemnog signala, mogu se dobiti dragocene informacije kao što su mape okeanskog kretanja, spektar mapa talasa i pravac vetra. Neki od projekata koriste ove tehnike kako bi pratili brzinu vetra, morskih struja kao i praćenje brodova [3]. Metode obrade RD slike su pogodne za eliminisanje šuma i postoje već publikovani radovi gde je pokazano da se nad RD slikom mogu primeniti metode obrade slike [4]. Takođe, autori rada [5] su koristili metode obrade RD slike kratkotalasnog radara, a sve u cilju izdvajanja detektovane mete iz kumulativnog šuma. Međutim, ne koristi se obrada RD slike samo kod aplikacija detekcije brodova korišćenjem kratkotalasnog radara [5] već se takođe može koristiti i kod ublaživanja drugih eksternih smetnji kod kratkotalasnog radara, kao na primer ublažavanje smetnji koje potiču i od vetroturbina.

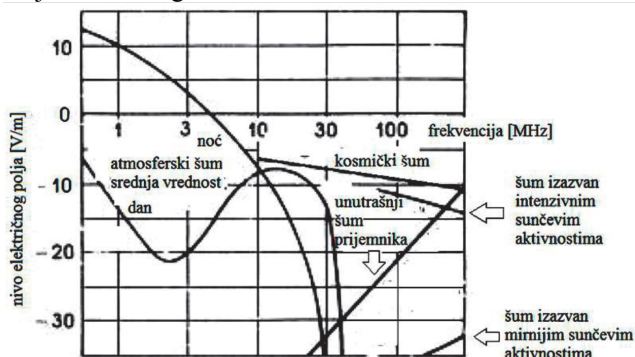
### 3. Smetnje kod kratkotalasnog radara

Refleksije elektromagnetnih talasa od jonosfere predstavljaju smetnju kod kratkotalasnog radara koji prvenstveno ima za cilj detekciju brodova. Ovi tipovi smetnji degradiraju informacijski sadržaj radara. Jonosferska smetnja nije jedini tip smetnji koji postoji, a smetnje koje se još mogu javiti mogu poticati od različitih izvora. Generalno, smetnje mogu da se podele na dve grupe: aktivne i pasivne smetnje.

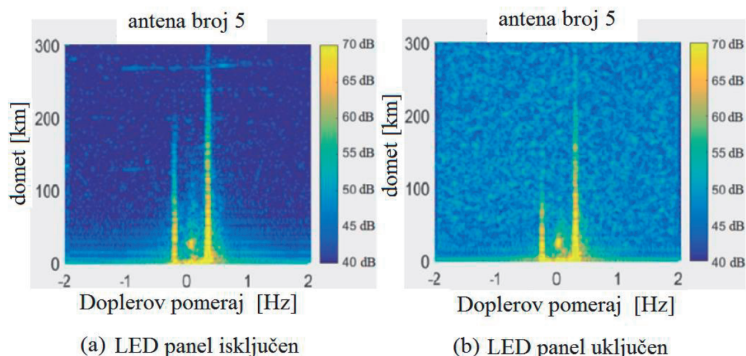
Aktivne smetnje mogu biti [6]:

- Atmosferske smetnje;
- Kosmičke smetnje;
- Radio-interferencije;
- Šum izazvan čovekovim uticajem.

Kao što se može primetiti, jedan od tipova aktivnih interferencija jeste šum izazvan čovekovim uticajem, a u ovu grupu se može svrstati i LED šum. Kada se poredi sa mikrotalasnim radarom, priroda smetnji koja se posmatra na samom radaru je značajno različita. Na HF opsegu eksterne smetnje dominiraju nad internim smetnjama unutar prijemnika. Kako se povećavaju operativne frekvencije radara, odnosno na radarima koji imaju VHF i UHF radne frekvencije glavni izvor interferencije koja limitira rad radara polako postaje unutrašnji šum prijemnika, sve dok ne postoji neki aktivni izvor koji intenzivno zauzima spektar radara. Slika 2 generalno prikazuje izvore smetnji koji svojim postojanjem emituju elektromagnetni šum.



Slika 2. Različiti izvori elektromagnetnih smetnji koji mogu uticati na radar [7]



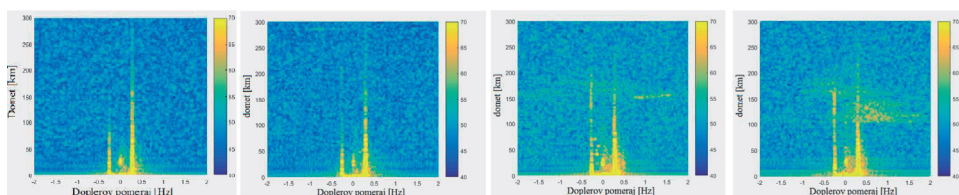
Slika 3. RD slika kada nije prisutan LED šum kod kratkotalasnog radara (levo,) i kada jeste prisutan (desno) [8]

Usled nedovoljno istraženog uticaja LED smetnji, rad će se generalno fokusirati na analizu smetnji kada postoji šum zahvaljujući LED osvetljenju u blizini radarskog sistema. Slika 3 prikazuje primer kako izgleda RD slika kada je prisutan LED šum. Podaci su prikupljeni sa operativne radarske lokacije instalirane na zapadnoj obali Afričkog kontinenta.

#### 4. Uticaj LED smetnji na kratkotalasni radar i analiza RD slike

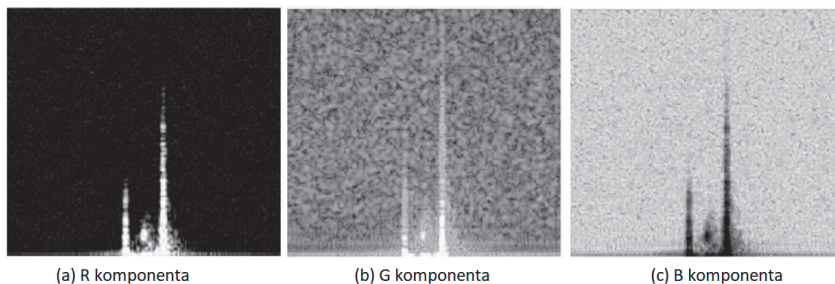
LED osvetljenje u poslednje vreme postaje sve popularnije usled niže potrošnje električne energije, manje veličine kao i zahvaljujući dužem radnom veku. Ovi tipovi osvetljenja u velikoj količini koriste prekidački izvor napajanja zahvaljujući kom se dešavaju značajna harmonijska izobličenja usled prisustva diodnih mostova sa kondenzatorima zahvaljujući čemu se stvara predidačka struja. Ovi izvori napajanja se popularno nazivaju „drajveri”. Njihova uloga jeste da pretvore jednosmernu struju iz naizmennične, a prekidačka frekvencija za ovaj tip napajanja kreće se u opsezima od 50 do 100 kHz, međutim harmonijska izobličenja se javljaju na mnogo višim frekvencijama. Prisustvo ovih smetnji je primećeno i kod kratkotalasnih radara [9].

U realnim uslovima, pored LED smetnji, mogu se javiti i drugi tipovi smetnji. Slika 4 daje prikaz kako izgledaju RD slike kada je prisutan jonosferski šum različitih intenziteta i LED šum, simultano. Ove slika je prikupljena u realnom radu sa operativne radarske lokacije.



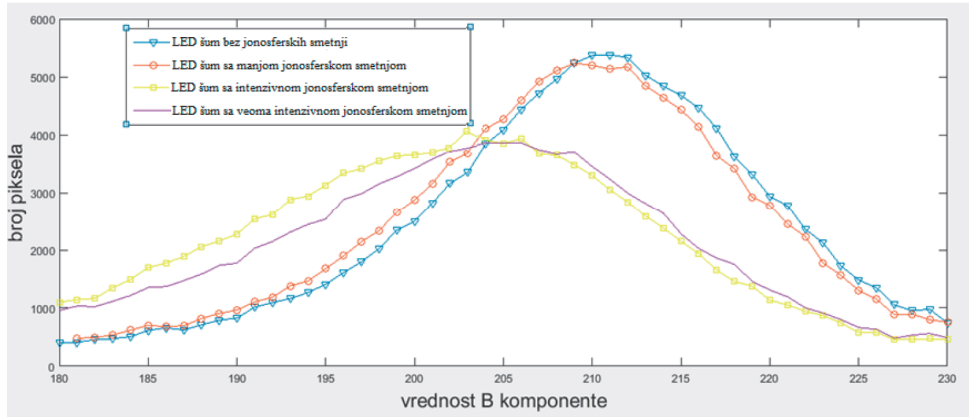
Slika 4. Simultane smetnje usled LED šuma i jonosferske smetnje različitih intenziteta

Mitigacija LED šuma na RD slici se može izvršiti i to je detaljno opisano u radu [8], a kao jedan od koraka je analiza histograma B (blue) komponente RGB (Red Green Blue) kolor modela RD slike [10]. Razlaganje RD slike na RGB komponente izgleda kao na Slici 5.

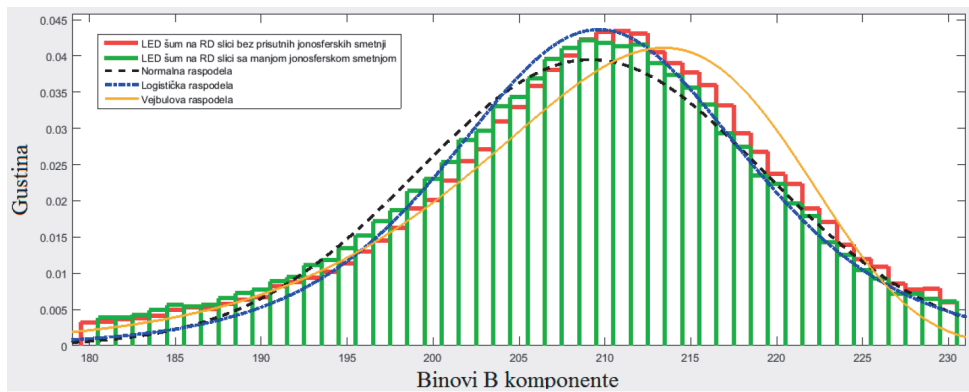


Slika 5. RGB komponente originalne RD slike [8]

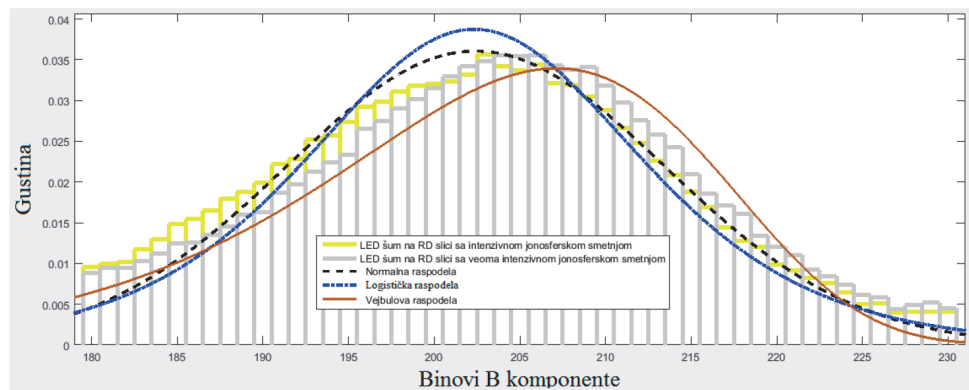
U radu [8] pokazano je da su binovi u opsegu 180-230 najugroženiji LED šumom. Kada bi se analizirali binovi najviše ugroženi LED šumom histograma B komponente za primere sa Slike 4, to bi izgledalo kao na Slici 6.



Slika 6. Histogrami različitih RD slika degradiranih LED šumom sa različitim jonoferskim smetnjama [8]



Slika 7. Analiza histograma B komponente uz simultano prisustvo slabog ili nimalo prisutnog jonoferskog šuma, kao i LED šuma [8]



Slika 8. Analiza histograma B komponente uz simultano prisustvo intenzivnog i veoma intenzivnog jonoferskog šuma, kao i LED šuma [8]

Odavde se može primetiti da za veće intenzitete drugih smetnji, amplituda histograma opada. Ova analiza je veoma bitna jer se na ovu analizu oslanja određivanje praga za područje ugroženo LED šumom. Ukoliko želimo da analiziramo kojoj raspodeli najviše odgovaraju područja histograma binova od interesa malopre pomenute RD slike, to bi se sprovelo na sledeći način: Slika 7 i Slika 8 prikazuju poređenje ovih binova preko različitih funkcija gustina raspodele.

Kao što se može primetiti, tri raspodele su analizirane za date podatke. To su Gausova, Vejbulova i logistička raspodela. Gausova raspodela se može definisati funkcijom gustine verovatnoće, koja je prikazana formulom (1), dok je odgovarajuća funkcija raspodele prikazana formulom (2) [11]:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, -\infty < x < \infty \quad (1)$$

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(u-\mu)^2}{2\sigma^2}} du \quad (2)$$

Ovde  $\mu$  predstavlja srednju vrednost,  $\sigma^2$  predstavlja varijansu, odnosno srednje kvadratno odstupanje od srednje vrednosti, dok veličina  $\sigma$  označava standardnu devijaciju.

Funkcija gustine verovatnoće dvoparametarske Vejbulove raspodele se može definisati formulom (3), dok je njena odgovarajuća funkcija raspodele prikazana formulom (4) [11]:

$$f(x) = \frac{a}{b} \left(\frac{x}{b}\right)^{a-1} e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^a}, x > 0 \quad (3)$$

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^a} \quad (4)$$

U jednačinama (3) i (4)  $a$  označava parametar oblika, dok  $b$  predstavlja parametar skaliranja. U slučaju logističke raspodele, funkcija gustine verovatnoće se može definisati formulom (5), dok je njena odgovarajuća funkcija raspodele prikazana formulom (6) [11]:

$$f(x) = \frac{e^{-\frac{x-\mu}{s}}}{s \left(1 + e^{-\frac{x-\mu}{s}}\right)^2}, -\infty < x < \infty \quad (5)$$

$$F(x) = \frac{1}{1 + e^{-\frac{x-\mu}{s}}}, -\infty < x < \infty \quad (6)$$

U jednačinama (5) i (6), parametar  $\mu$  predstavlja srednju vrednost, dok se varijansa može dobiti formulom (7) koristeći parametar  $s$  iz formule (6) [11]:

$$\sigma^2 = \frac{s^2\pi^2}{3} \quad (7)$$

Tabela 1 prikazuje vrednosti parametara tih raspodela koje se najbolje poklapaju za prikupljene uzorke sa terena. Može se primetiti da u slučaju jako malog ili nimalo prisutnog jonosferskog šuma, a u isto vreme prisutnog LED šuma, raspodela teži logističkoj, dok kada jonosferska smetnja postane izraženija, raspodela se više približava Vejbulovoj [8]. Ova analiza je sprovedena korišćenjem *Matlab* softverskog alata.

*Tabela 1. Vrednosti parametara različitih raspodela za različite slučajeve RD slika u prisustvu LED šuma [8]*

	<b>RD slike degradirane LED šumom</b>	
	Tip 1: dodatna degradacija bez jonosferskog šuma i sa malom količinom jonosferskog šuma	Tip 2: dodatna degradacija sa intenzivnim i veoma intenzivnim jonosferskim šumom
<b>(Normalna raspodela)</b> Srednja vrednost	209,177	202,419
<b>(Normalna raspodela)</b> Standardna devijacija	10,1003	11,0594
<b>(Logistička raspodela)</b> Srednja vrednost	209,639	202,33
<b>(Logistička raspodela)</b> Standardna devijacija	5,72726	6,45132
<b>(Vejbulova raspodela)</b> Parametar <i>a</i>	213,822	207,702
<b>(Vejbulova raspodela)</b> Parametar <i>b</i>	23,8836	19,1442

## 5. Zaključak

Eksterni šum pridružen korisnom signalu ima negativnu osobinu da degradira informacioni sadržaj i time, konkretno kod kratkotalsnog radara negativno deluje na sposobnost detekcije ciljeva od interesa. Eksternih smetnji može postojati dosta, međutim akcenat je stavljen na elektromagnetni radijacioni šum koji potiče od LED osvetljenja. Ovaj šum izvorno potiče od prekidačkog izvora napajanja zahvaljujući kom se ostvaruju smetnje koje štete radu telekomunikacionih uređaja u okolini. Telekomunikacioni uređaj u ovom slučaju je kratkotalsni radar koji ima radnu frekvenciju u donjem opsegu HF opsega. Analiza ovih smetnji je sprovedena korišćenjem RD slike kratkotalsnog radara, a kolor model korišćen u ovoj analizi je RGB model. U ovom radu analizirane su smetnje i histogram RD slike, gde je na statistički način određeno kojoj raspodeli najviše odgovaraju ovi tipovi smetnji za različite scenarije. Pokazano je da u slučaju jako malog ili nimalo prisutnog jonosferskog šuma, a u isto vreme prisutnog LED šuma, raspodela teži logističkoj, dok kada jonosferska smetnja postane izraženija, raspodela se više približava Vejbulovoj raspodeli. Stoga se može primetiti značaj statističke analize, jer se na osnovu prisutne raspodele može odrediti da li je u većoj ili manjoj meri prisutna jonosferska smetnja, kada je simultano prisutan LED šum na RD slici.

U ovom radu nisu razmatrane konduktivne smetnje od LED osvetljenja, dok bi buduća istraživanja mogla da uključe u razmatranje i ove tipove smetnji. Treba uzeti u obzir da jonosferske smetnje nisu jedini tip smetnji. Statistička analiza bi takođe mogla da se sprovede kada bi bile uključene, simultano sa LED smetnjama i drugi tipovi smetnji, kao što su kosmički šum, različiti tipovi industrijskog šuma, kao i interferencije od drugih radnih stanica koje nelegalno rade na radnoj frekvenciji dodeljenoj namenski za kratkotalsni radar.

## Literatura

- [1] B. Džolić, N. Tošić, V. Orlić, M. Veinović, "Visualization Tools for Design of Maritime Surveillance System", *International Scientific Conference on Information Technology and Data Related Research SINTEZA*, Novi Sad, Serbia, pp. 546-552, 2019.
- [2] A. Dzvonnoskaya, K. W. Gurgel, H. Rohling, T. Schlick, "HF Radar WERA Application for Ship Detection and Tracking", *IET International Conference on Radar Systems*, vol. 7, Edinburgh, UK, pp. 1-8, 2007.
- [3] D. Nikolić, N. Tošić, B. Džolić, N. Grbić, P. Petrović, A. Đurević, N. Lekić, "Tailoring OTHR Deployment in Order to Meet Conditions in Remote Equatorial Areas", *IEEE International Colloquium on Signal Processing and its Applications*, Penang, Malezia, pp. 12-15, 2019.
- [4] Z. Fenghui, W. Yanfei, S. Hongmei, "A New Real Time Range-Doppler Imaging Algorithm", *International Symposium on Systems and Control in Aeronautics and Astronautics*, Harbin, China, pp. 119-122, 2010.
- [5] Q. Li, W. Zhang, M. Li, J. Niu, Q. M. J. Wu, "Automatic Detection of Ship Targets Based on Wavelet Transform for HF Surface Wavelet Radar", *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 14, no. 5, pp. 714-718, May 2017.
- [6] T. Wen-Long, L. Gao-Peng, X. Rong-Qing, "Linearly Constrained Coherent Sidelobe Canceler for Ionosphere Interference Suppression for HFSWR", *International Conference on Pervasive Computing, Signal Processing and Applications*, Harbin, China, pp. 618-623, 2010.
- [7] A. A. Kolosov, *Over The Horizon Radar*. Norwood, MA, USA: Artech House, 1987.
- [8] N. Tošić, "Mitigacija negativnog efekta radijacionog LED šuma na kratkotalasni radar metodama obrade RD slike", doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, 2020.
- [9] N. Tošić, A. Samčović, D. Nikolić, D. Drajić, N. Lekić, "An Algorithm for Detection of Electromagnetic Interference in High Frequency Radar Range-Doppler Images Caused by LEDs", *IEEE Access*, vol. 7, pp. 84413-84419, June 2019.
- [10] A. Samčović, *Multimedijalne komunikacije*, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, 2015.
- [11] S. C. Gupta, V. K. Kapoor, *Fundamentals of mathematical statistics*, 10th ed. New Delhi, India: Sultan Chand and Sons, 2000.

**Abstract:** *High Frequency (HF) radar analyzed in this paper is primarily used to detect ships at sea. This radar uses vertically polarized electromagnetic waves to achieve ship detection as targets of interest, and the primary area to be covered is the Exclusive Economic Zone. The performance of HF radars can be reduced mostly due to external interference, and the primary interference that will be analyzed in this paper originates from electromagnetic noise due to interference caused by LED light. The RD image can be extracted as one of the steps in processing the received signal and represents a two-dimensional image where the spectral power density of the radar echo signal is shown. With the help of sophisticated analysis applied to the RD image, a multimedia analysis was performed, as well as a statistical analysis of the histogram of the RD image.*

**Keywords:** *electromagnetic interference, image processing, high frequency radar, radiation LED noise*

### STATISTICAL AND MULTIMEDIA ANALYSIS OF RADAR IMAGE IN THE PRESENCE OF LED NOISE

Andreja Samčović, Nikola Tošić, Dejan Drajić, Nenad Dumbelović