

DETEKCIJA I UMANJENJE LED ŠUMA KOD HF RADARA METODAMA OBRADJE RD SLIKE

Andreja Samčović¹, Nikola Tošić^{1,2}

¹Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet

²Vlatakom institut visokih tehnologija d. o. o.

andrej@sf.bg.ac.rs; n.tosic@sf.bg.ac.rs

Rezime: *Osvetljenje prostorija u novije vreme se ostvaruje koristeći LED (Light Emitting Diode) sijalice i panele, usled znatno niže potrošnje struje, manje veličine i dužeg radnog veka u odnosu na tradicionalne sijalice. Elektromagnetne smetnje koje se ovde javljaju stvaraju interferenciju mnogim frekvencijskim opsezima. Međutim, na HF (High Frequency) opsegu ova problematika nije dovoljno istražena, dok smetnje svakako mogu degradirati performanse telekomunikacionih uređaja. Primer telekomunikacionog uređaja na koji mogu negativno uticati ove smetnje jeste kratkotalasni radar. Praktična eksperimentalna istraživanja su prvo sprovedena u polu-anehoičnoj sobi Vojno-tehničkog instituta u Beogradu, a zatim i na trenutno operativnoj lokaciji kratkotalasnog radarskog sistema na zapadnoj obali afričkog kontinenta. U ovom radu analiziraće se kakav uticaj imaju LED smetnje koristeći RD (Range Doppler) sliku. Nad RD slikom primenjene su metode obrade slike u cilju detektovanja i ublažavanja radijacionog LED šuma. Kratkotalasni radar analiziran u ovom radu se primarno bavi detekcijom brodova u pomorskom saobraćaju, unutar Ekskluzivno-ekonomske zone.*

Ključne reči: *elektromagnetske smetnje, radijacioni LED šum, obrada slike, kratkotalasni radar*

1. Uvod

U poslednje vreme veliki značaj se pridaje smanjenju potrošnje električne energije. U tom pravcu, tradicionalni tipovi osvetljenja se zamenjuju novim tipovima, LED (*Light Emitting Diode*) osvetljenjima usled prvenstveno niže potrošnje električne energije u odnosu na tradicionalne sijalice. Ovaj tip osvetljenja zaista ima svoje prednosti, ali često može praviti problem operativnim telekomunikacionim uređajima u neposrednoj blizini. Ovaj rad će se fokusirati na radijacioni tip zračenja i analiziraće se u kojoj meri se ove smetnje emituju na HF (*High Frequency*) opsegu, kao i kakav uticaj ove smetnje mogu imati na kratkotalasni radarski telekomunikacioni sistem. Biće prikazano kako se može detektovati LED šum, a kasnije i umanjiti, metodama obrade RD (*Range Doppler*) slike.

Rad je organizovan na sledeći način. Nakon uvodnog dela, u drugom poglavlju je dat pregled najbitnijih prednosti i mana koje LED osvetljenje nosi sa sobom. Svakako, akcenat je stavljen i na njihov negativan uticaj na različite telekomunikacione sisteme. U

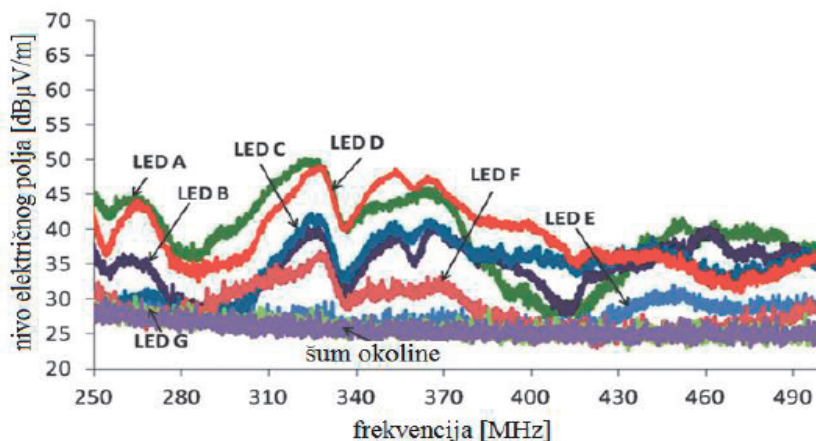
trećem poglavlju se u kratkim crtama opisuje kratkotalasni radar namenjen za detekciju brodova na moru. Četvrto poglavlje je posvećeno RD slici, gde je opisano zašto je ona važna za detekciju brodova i kako se na njoj mogu detektovati eksterne smetnje, pa i šum koji potiče od LED osvetljenja. Peto poglavlje daje prikaz algoritama za detekciju i ublažavanje LED šuma koristeći RD sliku kratkotalasnog radara. Najvažniji zaključci su navedeni u šestom poglavlju.

2. LED osvetljenje danas i uticaj na telekomunikacione uređaje

LED sijalice i paneli danas sve više zamenjuju tradicionalne tipove osvetljenja, kao što su oni sa užarenim vlaknima. Razlog tome je drastično niža potrošnja energije, manja veličina, kao i duži radni vek. Kako bi postigli energetske efikasnosti, LED osvetljenje koristi prekidački izvor napajanja, koji se najčešće naziva „drajver“. Drajveri pretvaraju jednosmernu struju iz naizmjenične i osnovna prekidačka frekvencija se kreće u opsezima od 50 do 100 kHz. Zahvaljujući prekidačkoj frekvenciji, LED drajveri preko napojnih kablova mogu da emituju radijacione i konduktivne elektromagnetne smetnje i time degradiraju informacioni sadržaj telekomunikacionih uređaja u neposrednoj blizini. Ovaj problem je primećen prvi put u Japanu 2010. godine, kada je primećen lošiji prijem analognog TV signala zahvaljujući smetnjama koje uzrokuje LED osvetljenje [1].

Proizvođači LED osvetljenja su dužni da uređaje prave u skladu sa specifičnim zahtevima koji se tiču elektromagnetne kompatibilnosti i stoga na opremu stavljaju znak CE (*European Conformity*). Međutim, proizvođači se najčešće ne drže pravilnika i granica definisanim međunarodnim standardima i to otežava rad telekomunikacionim uređajima na različitim frekventijskim opsezima.

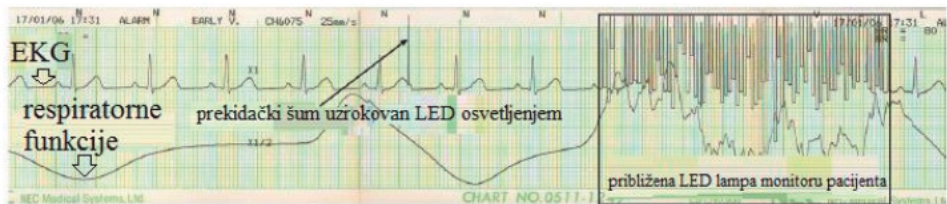
Smetnje od LED osvetljenja se mogu podeliti na dva tipa: konduktivne i radijacione. U ovom radu akcenat će biti stavljen na radijacioni tip smetnji. Ovaj tip smetnji koji potiče od LED osvetljenja je analiziran u velikom broju radova, međutim frekventijski opseg od 3 do 30 MHz je nedovoljno istražen. Slika 1. prikazuje radijacione smetnje gde su autori rada [2] analizirali ovu problematiku za nekoliko različitih tipova LED osvetljenja.



Slika 1. Smetnje za različite tipove LED osvetljenja na frekventijskom opsegu od 250 do 490 MHz [2]

Mnogi telekomunikacioni uređaji mogu imati degradirane performanse zahvaljujući ovim smetnjama. Tako je u radu [3] pokazano da se ove smetnje mogu

negativno odraziti na digitalnu televiziju. Rad [4] je pokazao da se funkcija raspodele verovatnoće amplituda šuma koja potiče od LED osvetljenja može dovesti u vezu sa BER-om (*Bit Error Rate*) digitalne televizije. Drugi radovi takođe navode kako LED šum može negativno uticati i na hiruške navigacione sisteme. Tako su autori rada [5] pokazali da se zahvaljujući LED šumu može doći do pogrešnih očitavanja u hiruškim navigacionim sistemima i shodno tome može doći do pogrešnih odluka lekara koje direktno mogu uticati na život pacijenta. Čak i medicinski teletetri imaju degradirane performanse ukoliko se LED osvetljenje nalazi u neposrednoj blizini [6]. Očitavanja elektrogardiograma, monitoring krvnog pritiska, i monitorisanje krvi u arterijama mogu se pogrešno očitavati usled šuma koji potiče od LED osvetljenja (Slika 2).



Slika 2. Prikaz izobličenja dijagrama elektrogardiograma i respiratornih signala zbog prisustva LED šuma [6]

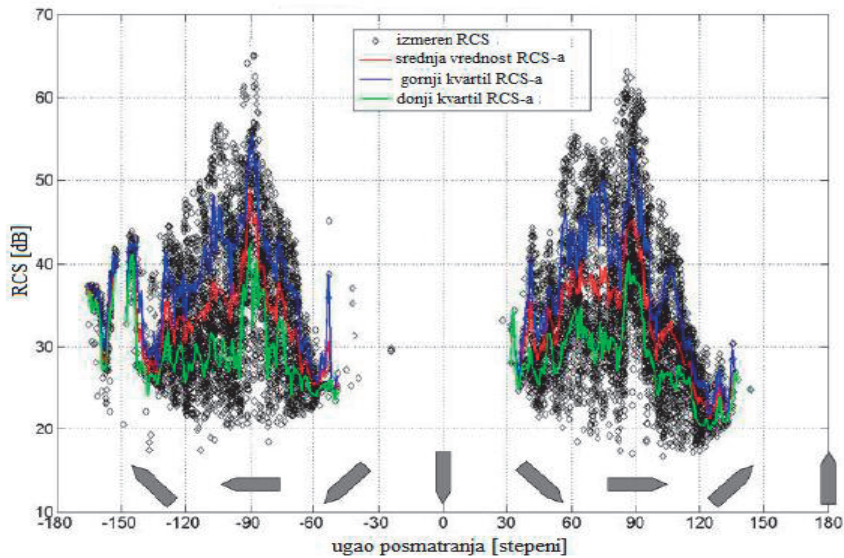
Uticaj LED smetnji na telekomunikacione uređaje je očigledno prisutan, međutim u ovom radu će se analizirati uticaj LED smetnji na kratkotalasni radar namenjen za detekciju brodova na moru.

3. Kratkotalasni radarski sistemi za detekciju brodova na moru

Kada se govori o kratkotalasnim radarima namenjenim za detekciju brodova, oni se generalno mogu podeliti na dve grupe: kratkotalasni radari koji koriste refleksije elektromagnetnih talasa od jonosfere i time ostvaruju daleke domete, dok postoji i drugi tip kratkotalasnih radara, koji se fokusira na površinske elektromagnetne talase koji prate zakrivljenost Zemljine površine. Drugi tip nema mrtvu zonu pokrivanja, za razliku od prvog tipa i pronalazi veliku primenu u nadgledanju brodova u Ekskluzivno-ekonomskoj zoni, koja ima rastojanje od oko 200 nautičkih milja od obale. Kratkotalasni radar, čiji će se podaci analizirati u ovom radu, koristi vertikalno polarizovane elektromagnetne talase i koristi frekvencijski modulisan signal. Posедуje 4 predajne monopol antene i 16 prijemnih antena. Radna frekvencija radara je 6,7 MHz. Svakako, što je niži frekvencijski opseg, ostvaruju se veći ostvareni dometi, međutim korišćenje nižih frekvencija povećava osetljivost na eksterne interferencije. Rezolucija po rastojanju ovog radara iznosi 1500 metara, međutim kada se uzme u obzir konačni domet ovog radara, ova rezolucija je prihvatljiva. Rezolucija se može smanjiti koristeći veći propusni opseg, međutim, na HF opsegu ovo je kritičan parametar, usled ograničenog propusnog opsega. Propusni opseg sa kojim se postiže rezolucija u dometu od 1500 metara je 100 kHz. Za detaljniju lokaciju mete svakako se treba koristiti mikrotalasni radar, koji se može locirati, primera radi, na određenom patrolnom brodu, ili na određenoj nadzornoj stacionarnoj stanici. Kratkotalasni radar analiziran u ovom radu koristi snagu od oko 400 W. Površina koja je potrebna za instalaciju kratkotalasnog radara je velika i može iznositi i preko 1300 m po dužini i 50 metara po širini.

Osetljivost kod mikrotalasnih radara je limitirana na prijemnikov unutrašnji šum, dok je kod kratkotalasnih radara situacija u potpunosti suprotna. Eksterni šum daleko više

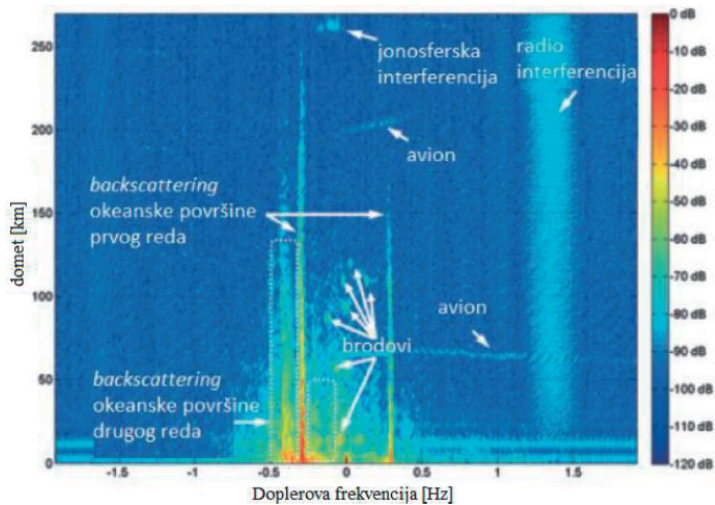
limitira detekciju brodova kod kratkotalasnih radara nego kod mikrotalasnih. Različite smetnje utiču na kratkotalasni radar, na primer atmosferske smetnje, kosmički šum, industrijski i slično. Svaki radar brod posmatra kao efektivnu radarsku površinu RCS (*Radar Cross Section*). Slika 3. prikazuje izmeren RCS za 32 različita velika broda, uzimajući u obzir njihove različite orijentacije u odnosu na radar [7]. Može se reći da RCS odgovara poprečnom preseku jedne sfere koja je od idealnog provodnog materijala i ona odražava elektromagnetno polje u istom iznosu kao i radarska meta. Kada se detektuje brod, kod radara će se ciljem smatrati svaki diskontinuitet (nagla promena) električnih i magnetnih osobina sredine u kojoj se prostiru elektromagnetski talasi, kod poređenja predajnog i prijemnog signala. Svakako je veliki izazov detektovati brodove u prisustvu velikog broja eksternih smetnji, a smetnje koje potiču od LED osvetljenja otežavaju detekciju.



Slika 3. Izmeren RCS za različitu orijentaciju broda u zavisnosti od položaja radarske lokacije [7]

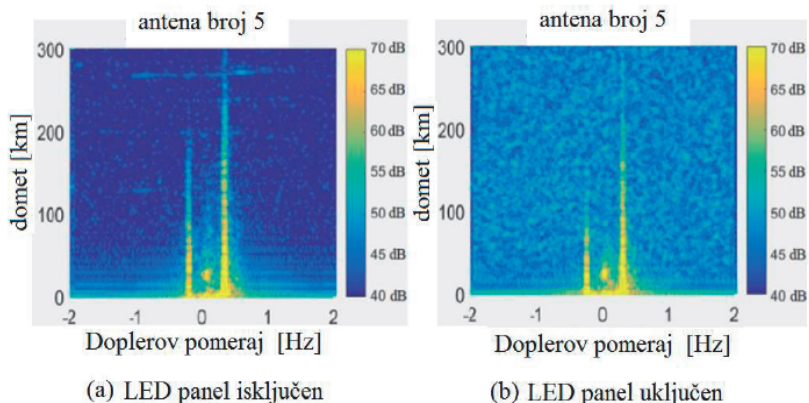
4. RD slika kod radarskih sistema

RD (*Range Doppler*) slika predstavlja dvodimenzionalnu sliku koja prikazuje spektralnu gustinu snage radarskog eho signala. Jedna osa na ovoj slici označava Doplerovu frekvenciju, a druga označava rastojanje do radarskog cilja. Obrada RD slike kod kratkotalasnog radara povećava šanse za detekciju brodova na moru. Na RD slici se može vizuelno videti radarski cilj, međutim takođe se mogu primetiti i smetnje koje degradiraju informacioni sadržaj radara. Tu mogu biti prisutne smetnje koje potiču od jonosfere, drugih korisnika radio spektra, LED šuma i slično. Slika 4. prikazuje primer jedne RD slike i neke od smetnji koje se mogu javiti. Ovde se takođe mogu primetiti dominantni pikovi i oni opisuju efekat refleksije elektromagnetnih talasa od morskih talasa. Ovi pikovi se nazivaju Bragove linije i koriste se u aplikacijama namenjenim za monitoring okeanografskih parametara. Kretanje okeana će pomeriti Bragove linije po frekvenciji [8].



Slika 4. Primer RD slike sa nekim od tipova smetnji [9]

Na osnovu izvršenog velikog broja merenja (od strane autora ovog rada) sa operativne radarske lokacije na afričkom kontinentu. Slika 5. daje prikaz kako izgleda RD slika kada je prisutan LED šum, i kada nije prisutan. Sa ove slike se može primetiti da se LED šum superponira na korisni signal i zahvaljujući ovome se može desiti da se radarski cilj od interesa propusti, ili pak da se kreira lažni alarm.



Slika 5. Primer RD slike kada je uključen LED panel u neposrednoj blizini antene broj 5 (desno) i kada nije uključen LED panel (levo)

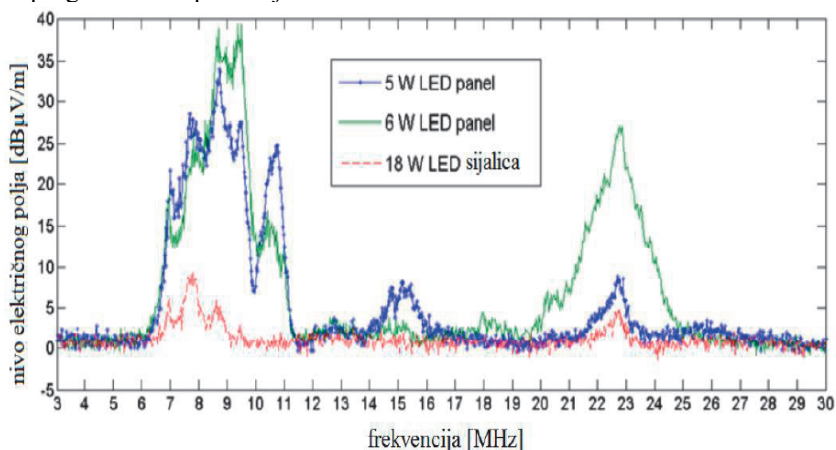
Obrada RD slike metodama obrade slike može ukloniti smetnje i povećati verovatnoću detekcije mete od interesa. Ovo je već analizirano u nekoliko referenci, međutim prvenstveno se ovaj princip koristio za uklanjanje jonosferskih smetnji [10].

5. Detektovanje i ublažavanje LED šuma koristeći metode obrade RD slike

Ukoliko se želi detektovati LED šum, potrebno je to sprovesti u laboratorijski kontrolisanim uslovima. Merenja se moraju obaviti prema međunarodnim standardima. Kada se govori o LED šumu, dva standarda se izdvajaju za ovu vrstu merenja. Prvi i

najbitniji je međunarodni standard za radio smetnje CISPR (*The Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques*): „Limiti i metode merenja karakteristika radio smetnji koje potiču od osvetljenja i slične opreme“ [11]. Svakako i ITU (*International Telecommunication Union*) ima standarde za merenje veštačkog šuma, a najbitniji za ovu problematiku bi bio [12].

Merenja su sprovedena u u laboratoriji za elektromagnetnu kompatibilnost Vojnotehničkog instituta u Beogradu. Rezultati merenja su publikovani u [13], gde je prikazano za nekoliko tipova različitih LED osvetljenja u kojoj se meri radijacioni LED šum detektuje na HF opsegu. Slika 6. prikazuje izmerene rezultate.

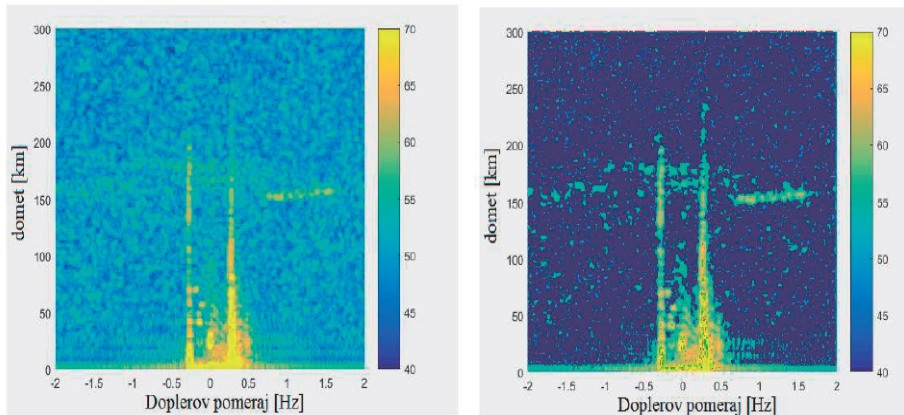


Slika 6. Nivoi električnog polja radijacionog LED šuma koji potiču od tri različita tipa LED osvetljenja na HF opsegu [13]

Slika 6. u laboratorijski kontrolisanim uslovima pokazuje da šum od LED osvetljenja zaista postoji, a da nivo može dostići čak i 40 dB, što svakako može biti pogubno za telekomunikacione uređaje u blizini. Ovo je važan rezultat koji pokazuje u kojoj meri se smetnje mogu generisati na HF opsegu. Kada se analizira frekvencija 6,7 MHz na ovom grafiku, kao i Slika 5. kratkotalsnog radara, može se primetiti da se rezultati poklapaju, odnosno da oko 20 dB unosi dodatni šum na ovoj frekvenciji. U radu [13] detaljno je objašnjen algoritam prema kom se može detektovati LED šum koristeći metode obrade RD slike. Algoritam daje dobre rezultate, a inicijalne RD slike su prikupljene sa operativne radarske lokacije instalirane na afričkom kontinentu, za različito doba dana, kao i godišnjih doba. Nad ovim slika je sproveden i verifikovan algoritam. Međutim, kada se detektuje LED šum, potrebno ga je ublažiti, ne bi li se povećala verovatnoća detekcije brodova na moru. Ovo je moguće takođe primenom metoda obrade slike. Opis algoritma za mitigaciju šuma je dat u nastavku.

Ulaz u ovaj algoritam predstavlja RD slika. Kolor model koji se koristi u ovom algoritmu je RGB (*Red Green Blue*). Prvo se RD slika rastavlja na sve tri kolor komponente. Zatim se analizira histogram jedne od komponenta. Eksperimentalna istraživanja su pokazala da je optimalno analizirati B komponentu, zato što se LED šum javlja u prvih 20-30 dB, a tu je u najvećoj meri zastupljena B komponenta u legendi boja. Kada se analizira histogram, moguće je u tom slučaju odrediti koji su pikseli ugroženi LED šumom, a koji ne. Eksperimentalnim putem pokazano je da je grupa piksela između 180 i 230 binova najviše pogođena LED šumom. Svi binovi koji imaju broj piksela veći od 1000 smatraju se ugroženim. Ovaj princip je verifikovan na velikom broju RD slika sakupljenih

sa operativne radarske lokacije. Da bi se ublažio ovaj efekat, svi ugroženi pikseli se zamenjuju onim pikselima koji bi bili da LED šum nije prisutan. U poslednjoj fazi, ugroženi pikseli se zamenjuju, čime se spušta nivo šuma za 20 dB. Sa obzirom na to da je u eksperimentalnim uslovima utvrđeno da je zapravo 20 dB povišen nivo šuma sa LED smetnjama, ovo jednoznačno pokazuje da algoritam stavlja fokus na LED smetnje, a ne na druge radarske informacije. Koristan sadržaj nije degradiran, a rezultat algoritma je taj da odnos signal-šum SNR (*Signal-to-Noise Ratio*) povećan za 20 dB. Slika 7. prikazuje primer početne i krajnje RD slike kod primene predloženog algoritma. Mana ovog algoritma jeste što on ne ublažava jonosferske smetnje, nego ih propusti i smatra ih za koristan signal. Naravno, inicijalna zamisao jeste da se eliminiše samo LED šum, ali buduća istraživanja svakako se mogu fokusirati na ublažavanje i jonosferskog šuma simultano.



Slika 7. RD slika nakon mitigacije LED šuma

6. Zaključak

Na telekomunikacione sisteme negativno utiče elektromagnetni šum koji pridružen korisnom signalu može maskirati informacioni sadržaj. Kako LED osvetljenje u novije vreme dobija na popularnosti, često se ovi tipovi osvetljeja koriste za osvetljenje raznih prostorija u blizini mnoštva telekomunikacionih uređaja. Ovi vidovi osvetljenja, preko drajvera i napojnih kablova imaju negativnu osobinu da emituju radijacioni i konduktivni elektromagnetni šum. U ovom radu radijacioni LED šum se analizirao u laboratorijski kontrolisanim uslovima, sa nekoliko različitih tipova LED osvetljenja. Kasnije je njegov uticaj analiziran i na kratkotalasnom radaru. Pokazano je da se informacioni sadržaj na RD slici može degradirati, gde su realni podaci sakupljeni sa operativne radarske lokacije. Takođe, pokazano je da se algoritmima za obradu slike može detektovati i ublažiti LED šum, koristeći RD sliku. Oblast mitigacije LED šuma je svakako veliki izazov i buduća istraživanja se mogu fokusirati na dodatno ublažavanje višestrukih tipova smetnji, koja nisu originalno samo od LED smetnji.

Literatura

- [1] S. An, C. Feng, G. Hu, J. Ge, F. Wan H. Cao, "Characterization of electromagnetic interference from LED," *Electronics letters*, pp. 143-144, 2016.
- [2] K. Gotoh, S. Ishigami, Y. Matsumoto, I. Wu, "Measurement and Modelling of Electromagnetic Noise from LED Light Bulbs," *IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine*, pp. 58-66, 2013.

- [3] Y. Matsumoto, I. Wu, S. Ishigami, "Evaluation of Radiation Mechanism of LED Noise and its Impact on Communication Quality of Digital Terrestrial Television Broadcasting," in *IEEE Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Taipei, Taiwan, 2015, pp. 128-131.
- [4] L. Gotoh, S. Ishigami, Y. Matsumoto, Wu H. Ohta, "Relation Between Electromagnetic Noise from LED Light Bulb and its Impact on Bit Error Rate Performance of DTTB," *IEICE Electronic Express*, vol. 9, no. 7, pp. 666-674, 2012.
- [5] T. Arie, M. Matsuzuku, E. Hanada, M. Hirose, K. Ishida, T. Yoshida, "Study of Electromagnetic Noise Radiated Led Shadowless Lighting and its Effect on Surgical Navigation System," in *International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Netherlands, 2018, pp. 866-869.
- [6] M. Hirose, K. Ishida, K. Suzuki, E. Hanada, "EMC of Wireless Medical Telemeters and Noise Radiated from Light Emitting Diode Lamps," in *International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Angers, France, 2017.
- [7] D. Nikolić, N. Lekić, B. Todorović, N. Tošić, B. Đolić, "Izazovi pri projektovanju HFSW radara," in *ETRAN*, Zlatibor, 2016, pp. E2.1.1-TE2.1.5, 2016.
- [8] L. Petersen, T. Helzel, M. Kniephoff, "WERA: Remote ocean sensing for current, wave and wind direction," in *IEEE US/EU Baltic International Symposium*, Klaipeda, Lithuania, p. 2006.
- [9] H. Rohling, T. Schlick, A. Dzvonkoskaya, K. W. Gurgel, "HF radar WERA application for ship detection and tracking," in *IET International Conference on Radar Systems*, Edinburgh, UK, 2007.
- [10] J. Niu, Y. Ji, L. Zhang, M. Li, "Ionospheric Clutter Extraction in HFSWR Based on Range-Doppler spectral Image Processing," in *IEEE International Conference on Communication Problem Solving*, Beijing, China, pp. 615-618, 2014.
- [11] International Electrotechnical Commission standard CISPR, "*Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of electrical lighting and similar equipment*," Geneva, Switzerland, 2018.
- [12] ITU-R, "*Man-made noise measurements in the HF range*," SM Series Spectrum management SM.2155, 2009.
- [13] 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, 2019.

Abstract: *Indoor lighting has recently been achieved using LED (Light Emitting Diode) lamps and panels, due to significantly lower power consumption, smaller size and longer operating life comparing to traditional lamps. Electromagnetic interferences that occur here interfere with many frequency bands. However, in the HF (High Frequency) band it has not been sufficiently investigated and these interferences can certainly degrade the performance of telecommunication devices. An example of a telecommunications device that can be affected by these interferences is a shortwave radar. Practical experimental research was first carried out in the semi-anechoic room of the Military Technical Institute in Belgrade, and later on at the operational location of a shortwave radar system installed on the west coast of the African continent. This paper will analyze the effect of LED interference on this radar using RD (Range Doppler) image. Image processing methods were applied on a RD image to detect and mitigate radiated LED noise. The shortwave radar analyzed in this paper is primarily concerned with the detection of ships in maritime transport, within the Exclusive Economic Zone.*

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

DETECTION AND MITIGATION OF LED NOISE IN HF RADAR USING RD IMAGE PROCESSING METHODS

Andreja Samčović, Nikola Tošić