

UNIVERZITET U BEOGRADU

SAOBRAĆAJNI FAKULTET

Nikola M. Tošić

**MITIGACIJA NEGATIVNOG EFEKTA
RADIJACIONOG LED ŠUMA NA
KRATKOTALASNI RADAR METODAMA
OBRADE RD SLIKE**

doktorska disertacija

Beograd, 2020.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF TRANSPORT AND TRAFFIC
ENGINEERING

Nikola M. Tošić

**MITIGATION OF NEGATIVE EFFECT OF
RADIATED LED NOISE ON HIGH FREQUENCY
RADAR USING RD IMAGE PROCESSING
TECHNIQUES**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2020.

Komisija za ocenu i odbranu doktorske disertacije

Mentor: **Dr Andreja Samčović, redovni profesor**

Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet

Članovi komisije: **Dr Dejan Drajić, vanredni profesor**

Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet

Dr Nenad Jevtić, docent

Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet

Dr Aleksandar Radonjić, docent

Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet

Datum odbrane: _____._____._____.

IZJAVE ZAHVALNOSTI

Zahvaljujem se svom mentoru, prof. dr Andreji Samčoviću na saradnji i podršci prilikom izrade doktorske disertacije i trajanja doktorskih studija. Takođe, zahvaljujem se prof. dr Dejanu Drajiću za saradnju i koautorstvo prilikom objavljivanja radova.

Upućujem zahvalnost takođe Vlatacom institutu visokih tehnologija za pružanje finansijske podrške tokom trajanja doktorskih studija. Svojim kolegama iz radarskog tima (dr Nikola Lekić, mr Dejan Nikolić, Nikola Stojković, Nenad Dumbelović, dr Vladimir Orlić, Bojan Džolić, dr Branislav Todorović, dr Miroslav Perić) zahvaljujem na inspirativnom okruženju i pružanju podrške i smernica tokom istraživačkog rada.

Najveću zahvalnost dugujem svojoj porodici: Ljiljani i sinu Vasiliju za razumevanje i podršku, roditeljima Miloradu i Nevenki za podršku i bodrenje tokom čitavog života.

MITIGACIJA NEGATIVNOG EFEKTA RADIJACIONOG LED ŠUMA NA KRATKOTALASNI RADAR METODAMA OBRADJE RD SLIKE

Sažetak:

LED tipovi osvetljenja u poslednje vreme postaju sve popularniji, zbog značajno niže potrošnje struje, manje veličine i dužeg radnog veka, što ima za posledicu da se sve više ljudi opredeljuje za ovaj tip osvetljenja. Međutim, LED tip osvetljenja, usled prekidačkog tipa napajanja, preko napojnih kablova generiše elektromagnetne smetnje koje pokrivaju i ugrožavaju mnoge frekvencijske opsege i time degradiraju performanse raznih telekomunikacionih uređaja u blizini. Tipovi smetnji koji potiču od LED osvetljenja se mogu prenositi na dva načina: konduktivnim i radijacionim putem. Cilj ove disertacije je analiziranje radijacionog tipa smetnji koji potiče od LED osvetljenja i razmatra se kakav uticaj te smetnje imaju na kratkotalasni radar, koji je prvenstveno namenjen za detekciju brodova na moru. Za analiziranje LED uticaja na kratkotalasni radar koristiće se RD slika koja daje prikaz spektralne gustine snage radarskog eho signala, gde je po jednoj osi označena Doplerova frekvencija, dok je po drugoj označeno rastojanje radarskog cilja od samog radara.

U okviru ove disertacije izvršena su merenja u polu-anehoičnoj sobi, gde su se merenja vršila prema predviđenim standardima i sa veoma kvalitetnom mernom opremom. U istraživanjima su korišćene LED sijalice i paneli različitih proizvođača i karakteristika i došlo se do saznanja na koji način i u kojoj meri se ove smetnje ispoljavaju. Istraživanja su sprovedena za HF opseg. Nakon ovog merenja sprovedena su istraživanja i na operativnoj radarskoj lokaciji koja je instalirana na zapadnoj obali afričkog kontinenta.

Nakon prikupljenih podataka i verifikovanog prisustva LED smetnji, predložen je algoritam za umanjenje LED šuma na RD slici, koristeći metode obrade slike. Algoritam je primenjen nad velikim brojem RD slika i analiziran je za različite slučajeve, čak i u prisustvu višestrukih simultanih smetnji. Takođe, još jedan algoritam zasnovan na metodama obrade slike je predložen, sa kojim se može dobiti binarni odgovor da li dominantni šum potiče od LED osvetljenja ili ne.

Ključne reči: detekcija šuma, elektromagnetne smetnje, mitigacija šuma, merenje šuma, obrada slike, kratkotalasni radar, radijacioni LED šum

Naučna oblast: Saobraćajno inženjerstvo

Uža naučna oblast: Informaciono-komunikacione tehnologije

MITIGATION OF NEGATIVE EFFECT OF RADIATED LED NOISE ON HIGH FREQUENCY RADAR USING RD IMAGE PROCESSING TECHNIQUES

Abstract:

LED lights have become more popular due to significantly lower power consumption, smaller size and a longer life span than traditional light sources. However, LED lights use a switching type of power supply which generates electromagnetic interference through the power cables and compromises many frequency ranges therefore affecting the performance of different telecommunication devices nearby. There are two types of interferences caused by LED: conductive and radiated. This dissertation aims to analyze the radiated types of interference from LED lights and is focused on the impact of this radiation to high frequency radar which is primarily intended for the detection of ships at sea. An RD image is used to analyze the impact of LED on the high frequency radar. It shows the spectral power density of the radar echo signal, where the Doppler frequency is indicated on one axis, while the other axis indicates the distance of the radar target from the radar itself.

Within this dissertation measurements were carried out in a semi-anechoic chamber and appropriate test standards were followed with high-quality measuring equipment. LED lamps and panels by different manufacturers and with different features were used in this research and it was found how this type of interference manifests. Studies were performed for the HF range. Following these measurements, research was conducted at an operational radar site installed on the western coast of the African continent.

After the data was collected and the presence of LED interference was verified, an algorithm for the mitigation of LED noise using image processing techniques in the RD image is proposed. The algorithm is applied over a large number of RD images and it is analyzed for different cases, even in the presence of multiple simultaneous interferences. Also, another algorithm has been proposed which also uses image processing techniques and this algorithm gives a binary answer to whether the dominant noise originates from LED light or not.

Key words: noise detection, electromagnetic interference, noise mitigation, noise measurement, image processing, high frequency radar, radiation noise

Scientific field: Transport and traffic engineering

Scientific subfield: Information and communication technologies

Sadržaj

1	UVOD	1
1.1	Motivacija.....	1
1.2	Predmet istraživanja	2
1.3	Ciljevi istraživanja i polazne hipoteze.....	3
1.4	Organizacija disertacije	3
2	ELEKTROMAGNETNI ŠUM UZROKOVAN LED OSVETLJENJEM.....	4
2.1	Pregled postojeće literature koje analiziraju elektromagnetne smetnje LED osvetljenja	8
3	STANDARDI ZA MERENJE LED ŠUMA.....	16
3.1	EMI prijemnik	22
4	KRATKOTALASNI RADARI.....	25
4.1	Pregled bitnih parametara kratkotalasnih radara	26
4.2	Razlika između kratkotalasnog i mikrotalasnog radara	29
4.3	Princip rada analiziranog kratkotalasnog radara	31
4.4	Konfiguracija predajnog antenskog niza i generisanje predajnog signala	36
4.4.1	Procesuiranje prijemnog signala kratkotalasnog radara.....	40
4.4.2	Postupak digitalnog <i>beamforming</i> -a kod prijemnog niza antena.....	44
4.4.3	CFAR algoritam.....	47
4.5	RD slika kod radara.....	50
4.5.1	Pregled postojeće literature koje koriste metode obrade RD slike kratkotalasnog radara	55
5	RAZLIČITI TIPOVI SMETNJI KOJI MOGU DA DEGRADIRAJU INFORMACIONI SADRŽAJ KRATKOTALASNOG RADARA.....	58
5.1	Atmosferski šum.....	59
5.2	Kosmički šum.....	61
5.3	Šum izazvan čovekovim uticajem.....	62

5.4	Interferencije od drugih radio stanica.....	63
6	BRODSKI KOMPLEKS I EFEKTIVNA RADARSKA POVRŠINA.....	64
6.1	Konstrukcija broda	64
6.2	Materijal za gradnju broskog trupa i nadgrađe broda.....	68
6.2.1	Materijal za ugradnju	69
6.2.2	Osobnosti pojedinih brodograđevinskih materijala.....	69
6.3	Refleksija elektromagnetnih talasa od efektivne površine broda na moru.....	70
7	DOBIJANJE MERNIH VREDNOSTI LED SMETNJI EKSPERIMENTALNIM PUTEM.....	78
7.1	Eksperimentalno istraživanje u laboratorijski-kontrolisanim uslovima.....	78
7.2	Prikupljanje podataka sa operativne radarske lokacije i detektovanje LED šuma na RD slici	87
8	PREDLOG ALGORITAMA ZA MITIGACIJU I DETEKCIJU LED ŠUMA.....	92
8.1	Predlog algoritma za mitigaciju LED šuma	92
8.2	Predlog algoritma za detekciju LED šuma.....	104
8.3	Diskusija rezultata	107
9	ZAKLJUČAK	116
	LITERATURA.....	119
	BIOGRAFIJA	127
	IZJAVA O AUTORSTVU.....	128
	IZJAVA O ISTOVETNOSTI ŠTAMPANE I ELEKTRONSKE VERZIJE DOKTORSKOG RADA	129
	IZJAVA O KORIŠĆENJU	130

Spisak slika

Slika 2.1 LED drajver	4
Slika 2.2 LED panel koji se napaja jednosmernom strujom od drajvera.....	5
Slika 2.3 Promena talasnog oblika ulazne struje u LED sijalice posle drajvera bez (levo) i sa (desno) PFC blokom; struja je označena plavom bojom, dok je napon označen crvenom bojom [3].....	6
Slika 2.4 CE znak usaglašenosti [4].....	7
Slika 2.5 Srpski znak usaglašenosti [4].....	7
Slika 2.6 Smetnje na frekvencijskom opsegu od 80 - 250 MHz [6]	8
Slika 2.7 Smetnje na frekvencijskim opsezima od 250 - 500 MHz [6]	9
Slika 2.8 Merenje elektromagnetnog šuma i intenziteta svetlosti od LED sijalice [6]	10
Slika 2.9 Razlika između LED emisija sa prekidima (levo) i bez prekida (desno) [6].....	11
Slika 2.10 Detaljnije analiziranje varijacija EM šuma i intenziteta svetlosti za kraći vremenski period [6].....	11
Slika 2.11 Šematski prikaz sprovedenog istraživanja u radu [9]	12
Slika 2.12 Promena magnetnog polja sa promenom rastojanja od LED sijalice [9]	12
Slika 2.13 APD šuma koji potiče od LED sijalice [11]	14
Slika 2.14 Prikaz izobličenja dijagrama elektrokardiograma i respiratornih signala zbog prisustva LED šuma [14].....	15
Slika 3.1 Primer impulsnog šuma u vremenu [20].....	19
Slika 3.2 Sistem za merenje šuma predviđen ITU standardom [20].....	21
Slika 3.3 Merenje smetnji od LED osvetljenja prema CISPR standardu (dimenzije su u centimetrima) [21].....	22
Slika 3.4 Konvencionalni heterodinski prijemnik [22].....	22
Slika 3.5 Analogni kvazi-pik detektor [24].....	23
Slika 3.6 EMI prijemnik <i>Keysight N9038</i> korišćen u praktičnim laboratorijskim ispitivanjima.....	24
Slika 4.1 Uticaj aspektnog ugla na RCS [34].....	27
Slika 4.2 Domet kratkotalasnog i mikrotalasnog radara	29
Slika 4.3 Razlika između antena kod kratkotalasnog radara (levo, uveličana jedna od 20 antena) i mikrotalasnog radara (desno, samo jedna antena se koristi i za predaju i za prijem).....	30
Slika 4.4 Linearni frekvencijski chirp signal [38].....	31
Slika 4.5 Konfiguracija sa 4 predajne i 16 prijemnih antena kratkotalasnog radara [41].....	34

Slika 4.6 Antene HF radara: a) predajni niz, b) prijemni niz.....	35
Slika 4.7 Predajni niz antena [43]	36
Slika 4.8 Predviđene vrednosti dobitka za monopol koji ima četvrtinu talasne dužine za promenljivi broj radijala i njihove dužine; frekvencija je 3,75 MHz [45]	37
Slika 4.9 Dijagram zračenja predajnog niza od četiri monopol antene sa radijalima [46]	38
Slika 4.10 Dijagram zračenja u 3D obliku koji čini antenski niz od četiri predajne antene sa radijalima [46].....	38
Slika 4.11 Primo-predajni antenski sistem kratkotalasnog radara za radnu frekvenciju od 4,6 MHz [46].....	39
Slika 4.12 Kratkotalasni radar u realnosti, sa međusobnim rastojanjem predajne i prijemne opreme [46]	39
Slika 4.13 Koraci procesuiranja prijemnog signala kratkotalasnog radara [46]	41
Slika 4.14 Blok-dijagram hardverske arhitekture kratkotalasnog prijemnika namenjen za analogno procesuiranje [48]	42
Slika 4.15 Blok-dijagram softverske arhitekture kratkotalasnog radara za digitalno procesuiranje [48].....	43
Slika 4.16 Promena dijagrama zračenja u skladu sa promenom rastojanja između prijemnih antena kod beamforming procesa; a) rastojanje između elemenata je polutalasna dužina, b) rastojanje između elemenata je $0,6 \lambda$, c) rastojanje između elemenata je $0,8 \lambda$ i d) rastojanje između elemenata je jedna talasna dužina [51]	45
Slika 4.17 Grub prikaz procesa beamforming-a korišćenjem ULA konfiguracije [51].....	46
Slika 4.18 Promena ukupnog dobitka antena u odnosu na povećanje broja antena linearnog antenskog niza kod beamforming procesa [51].....	47
Slika 4.19 RD slika za određeni ugao dobijena u laboratorijskim uslovima [46]	48
Slika 4.20 Detektovane radarske mete sa njihovim koordinatama i radijalnim brzinama [46]	49
Slika 4.21 Razlaganje vektora kretanja radarskog cilja: v_r usmereno ka radaru – radijalna brzina mete, v_t – tangencionalna brzina, v – apsolutna brzina.....	51
Slika 4.22 Primer RD slike za raznim tipovima smetnji [39]	51
Slika 4.23 Princip kreiranja Bragovih linija [35].....	52
Slika 4.24 Teoretski tipični spektar radarskog sistema, Bragove linije prvog reda, blago pomerene od centra, sa superponiranom (nametnutom) linijom drugog reda koja nosi talasnu informaciju [35]	53
Slika 4.25 Primer realne RD slike sa označenim Bragovim linijama prvog i drugog reda [56].....	53
Slika 4.26 Praćenje promena jonosfere korišćenjem RD slike [58]	54

Slika 4.27 Analiza jonosferskog klatera na RD slici, poređenje RD slika na dve različite radne frekvencije kratkotalasnog radara [60]	55
Slika 4.28 Rezultati ekstrakcije meta iz RD slike; a) i b) su originalne slike, c) i d) su ekstrahovani brodovi iz RD slike nakon primenjenog algoritma baziranog na obradi slike [72]	56
Slika 4.29 Uklanjanje klatera na RD slici bazirano na metodama obrade slike [73].....	56
Slika 4.30 Poređenje RD slike: a) kada nije prisutan šum od vetroturbina i b) kada je prisutan [74]	57
Slika 5.1 Izvori elektromagnetnih smetnji i njihovi nivoi [80].....	59
Slika 5.2 Procenjene vrednosti nivoa radio-šuma za leto, u vremenu između 08:00 - 12:00 [81]	61
Slika 6.1 Osnovne komponente broda [83].....	65
Slika 6.2 Glavne brodske dimenzije [84].....	67
Slika 6.3 RCS za dva radarska sistema koji rade na dva različita frekvencijska opsega i posmatraju jedan brod [85].....	71
Slika 6.4 Brod koji je korišćen za ispitivanja RCS-a [87]	71
Slika 6.5 Dimenzije i izgled <i>Teleost</i> broda [88].....	73
Slika 6.6 Dimenzije i izgled <i>Bonn Express</i> broda [88]	74
Slika 6.7 Prikaz iz ptičije perspektive broda i uglova posmatranja za potrebe analiziranja i merenja RCS-a [88]	75
Slika 6.8 Poređenje izmerenih i modelovanih vrednosti <i>Teleost</i> broda za kratkotalasni radar frekvencije 4,1 MHz [88].....	75
Slika 6.9 Poređenje izmerenih i modelovanih vrednosti <i>Bonn Express</i> broda za kratkotalasni radar frekvencije 4,1 MHz [88].....	76
Slika 6.10 Simulacioni rezultati RCS-a za <i>Teleost</i> brod za frekvencije od 1 do 20 MHz [88]	77
Slika 7.1 Polu-anehoična soba u kojoj su se vršila ispitivanja radijacionog LED šuma	79
Slika 7.2 Antenski faktor merne antene SAS-550-1B [91].....	80
Slika 7.3 Šema mernog okruženja u laboratoriji [41]	81
Slika 7.4 Nivo radijacionog šuma dobijen u laboratorijskim uslovima za dva LED panela i jednu LED sijalicu [41]	82
Slika 7.5 Računanje STFT-a [94]	84
Slika 7.6 Prikaz spektrograma za LED panel snage 6 W na HF opsegu, gde je na donjoj polovini slike LED panel ugašen, a na gornjoj polovini upaljen, počevši od 50. uzorka pa nadalje	85
Slika 7.7 Detaljnija analiza LED šuma u frekvencijskom opsegu od 6 - 12 MHz koristeći različite veličine prozorskih funkcija [95].....	86

Slika 7.8 Kratkotalasni radar i LED osvetljenje u realnim uslovima na terenu.....	87
Slika 7.9 Kratkotalasna predajna antena kod operativnog radarskog sistema	88
Slika 7.10 Osnova radarske antene	89
Slika 7.11 Različiti tipovi šuma detektovani na RD slici [41].....	90
Slika 7.12 Primer RD slike kada je LED panel isključen i kada je uključen [41]	90
Slika 8.1 Predlog algoritma za mitigaciju LED šuma.....	93
Slika 8.2 Ulazna RD slika koju koristi predloženi algoritam	94
Slika 8.3 Talasne dužine vidljivog opsega elektromagnetnog spektra [98].....	95
Slika 8.4 Legenda RD slike.....	95
Slika 8.5 Šema RGB kolor kocke [97].....	96
Slika 8.6 Prikaz osnovnih boja RGB modela i rezultata njihovog mešanja, odnosno način dobijanja sekundarnih boja [99].....	97
Slika 8.7 RGB komponente originalne RD slike; (a) R komponenta, (b) G komponenta, (c) B komponenta.....	97
Slika 8.8 B komponenta RD slike sa legendom boja.....	98
Slika 8.9 Histogram B komponente	99
Slika 8.10 Pikseli koji su ugroženi LED šumom	100
Slika 8.11 Binarizacija B kanala prema pragu odlučivanja definisanim histogramom	101
Slika 8.12 Originalna RD slika sa zamenjenim ugroženim pikselima zbog LED šuma belom bojom	102
Slika 8.13 Komponente RD slike gde je zamenjen LED šum belom bojom: (a) R komponenta, (b) G komponenta, (c) B komponenta	102
Slika 8.14 R, G i B kanali RD slike sa umanjnim LED šumom	103
Slika 8.15 Mitigacija LED šuma na RD slici koristeći predložen algoritam; levo - stara RD slika sa LED šumom, desno - RD slika nakon mitigacije LED šuma	104
Slika 8.16 Algoritam za detekciju LED šuma na RD slici [41].....	104
Slika 8.17 Princip oduzimanja pozadine primenom „rolling bar” algoritma [100]	105
Slika 8.18 Promena originalne RD slike tokom različitih koraka predloženog algoritma za detekciju LED šuma [41].....	107
Slika 8.19 Prisutan slab jonosferski šum tokom mitigacije LED šuma na RD slici (levo - RD slika pre mitigacije, desno – RD slika posle mitigacije LED šuma korišćenjem predloženog algoritma).....	108

Slika 8.20 Prisutan intenzivni jonosferski šum tokom mitigacije LED šuma na RD slici (levo - RD slika pre mitigacije, desno – RD slika posle mitigacije LED šuma korišćenjem predloženog algoritma) [102]	108
Slika 8.21 Prisutan veoma intenzivan jonosferski šum tokom mitigacije LED šuma na RD slici (levo - RD slika pre mitigacije, desno – RD slika posle mitigacije LED šuma korišćenjem predloženog algoritma).....	108
Slika 8.22 Histogrami različitih RD slika degradiranih LED šumom sa različitim jonosferskim smetnjama	109
Slika 8.23 Histogram B komponente ugroženih binova LED šumom na RD slici uz dodatni slab ili nimalo prisutan jonosferski šum	110
Slika 8.24 Histogram B komponente ugroženih binova LED šumom na RD slici uz dodatno prisustvo intenzivnog jonosferskog šuma.....	110
Slika 8.25 Primeri RD slika bez prisustva LED šuma, ali degradirane nekim drugim šumom: A – slabija jonosferska smetnja, B – intenzivnija jonosferska smetnja, C – intenzivnija eksterna nepoznata smetnja, D – veoma intenzivna eksterna nepoznata smetnja.....	113
Slika 8.26 Poređenje histograma B komponente za različite RD slike kada nije prisutan LED šum, ali je prisutan neki drugi eksterni šum	113
Slika 8.27 RD slika bez prisustva LED šuma, ali uz prisustvo nepoznatog eksternog šuma različitog intenziteta.....	114
Slika 8.28 Histogram B komponente eksternog šuma različitog intenziteta	114
Slika 8.29 Prikaz kritičnih binova uz prisustvo samo nepoznatog eksternog šuma istog tipa.....	115

Spisak tabela

Tabela 3.1 Osnovni zahtevi merne opreme [20]	20
Tabela 8.1 Definisane talasne dužine za RGB boje [97]	94
Tabela 8.2 Vrednosti uglova RGB kolor kocke [97]	96
Tabela 8.3 Vrednosti svih kanala za belu boju potrebne za mitigaciju LED šuma u fazi 6	103
Tabela 8.4 Vrednosti parametara različitih raspodela za različite slučajeve RD slika u prisustvu LED šuma	112

Spisak skraćenica

AAN	<i>Asymmetric Artificial Network</i>
ADC	<i>Analog to Digital Converter</i>
AIS	<i>Automatic Identification System</i>
AF	<i>Antenna Factor</i>
AMN	<i>Artificial Mains Network</i>
APD	<i>Amplitude Probability Distribution</i>
B	<i>Blue</i>
BER	<i>Bit Error Rate</i>
BNC	<i>Bayonet Neill–Concelman</i>
BRG	<i>Bruto Register Tonnage</i>
CE	<i>Conformité Européenne/ European Conformity</i>
CFAR	<i>Constant False Alarm Rate</i>
CIE	<i>Commission Internationale de l'Eclairage - International Commission on Illumination</i>
CISPR	<i>The Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques - International Special Committee on Radio Interference</i>
CMY	<i>Cyan Magenta Yellow</i>
DDS	<i>Direct Digital Synthesizer</i>
DFT	<i>Discrete Fourier Transform</i>
DTTB	<i>Digital Terrestrial Television Broadcasting</i>
DWT	<i>Deadweight Tonnage</i>

EEZ	<i>Exclusive Economic Zone</i>
EKG	<i>Electrocardiography</i>
EMI	<i>Electro-Magnetic Interference</i>
EUT	<i>Equipment Under Testing</i>
FFT	<i>Fast Fourier Transform</i>
FM	<i>Frequency Modulation</i>
FMCW	<i>Frequency Modulated Continuous Wave</i>
G	<i>Green</i>
HF	<i>High Frequency</i>
HSI	<i>Hue Saturation Intensity</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IF	<i>Intermediate Frequency</i>
IN	<i>Impulse Noise</i>
IR	<i>Image Reject</i>
ISN	<i>Impedance Stabilization Network</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
LISN	<i>Line Impedance Stabilization Network</i>
LNA	<i>Low Noise Amplifier</i>
LO	<i>Local Oscillator</i>
LPF	<i>Low Pass Filter</i>
MCA	<i>Morphological Component Analysis</i>

NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
NRT	<i>Net Register Tonnage</i>
PFC	<i>Power Factor Correction</i>
PRF	<i>Pulse Repetition Frequency</i>
R	<i>Red</i>
RAM	<i>Radiation Absorbent Material</i>
RBW	<i>Resolution Bandwidth</i>
RC	<i>Resistor Capacitor</i>
RCS	<i>Radar Cross Section</i>
RD	<i>Range Doppler</i>
RDA	<i>Range Doppler Angle</i>
RF	<i>Radio Frequency</i>
RGB	<i>Red Green Blue</i>
RGP	<i>Reference Ground Plane</i>
RMS	<i>Root Mean Square</i>
SCN	<i>Single Carrier Noise</i>
SFDR	<i>Spurious Free Dynamic Range</i>
SMPS	<i>Switched Mode Power Supplies</i>
STFT	<i>Short-Time Fourier Transform</i>
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>
ULA	<i>Uniform Linear Array</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
VCO	<i>Voltage Controlled Oscillator</i>

VHF	<i>Very High Frequency</i>
VSWR	<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>
WGN	<i>White Gaussian Noise</i>
WTC	<i>Wind Turbine Clutter</i>

1 UVOD

U publikovanoj literaturi, dobro je poznato da su performanse HF (*High Frequency*) radara uslovljene eksternim šumom koji može poticati od različitih izvora. Smetnje mogu sveobuhvatno degradirati performanse rada sistema, što vodi dalje ka slabijoj detekciji radarskih ciljeva, kao i povećavanju verovatnoće generisanja lažnih ciljeva. Spoljna interferencija kod kratkotalasnih radara se može analizirati na RD (*Range Doppler*) slici, gde RD slika po jednoj osi označava rastojanje radarskog cilja od radara, a po drugoj Doplerovu frekvenciju. U ovoj disertaciji, na RD slici kratkotalasnog radara su analizirani eksterni tipovi šuma, gde je akcenat stavljen na šum koji je uzrokovan LED (*Light Emitting Diode*) osvetljenjem.

RD slika u ovoj disertaciji se može definisati kao numerička dvodimenzionalna slika pomoću konačnog broja tačaka koje nazivamo pikselima. Na RD slici kratkotalasnog radara može se uočiti mnogo različitih smetnji. Teoretski, kada radar emituje elektromagnetni signal ka nekom objektu, signal pravi interakciju sa objektom i reflektuje se nazad. Ukoliko se taj objekat pomera, Doplerova frekvencija povratnog signala na RD slici će biti pomeren u skladu sa brzinom objekta. U realnosti, mogu se javiti mnogi izvori smetnji koji limitiraju rad radara, a u ovoj disertaciji se analizira prvenstveno radijacioni LED uticaj na kratkotalasni radar.

Kratkotalasni radar analiziran u ovoj disertaciji je monostatički i koristi vertikalno polarizovane elektromagnetne talase koji putuju od predajnika površinskom propagacijom do radarskog cilja i prate zakrivljenost zemljine površine. Nakon refleksije od cilja, eho signal se prima i procesira, u cilju dobijanja koordinata i brzine radarskog cilja od interesa.

1.1 Motivacija

U poslednje vreme veliki značaj se pridaje smanjenju potrošnje energije. S obzirom na to da se u svakom domaćinstvu, pa i u poslovnim prostorima potrošnja struje povećava, sve više ljudi se okreću LED tipovima osvetljenja. Svakako, ovaj izbor nosi sa sobom određene prednosti, gde je najbitnija stavka drastično niža potrošnja struje, a zatim manja veličina i duži radni vek. Da bi smanjili potrošnju struje, proizvođači LED panela, odnosno sijalica koriste različite prekidačke tipove napajanja usled čega se generiše elektromagnetni šum radijacionim i konduktivnim putem. Ovo se negativno odražava na telekomunikacione uređaje u blizini. Brojna istraživanja se bave analiziranjem ovih smetnji i njihovih uticaja na analognu i digitalnu televiziju, FM radio kao i medicinske uređaje. Uticaj ovakvih smetnji na kratkotalasne radare nije istražen do sada u dovoljnoj meri.

Kako bi se zaštitili uređaji od smetnji generisanih od LED osvetljenja, CISPR (*International Special Committee on Radio Interference*) komisija je objavila standarde koji definišu maksimalan nivo radijacionih i konduktivnih smetnji koje LED osvetljenja moraju da zadovoljavaju. Eksperimentalna istraživanja sprovedena u ovoj disertaciji prikazuju koji nivo smetnji zapravo generiše ovaj tip osvetljenja, koristeći reprezentativan uzorak različitih tipova LED panela, odnosno sijalica. Frekvencijski opsezi počevši od 30 MHz su dobro istraženi za ove smetnje, međutim za frekvencijske opsege ispod 30 MHz ovaj tip smetnji nije dovoljno istražen.

Telekomunikacioni sistem za koji se analizira uticaj radijacionih smetnji u ovoj disertaciji je kratkotalasni radar. Ovaj tip radara radi na HF opsegu i pruža jedinstvenu mogućnost detektovanja radarskih ciljeva na daleko većim rastojanjima nego tradicionalni mikrotalasni radari. Ove velike pokrivenosti su od interesa za mnoge aplikacije, pa čak i za okeanografske potrebe. Generalno, kratkotalasni radari mogu se podeliti na dve grupe: prvi tip koji koristi refleksije od jonosfere i time ostvaruju daleko veće pokrivenosti, čime mogu detektovati čak i avione, dok se drugi tip kratkotalasnog radara fokusira na površinsko prostiranje elektromagnetnih talasa. Generalno posmatrano, korišćenje nižih radnih frekvencija omogućava veći domet. Prednost kratkotalasnih radara koji koriste refleksije od jonosfere jeste veća pokrivenost, međutim područje koje se nalazi neposredno ispred radara nije pokriveno usled prvog hopa elektromagnetnih talasa od jonosfere. Ovo je poznatije kao „mrtva zona” i ona može iznositi nekoliko stotina kilometara. Sa druge strane, kratkotalasni radari koji se fokusiraju na površinske talase nemaju problem sa mrtvom zonom i u poslednje vreme veliku primenu pronalaze u nadgledanju Ekskluzivno-ekonomske zone (EEZ) mora koja je definisana u skladu sa konvencijom Ujedinjenih Nacija zakona na moru [1]. Nadgledanje brodova u ovoj zoni, kao i drugih ciljeva od interesa na dalekim dometima, na primer morskih struja, je ključno pitanje koje se nameće svakoj državi koja izlazi na more. Nadgledanje se takođe može vršiti koristeći avione koji nadleću ovu površinu, ali ovo iziskuje znatno veće troškove. Kratkotalasni radar može vršiti nadgledanje 24 sata dnevno, 7 dana u nedelji po znatno nižim troškovima. Ovo je vrlo bitno jer mnoge nelegalne aktivnosti se mogu obavljati iza linije horizonta, a koje su u nadležnosti Ekskluzivno-ekonomske zone određene države.

Kada se uzme u obzir sve prethodno navedeno, kao i činjenicu da LED tip osvetljenja nije jedini izvor smetnji koji se može javiti neophodno je detaljnije pristupiti ovom problemu i izvršiti potrebna merenja u laboratorijskim kontrolisanim uslovima, kao i u realnim uslovima. Takođe, potrebno je razviti i algoritam kako bi se detektovao i umanjio ovaj tip smetnji kod kratkotalasnih radara. Usled eksternih smetnji, može se desiti propust u detekciji brodova od interesa, generisanja lažnih alarma, a s obzirom da se ovaj tip radara može koristiti za okeanografska merenja, može se propustiti detekcija cunamija što može imati za posledicu gubitak velikog broja ljudskih života i ovo predstavlja osnovni motiv za izradu ove doktorske disertacije.

U disertaciji je dat pregled literature i pregled publikovanih radova u kojima se objašnjava ko je sve i kako analizirao LED šum i na koje uređaje i u kojim uslovima može uticati ovaj tip smetnji. Takođe je dat pregled literature vezan za kratkotalasni radar, sa pozivom na publikovane radove koji analiziraju kako sve smetnje mogu uticati na ovaj radar i na koji način se vrši mitigacija ovih smetnji. Veliki broj radova je sproveo istraživanja vezana za mitigaciju smetnji koje potiču iz jonosfere, međutim danas se javlja potreba i za mitigacijom onih smetnji koje potiču od LED osvetljenja.

1.2 Predmet istraživanja

Predmet istraživanja ove doktorske disertacije predstavlja radijacioni tip elektromagnetnog šuma koji se javlja od LED osvetljenja i koji kod kratkotalasnog radara, namenjenog prvenstveno za detekciju brodova, unosi elektromagnetne smetnje. Takođe, sprovedena su istraživanja vezana za analiziranje problematike LED osvetljenja, dobijanja mernih rezultata o intenzitetu smetnji koje se mogu javiti od ovog izvora, a takođe su istraživanja posvećena primeni algoritama prvenstveno za mitigaciju ali i za detekciju ovih smetnji korišćenjem metoda obrade slike.

1.3 Ciljevi istraživanja i polazne hipoteze

Naučni cilj istraživanja je određivanje nivoa elektromagnetnih smetnji u laboratorijski kontrolisanim uslovima, što je u ovoj disertaciji laboratorija za elektromagnetsku kompatibilnost, a merenja su vršena u skladu sa međunarodnim definisanim standardima. Istraživanja su sprovedena za frekvencijski opseg od 3 do 30 MHz. Pored laboratorije, merni rezultati su prikupljeni i u realnim uslovima, na operativnoj radarskoj lokaciji koja je instalirana na zapadnoj obali afričkog kontinenta. Isti tip LED osvetljenja, na istim rastojanjima kao u laboratorijskim uslovima je testiran u Africi i podaci sa radara su sakupljeni u naučne svrhe. Nad skupljenim podacima izvršena je analiza i testiran je predložen algoritam za mitigaciju i detekciju LED šuma.

Prilikom izrade disertacije krenulo se od nekoliko hipoteza. Prva je da LED šum ima negativan uticaj na kratkotalasni radar, koji konkretno analiziran u ovoj disertaciji ima radnu frekvenciju od oko 6,7 MHz. Postavljena je i hipoteza da se metodama obrade RD slike može detektovati i ublažiti LED šum. Za potvrdu postavljenih hipoteza sprovedeno je opsežno istraživanje.

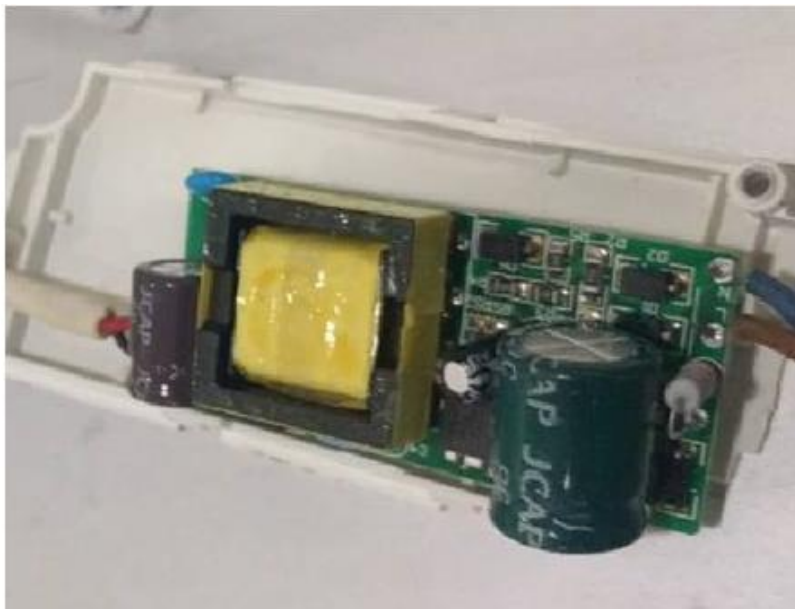
1.4 Organizacija disertacije

U skladu sa definisanim hipotezama, predmetom i naučnim ciljevima, sprovedeno je istraživanje čiji rezultati su prikazani u ovoj disertaciji. Sadržaj doktorske disertacije je organizovan u devet poglavlja. U prvom poglavlju, odnosno uvodnim razmatranjima su dati motivi, predmet i cilj istraživanja, dok je u drugom poglavlju ukazano na današnju problematiku LED osvetljenja. Ovde je prikazano kako i zašto se generišu smetnje, a dat je i pregled objavljenih radova koji su analizirali ovu problematiku do sada. U trećem poglavlju dat je pregled međunarodnih standarda koji preporučuju metodologiju merenja elektromagnetnih smetnji ovog tipa. U četvrtom poglavlju se opisuje princip rada kratkotalasnog radara i njegove prednosti u odnosu na tradicionalni mikrotalasni radar. Takođe je dat pregled osnovnih pojmova, a prikazano je kako se detektuju brodovi, od hardverskih do softverskih komponenata. Objasnjeno je i algoritam koji se koristi za procesuiranje prijemnog signala u cilju ekstrakcije radarskih meta, što za kratkotalasni radar u ovoj disertaciji predstavljaju brodovi. Jedan od koraka u ovom algoritmu predstavlja i ekstrahovana RD slika, za koju je objašnjeno kako se generiše i kakve informacije se mogu dobiti iz nje, a na nju će se kasnije primeniti eksperimentalna istraživanja i metode obrade slike koje su predložene u ovoj disertaciji. Ovde će biti dat prikaz i dosadašnjih objavljenih radova koji su takođe koristili RD sliku kratkotalasnog radara, analizirali je i modifikovali metodama obrade slike, uglavnom zbog jonosferskih smetnji. Kako postoji jonosferski tip šuma koji se može javiti, kao i LED šum, u petom poglavlju prikazano je koji se tipovi eksternih smetnji još mogu javiti i degradirati informacioni sadržaj kratkotalasnog radara. Radar analiziran u ovoj disertaciji se koristi prvenstveno za detektovanje brodova na moru. Poglavlje šest daje prikaz osnovnih karakteristika broskog kompleksa. U ovom poglavlju je dat prikaz i efektivne površine broda usled refleksije elektromagnetnih talasa koji potiču od kratkotalasnog radara, koja je objašnjena u kratkim crtama. Poglavlje sedam prikazuje na koji način su prikupljeni merni podaci, gde se opisuje način prikupljanja podataka u laboratorijskim uslovima, kao i na realnom terenu, odnosno sa operativne radarske lokacije. Poglavlje osam daje detaljan prikaz predloženog algoritma za mitigaciju i detekciju LED šuma. U poglavlju devet su prikazana zaključna razmatranja i urađena je konačna analiza istraživanja i rezultata koji su sprovedeni za potrebe ove disertacije. Na kraju naznačene su i smernice budućih istraživanja.

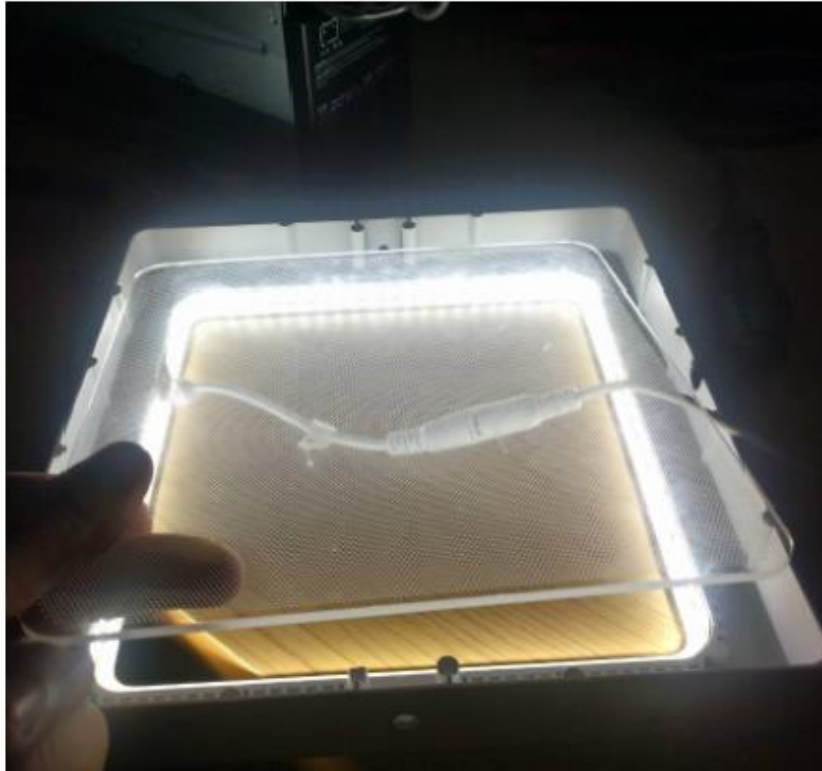
2 ELEKTROMAGNETNI ŠUM UZROKOVAN LED OSVETLJENJEM

U poslednje vreme, LED sijalice i LED paneli sve više zamenjuju sijalice sa užarenim vlaknima. Prednosti LED osvetljenja u odnosu na ostale izvore svetlosti su u mnogo nižoj potrošnji struje, manjoj veličini i mnogo dužem radnom veku u poređenju sa tradicionalnim sijalicama.

Kako bi poboljšali svoje karakteristike, LED sijalice, odnosno paneli su obično opremljeni sa prekidačkim izvorom napajanja koji generiše impulsnu struju kojom se napaja LED izvor svetlosti. LED drajveri, kao jedan od tipova prekidačke elektronike, imaju značajna harmonijska izobličenja usled prisustva diodnih mostova sa kondenzatorima koji stvaraju prekidačku struju, što znači da je struja drajvera jednaka nuli u određenom delu prekidačkog ciklusa, tj. na početku je nula, zatim dostiže maksimalnu vrednost i ponovo pada na nulu tokom svakog prekidačkog ciklusa. Ovi izvori napajanja se obično nazivaju „drajveri”. Slika 2.1 prikazuje primer jednog drajvera, dok Slika 2.2 prikazuje kako izgleda jedan LED panel koji dobija jednosmernu struju iz drajvera.



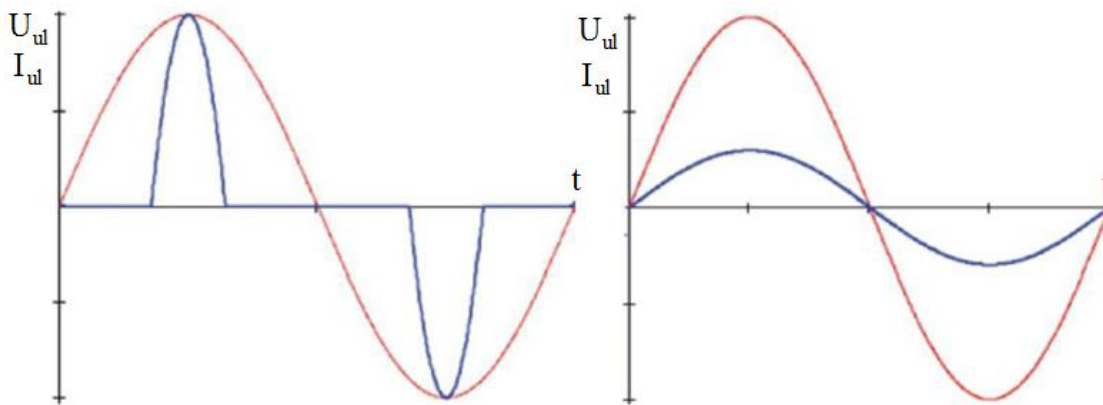
Slika 2.1 LED drajver



Slika 2.2 LED panel koji se napaja jednosmernom strujom od drajvera

Drajveri predstavljaju pretvarače iz naizmjenične u jednosmernu struju koji obezbeđuju jednosmernu struju ili napon za rad LED čipova. Osnovna prekidačka frekvencija za ovaj vid napajanja se kreće u opsezima od 50 do 100 kHz. Međutim, harmonijske komponente se javljaju na mnogo višim frekvencijama, čak i kada se unutar drajvera ugradi blok za korekciju faktora snage. Ove smetnje prekrivaju frekvencijske opsege za mnoge radio-servise i ometaju njihov rad. Ova problematika je primećena u Japanu 2010. godine, kada je primećen lošiji prijem analognog TV signala i radio signala nakon što su LED lampe instalirane u šoping ulici u Japanu [2].

Kako bi se smanjio uticaj negativnog zračenja kod LED osvetljenja, proizvođači najčešće koriste PFC (*Power Factor Correction*) blok za popravku snage. Aktivni PFC blok je najbolje rešenje za prekidačke uređaje, međutim zahteva veću investiciju i skuplje uređaje. Slika 2.3 prikazuje kako izgleda oblik struje (I_{ul}) koji je označen plavom bojom, sa istim naponom (U_{ul}), sa i bez prisustva PFC bloka.



Slika 2.3 Promena talasnog oblika ulazne struje u LED sijalnice posle drajvera bez (levo) i sa (desno) PFC blokom; struja je označena plavom bojom, dok je napon označen crvenom bojom [3]

Može se konstatovati da je jedino rešenje za suzbijanje harmonijskih izobličenja kvalitetan dizajn LED drajvera, a ključni problem je održavanje visokog faktora snage ($PF > 0,9$). Proizvođači LED drajvera obično proizvode opremu širokog ulaznog napona. U slučaju užeg opsega ulazne naizmenične struje (220-240 V) moguće je održati visok faktor snage iznad 0,9 [3].

Da bi se bilo koja električna oprema stavila u upotrebu i na tržište, ona mora ispuniti specifične zahteve koji se tiču elektromagnetske kompatibilnosti¹. Svetlosna oprema takođe može da uzrokuje pojedine smetnje i postoje definisana međunarodna pravila i preporuke kojima se uređuje bezbednost ove opreme. U Srbiji postoji pravilnik o elektromagnetnoj kompatibilnosti [4], koji je izdat 2010. godine njim se izdaju bitni zahtevi koje oprema mora da ispuni. Prema ovom pravilniku, oprema mora biti projektovana i izrađena tako da, uzimajući u obzir dostignuti stepen razvoja tehnike, obezbeđuje da:

- 1) Elektromagnetske smetnje koje prouzrokuje ne prelaze nivo iznad kog radio i telekomunikaciona oprema ili druga oprema ne može da radi kako je predviđeno;
- 2) Ima nivo imunosti na elektromagnetske smetnje koje se očekuju pri predviđenoj upotrebi, što omogućava rad opreme bez neprihvatljivog pogoršanja njenih radnih karakteristika [4].

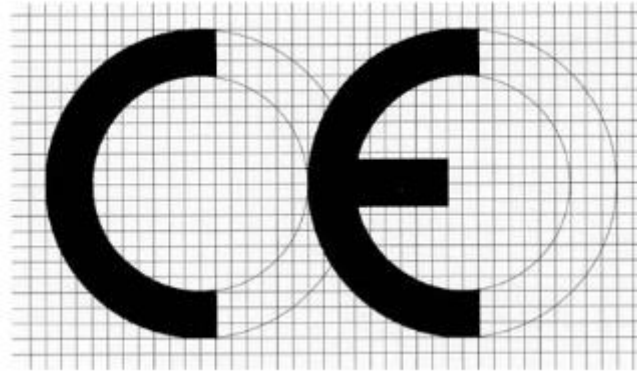
Svaka električna oprema, pa i LED osvetljenje mora da radi na zadovoljavajući način, odnosno ne sme da prouzrokuje elektromagnetne smetnje i da ometa rad druge opreme u okruženju. Sa druge strane, imunost, odnosno osetljivost opreme je sposobnost opreme da u prisustvu elektromagnetne smetnje može raditi bez degradacije radnih karakteristika u skladu sa predviđenom namenom. Naravno, imunost se može ostvariti do određenog nivoa izloženog elektromagnetnog okruženja, zbog čega se i definišu određene granice.

Kada je oprema usaglašena sa standardima², na nju se stavlja CE (*European Conformity*) znak usaglašenosti. Slika 2.4 prikazuje ovaj znak usaglašenosti, koji se sastoji od stilizovanog latiničnog slovnog znaka. Visina znaka mora biti najmanje 5 mm. Znak mora biti stavljen na aparat ili na njegovu

¹ Elektromagnetska kompatibilnost jeste sposobnost opreme da u svom elektromagnetnom okruženju radi na zadovoljavajući način i da ne prouzrokuje nedozvoljene elektromagnetske smetnje drugoj opremi u tom okruženju [3].

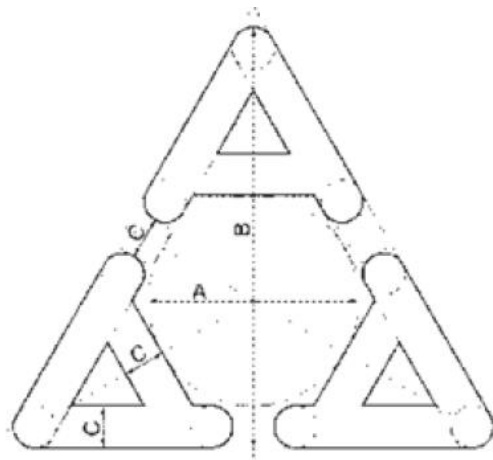
² Standardi podrazumevaju da je proizvod ispunio određene zahteve kada se govori o zaštiti životne sredine, zatim zahteve koji se tiču bezbednosti i zdravlja korisnika, kao i zahteve zaštite imovine.

pločicu sa podacima, a ako to nije moguće ili se ne može obezbediti zbog vrste ili svojstava aparata, ovaj znak se stavlja na ambalažu, ako ga aparat ima, ili se stavlja u prateću dokumentaciju. CE znak se mora postaviti na sve nove proizvode proizvedene u Evropskoj Uniji ili trećim zemljama, polovne proizvode koji se uvoze iz trećih zemalja i proizvode koji se već nalaze na jedinstvenom tržištu, ali su znatno modifikovani, tako da se mogu smatrati novim proizvodima [5].



Slika 2.4 CE znak usaglašenosti [4]

Srpski znak usaglašenosti se sastoji od tri velika slova A povezana u obliku jednakokraničnog trougla (Slika 2.5). Uz srpski znak se stavlja jedinstveni broj imenovanog, odnosno ovlašćenog tela za ocenjivanje usaglašenosti iz registra imenovanih, odnosno ovlašćenih tela za ocenjivanje usaglašenosti, kao i poslednje dve cifre godine izdavanja isprave o usaglašenosti, ako je to telo sprovodilo, odnosno učestvovalo u ocenjivanju usaglašenosti [4].



Slika 2.5 Srpski znak usaglašenosti [4]

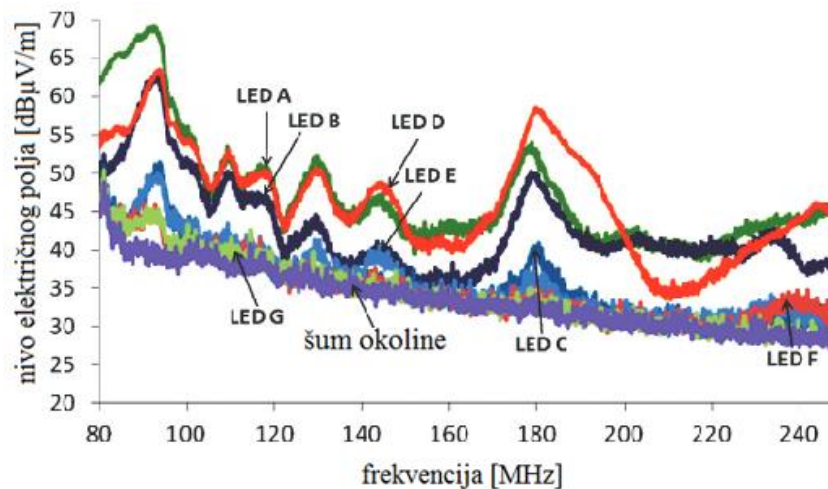
U lancu generisanja i primanja neželjenih elektromagnetnih smetnji, može se izvršiti sledeća podela na:

1. Izvor elektromagnetne smetnje;
2. Prijemnik, odnosno žrtva, koji ima degradacije radnih performansi zbog izvora smetnji;
3. Veza, odnosno sprega između prethodna dva učesnika kojom se energija prenosi od izvora do prijemnika.

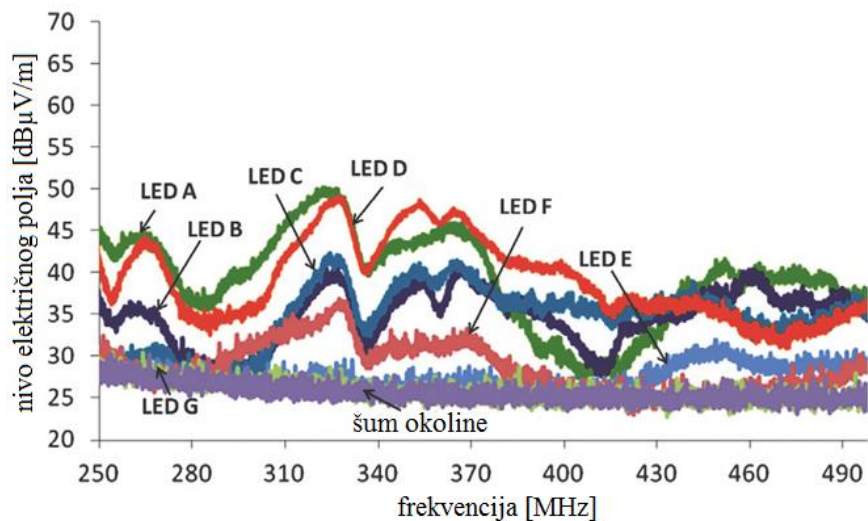
Kada se govori o vezi, smetnje se mogu podeliti na dva tipa: provodne (kondukcione) i zračene (radijacione) smetnje koje se mogu prenositi od predajnika do prijemnika. Da bi se istražilo kako efekti interferencije uzrokovani LED osvetljenjem utiču na telekomunikacione sisteme, neophodno je utvrditi u kojim frekvencijskim opsezima se manifestuju ove smetnje.

2.1 Pregled postojeće literature koje analiziraju elektromagnetne smetnje LED osvetljenja

Autori iz rada [2] su analizirali ove smetnje u frekvencijskom i vremenskom domenu. Frekvencijski domen su posmatrali na frekvencijama višim od 80 MHz, za nekoliko različitih tipova LED osvetljenja. Slika 2.6 i Slika 2.7 prikazuju rezultate njihovih istraživanja. Ono što je bitno napomenuti ovde, merenja jesu vršena prema CISPR standardu, međutim nisu vršena u anehoičnoj sobi.



Slika 2.6 Smetnje na frekvencijskom opsegu od 80 - 250 MHz [6]



Slika 2.7 Smetnje na frekvencijskim opsezima od 250 - 500 MHz [6]

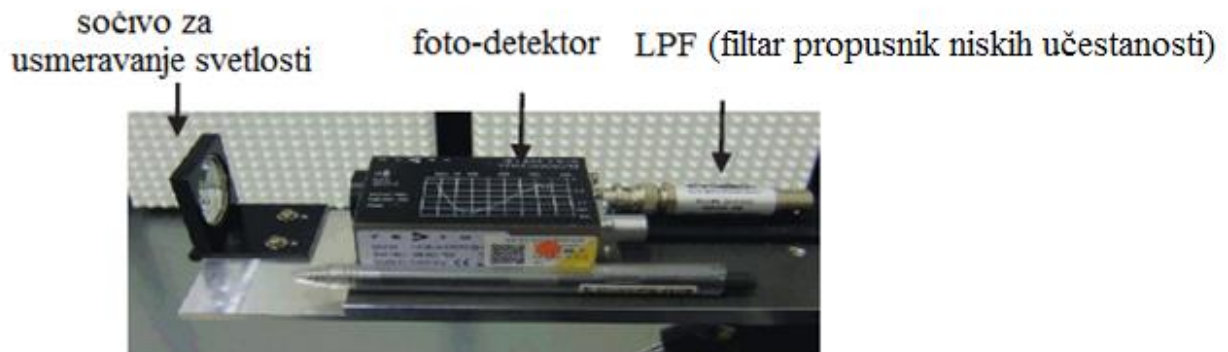
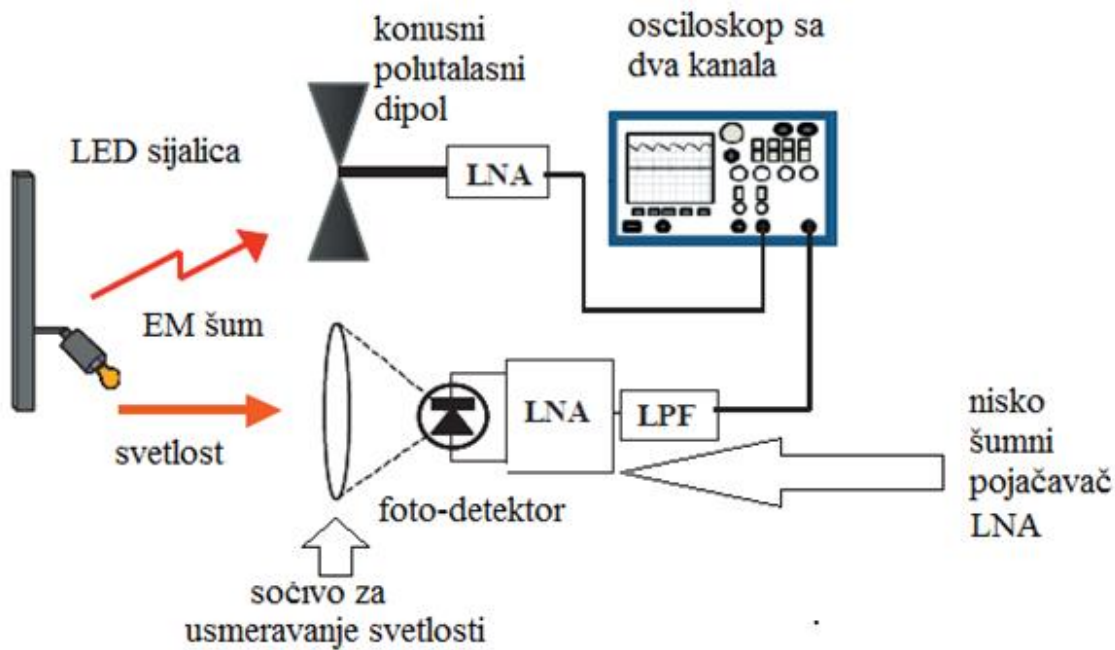
Kod ovakve vrste merenja, bitno je napomenuti da na smetnje utiču dužina strujnog kabla, tip kao i rastojanje strujnog kabla od merne antene. Interferencije potiču od samog drajvera i dalje se prenose i zrače preko napojnog strujnog kabla. Same LED sijalice ne proizvode štetna zračenja.

Javna glavna napajanja, odnosno linije za napajanje predstavljaju transportni medijum ili spojne puteve za elektromagnetnu interferenciju. Kreiranje ovih smetnji predstavlja rezultat ne-sinusnih strujnih opterećenja i može se povećati konektovanjem više elektronskih uređaja na različitim lokacijama. Jedno od tih opterećenja mogu biti LED diode sa pripadajućim prekidačkim tipom napajanja SMPS (*Switched Mode Power Supplies*) [7].

U istraživanjima [2] je korišćen vojni standard za ova analiziranja MIL-461E/RE102, sa kojim je analizirana ova problematika. Tu je pokazano da EMI (*Electro-Magnetic Interference*) koju uzrokuje drajver preko napojnih linija narušavaju liniju standarda. Međutim, istraživanja nisu sprovedena za HF opseg.

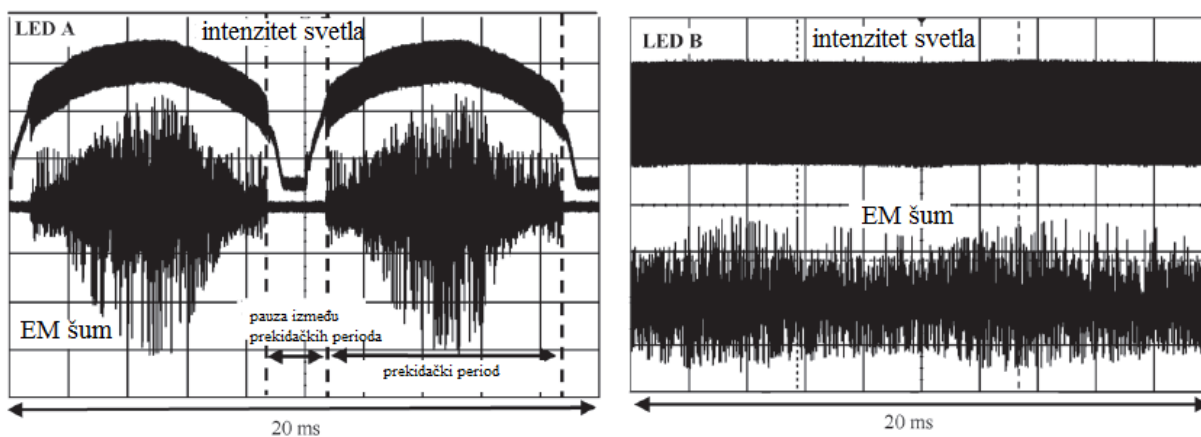
LED predstavlja p-n diodu koja emituje svetlost kada je aktivirana. Ova dioda svetli, odnosno emituje fotone kada elektroni prolaze kroz spoj, odnosno kada se na diodu dovede odgovarajući napon. Kada se odabere odgovarajući materijal i geometrija svetlost postaje vidljiva. Izbor poluprovodničkog materijala diode određuje boju svetlosti.

Autori rada [6] su detaljnije analizirali ove smetnje i u vremenskom domenu sa zanimljivim eksperimentom. Koristili su sedam različitih LED sijalica koje imaju različitu potrošnju struje. Slika 2.8 prikazuje šemu merenja, kao i merne uređaje koje su autori rada [6] koristili tokom merenja zračenja koje potiče od LED sijalice.



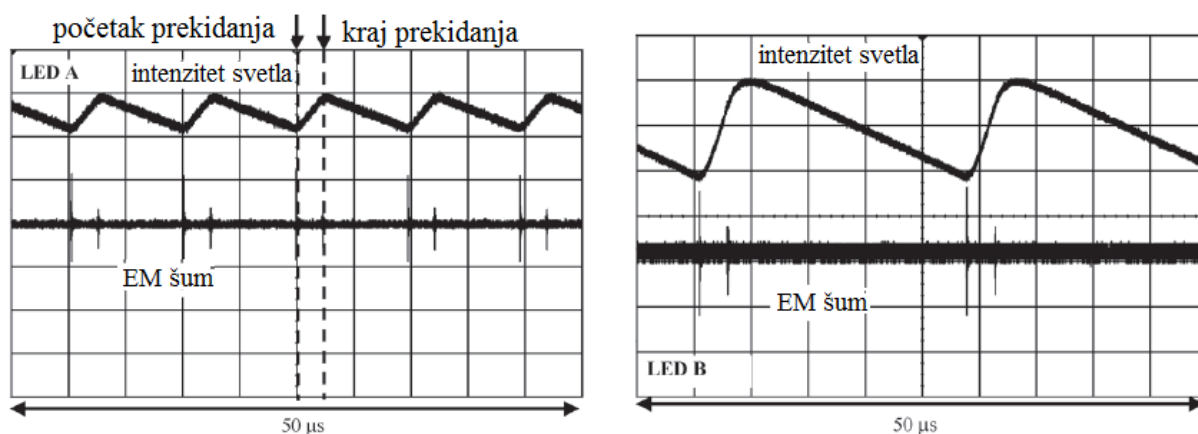
Slika 2.8 Merenje elektromagnetnog šuma i intenziteta svetlosti od LED sijalice [6]

Merni uređaji u ovom istraživanju se mogu podeliti u dve grane koje istovremeno vrše merenja. Jedna grana meri elektromagnetni šum koji potiče od LED sijalice, dok druga meri intenzitet LED svetlosti. Osciloskop sa dva kanala omogućava istovremeno merenje i jedne i druge grane, zahvaljujući čemu se ova zračenja u vremenskom domenu mogu istovremeno analizirati. Elektromagnetni šum se prima širokopoljansnom konusnom dipol antenom koja pokriva frekvencijski opseg od 80 MHz do 3 GHz. Sa druge strane, svetlost koju LED sijalica emituje se fokusira na sočivo koje usmerava svetlost na foto-detektor. Kombinacijom detektora i nisko-propusnog filtra omogućava se detektovanje promena intenziteta zračenja svetlosti usled prekidačkih operacija napajanja LED sijalice. Autori ovog eksperimenta su dobijene rezultate LED šuma podelili u dve kategorije: „sa prekidima” i „bez prekida”. Slika 2.9 prikazuje ove dve kategorije.



Slika 2.9 Razlika između LED emisija sa prekidima (levo) i bez prekida (desno) [6]

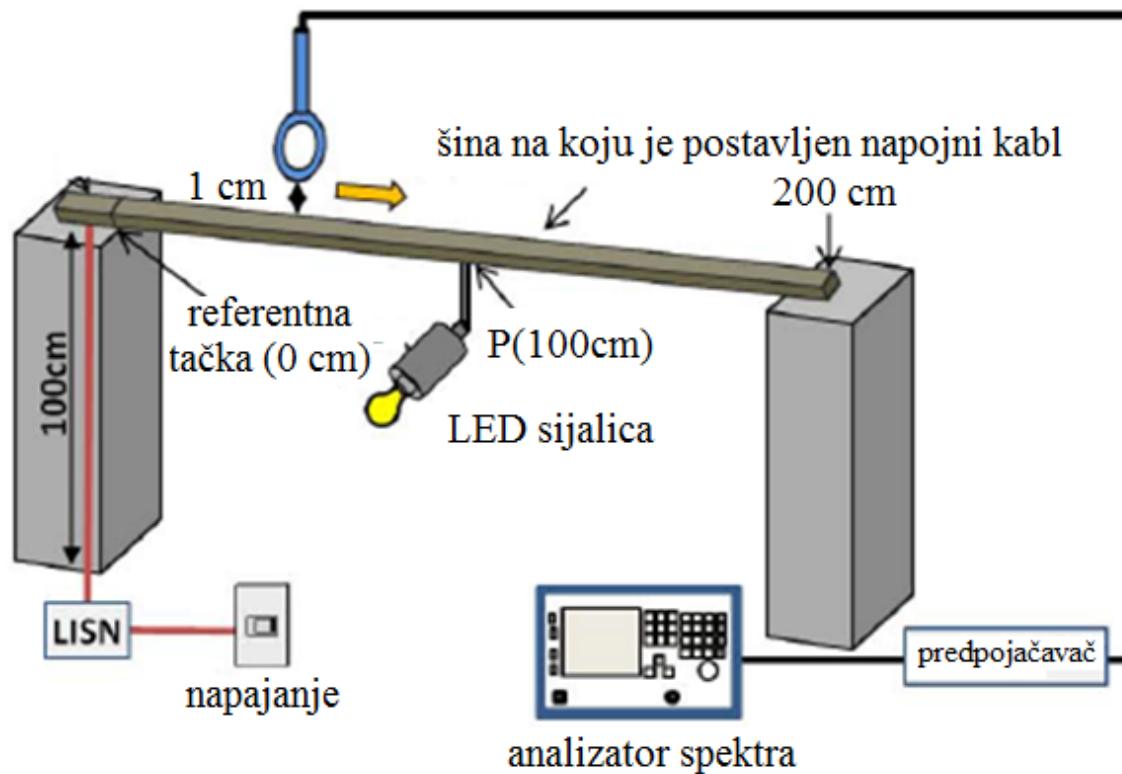
Ukoliko bi se priroda ovih smetnji želela analizirati u manjem vremenskom periodu nego što je to malopre prikazano (20 ms), potrebno je pogledati malo detaljnije u vremenu kakva je priroda signala smetnji i zračenja svetlosti. Slika 2.10 prikazuje analiziranje ovih parametara za period od 50 μ s.



Slika 2.10 Detaljnije analiziranje varijacija EM šuma i intenziteta svetlosti za kraći vremenski period [6]

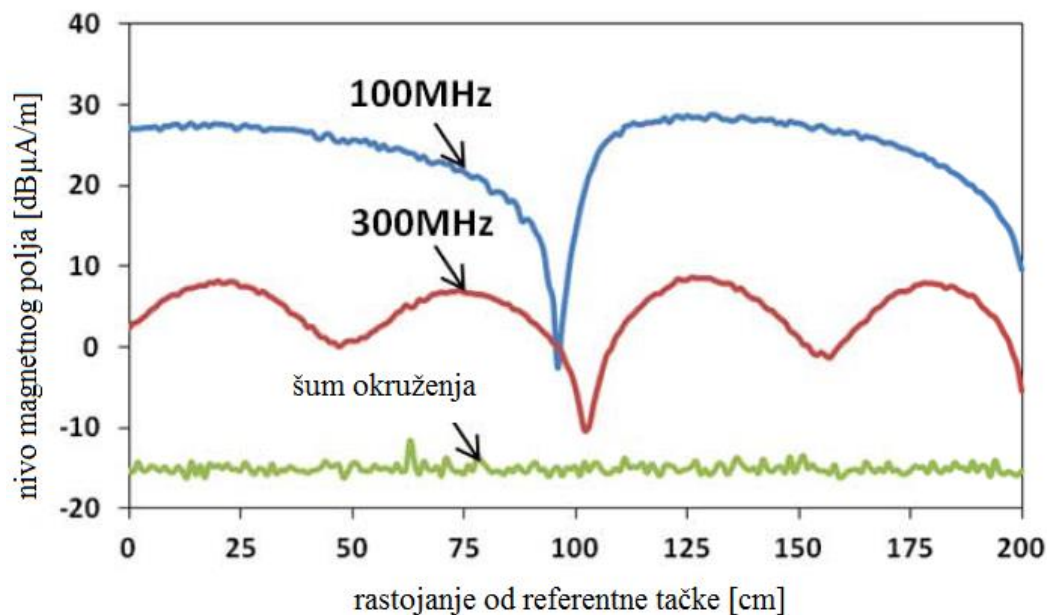
Kao što se može videti na ovoj slici, postoji niz kratkih impulsa koji su kraći od jedne mikro-sekunde. Ovim poređenjem se jasno može videti da se svaki elektromagnetni impuls generiše kada se deo za napajanje LED sijalice uključi ili isključi. Slična istraživanja su sprovedena i u radu [8].

Postoji još istraživanja o negativnom zračenju usled korišćenja LED osvetljenja. Tako na primer, autori rada [9] su analizirali radijacioni LED šum koji se preko napojnih kablova emituje u okruženje. U ovim istraživanjima napojni kablovi za LED sijalicu su instalirani na šinu, i želelo se utvrditi koji nivo magnetnog polja se emituje sa pomeranjem prijemne antene duž strujnog kabla. Slika 2.11 prikazuje šematski dijagram sprovedenog istraživanja.



Slika 2.11 Šematski prikaz sprovedenog istraživanja u radu [9]

Istraživanja su sprovedena za frekventijski opseg od 30 MHz do 1 GHz. Merenja su obavljena u anehoičnoj sobi, koristeći analizator spektra. Nivo šuma se povećava kako se merna antena udaljuje od LED sijalice. Slika 2.12 prikazuje merne rezultate i pokazuje da je LED osvetljenje samo uzrok smetnji, ali se one zapravo prostiru preko napojnih kablova. Slika 2.12 prikazuje istraživanja iz ovog rada za 300 MHz i za 100 MHz.



Slika 2.12 Promena magnetnog polja sa promenom rastojanja od LED sijalice [9]

Kao što je već rečeno, LED utiče na telekomunikacione uređaje u blizini. Tako su autori rada [10] analizirali uticaj ovih smetnji na digitalnu televiziju. Istraživanja su sprovedena slično kao i u prethodnom eksperimentu, gde se merilo negativno zračenje LED sijalice, ali ovde se pozicija sijalice menjala na šini. Do sličnih se rezultata došlo kao i u prethodnom eksperimentu.

Takođe, rad [11] ukazuje na to da se funkcija raspodele verovatnoće amplitude APD (*Amplitude Probability Distribution*) šuma koji potiče od LED osvetljenja može dovesti u vezu sa BER-om (*Bit Error Rate*), koristeći formulu (2.1):

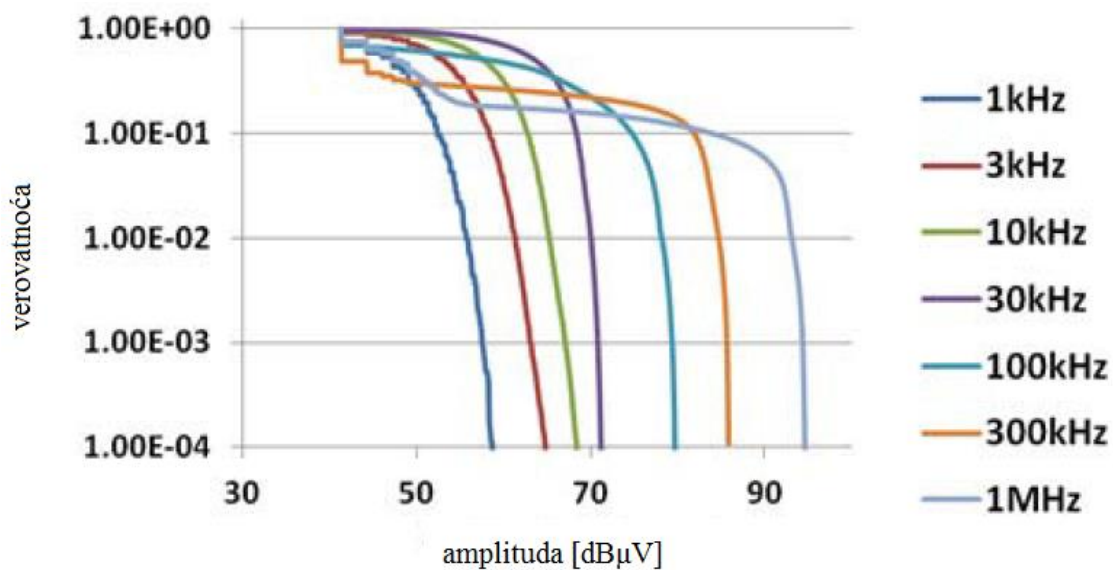
$$BER(A) = \frac{1}{m} APD\left(\beta A \sqrt{\frac{1}{m}}\right) \quad (2.1)$$

U formuli (2.1) A predstavlja srednju kvadratnu vrednost nivoa DTTB (*Digital Terrestrial Television Broadcasting*) signala. Zatim, m označava broj emitovanih bita po simbolu. Na kraju, β predstavlja polovinu minimalne distance između simbola, normalizovano sa A . Merenjem APD-a šuma može se dati procena amplitudskih karakteristika šuma. Međutim, najvažnije za LED istraživanja, APD se može dovesti u vezu BER-om (formula (2.1)). Teoretski, APD se može predstaviti formulom (2.2) [12]:

$$APD(x) = \sum_{i=1}^{n(x)} \frac{W_i(x)}{T_0} \quad (2.2)$$

U jednačini (2.2), W_i označava trajanje u kojoj anvelopa smetnji $x(t)$ prelazi nivo x , promenljiva i koja može imati vrednosti od 1 do n prikazuje koliko puta $x(t)$ prelazi prag x , dok T_0 predstavlja ukupno vreme merenja [12].

Slika 2.13 prikazuje izmeren APD koji potiče od LED sijalice [11].

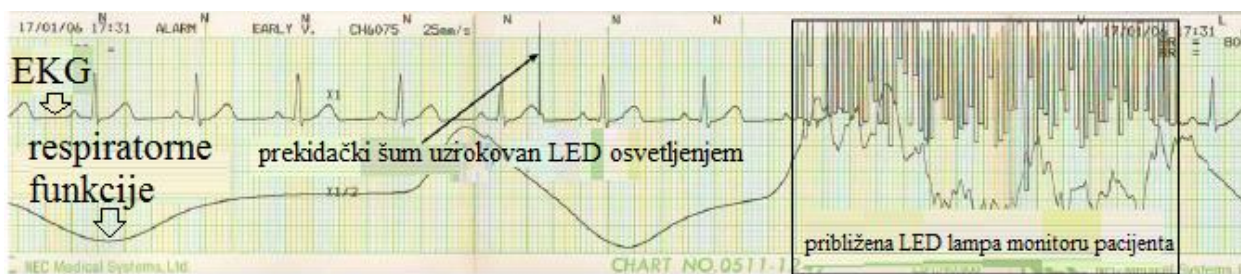


Slika 2.13 APD šuma koji potiče od LED sijalice [11]

Pored ovih sistema, kao što je televizija, LED osvetljenje može uticati i na druge sisteme u blizini. Postoje brojni radovi i u oblasti medicine, gde se LED osvetljenja na primer koriste u operacionim sobama, pa se javljaju problemi kod hiruških navigacionih sistema. Ovi sistemi se koriste kod neurohirurgije, kod ortopedskih operacija, plastične hirurgije i tako dalje. Hiruški navigacioni sistemi prikazuju lokaciju hiruških instrumenata u telu pacijenta koristeći računarsku tomografiju ili magnetnu rezonancu. Ovi navigacioni instrumenti mere nivo magnetnog polja pre izvršavanja određenih radnji. Bazirano na izmerenim rezultatima, senzor proračunava lokaciju i smer hiruškog instrumenta unutar pacijentovog tela. Stoga, nije poželjno prisustvo drugih eksternih izvora elektromagnetnog zračenja, međutim zabeleženo je prisustvo i negativan uticaj LED osvetljenja na ove sisteme. U radu [13], merenja su napravljena u operacionim salama i prikazano je da negativan uticaj od LED-a može biti prisutan ukoliko se LED osvetljenje nalazi jako blizu ovih uređaja, što dalje vodi do grešaka u hiruškim navigacionim sistemima i određenih grešaka u očitavanju vrednosti i shodno tome može doći do pogrešnih odluka lekara koje direktno mogu uticati na život pacijenta. Prema ovom radu, ukoliko se LED osvetljenje fizički odvoji dovoljno od ovih sistema, onda se uticaj smetnji shodno tome smanjuje i prestaje da bude kritičan, međutim i dalje je prisutan određen nivo smetnji [13].

U radu [14], dokazano je da medicinski telemetri mogu imati degradirane performanse ukoliko se LED osvetljenje nalazi u blizini. Telemetri emituju biološke signale pacijenta radio talasima, kao što su respiratorni talasni oblici, monitoring krvnog pritiska, elektrokardiogram (EKG³), monitorisanje krvi u arterijama i slično. S obzirom da ovi instrumenti rade na oko 400 MHz, istraživanja su sprovedena za ove frekvencije. Slika 2.14 prikazuje kakve sve probleme može uzrokovati LED šum kod medicinskih uređaja za praćenje bitnih životnih aktivnosti pacijenata.

³ Elektrokardiogram predstavlja proces snimanja električne aktivnosti srca, a to se ostvaruje tako što se pripočaju elektrode na određena mesta kože



Slika 2.14 Prikaz izobličenja dijagrama elektrokardiograma i respiratornih signala zbog prisustva LED šuma [14]

Istraživači u ovom radu preporučuju da, ukoliko se želi izbeći prisustvo ovih smetnji, da se LED uređaji koji emituju smetnje udalje što više od medicinskih sistema. Distanca koju oni preporučuju je više od 5 metara. Autori radova [15], [16], kao i [17] su se takođe bavili uticajem LED smetnji na bežične medicinske sisteme za telemetriju, gde su pokazali da LED osvetljenje takođe može degradirati performanse i ovih sistema.

3 STANDARDI ZA MERENJE LED ŠUMA

Prema ITU (*International Telecommunication Union*) standardu P.372-13 [18] radio-šum predstavlja vremenski promenljiv elektromagnetni fenomen koji ima komponente u radio-frekvencijskom opsegu. Ne prenosi nikakve korisne informacije a može interferirati sa korisnim signalom. Ova preporuka razmatra eksterne radio-šumove koji utiču na prijemnu opremu, a mogu poticati od:

- Radijacionih pražnjenja usled munja (atmosferski šum usled munja);
- Kombinovanog neželjenog zračenja od električnih mašina, električne opreme, strujnih transmisionih linija ili od paljenja motora sa unutrašnjim sagorevanjem (šum nastao od čoveka);
- Emisije iz atmosferskih gasova i hidrometara;
- Zemlje i ostalih prepreka unutar antenskog snopa zračenja;
- Zračenja usled nebeskih radio-izvora.

Faktor šuma f za prijemni sistem se sastoji od brojnih izvora šuma. I unutrašnji i spoljni šum se moraju uzeti u obzir. Jedina ispravna referentna tačka za sveobuhvatni operativni faktor šuma je ulaz u ekvivalentnu prijemnu antenu bez gubitaka (priključci ove antene bez gubitaka ne postoje). Faktor sistemskog šuma se može predstaviti kao [18]:

$$f = f_a + (f_c - 1) + l_c (f_t - 1) + l_c l_t (f_r - 1) \quad (3.1)$$

U jednačini (3.1) f_a predstavlja eksterni faktor šuma, f_c predstavlja faktor šuma koji se tiče antenskih gubitaka, l_c predstavlja gubitke antenskog kola, f_t označava faktor šuma usled gubitaka u prenosnim linijama, l_t predstavlja gubitke transmisionih linija, dok f_r označava faktor šuma prijemnika.

Detaljnije objašnjenje prethodno pomenutih parametara jednačine (3.1) je prikazano u nastavku teksta. U jednačini (3.1), l_c označava gubitke antenskog kola (odnosno dostupna ulazna snaga/dostupna izlazna snaga), a l_t označava gubitke transmisione linije (dostupna ulazna snaga/dostupna izlazna snaga).

Eksterni faktor šuma f_a se može definisati kao [18]:

$$f_a = \frac{P_n}{kT_0 b} \quad (3.2)$$

U jednačini (3.2) su prisutni sledeći elementi:

P_n – dostupna snaga šuma od ekvivalentne antene bez gubitaka;

k – Bolcmanova konstanta, odnosno $1,38 \times 10^{-23}$ J/K;

T_0 – referentna temperatura (K) koja se uzima kao 290 K;

b – širina propusnog opsega prijemnog sistema (Hz);

Ukoliko se eksterni faktor šuma f_a želi definisati u decibelima, onda se to označava kao (3.3) [18]:

$$F_a = 10 \log f_a \quad (3.3)$$

Slično, ukoliko se f_r želi izraziti u decibelima, onda se to radi kao (3.4) [18]:

$$F_r = 10 \log f_r \quad (3.4)$$

Zatim, f_c predstavlja faktor šuma koji se tiče antenskih gubitaka i može se predstaviti jednačinom (3.5) [18]:

$$f_c = 1 + (l_c - 1) \frac{T_c}{T_0} \quad (3.5)$$

Ovde T_c predstavlja stvarnu temperaturu antene i okolne zemlje (K). Faktor šuma usled gubitaka u prenosnim linijama se može predstaviti sa formulom (3.6) [18]:

$$f_t = 1 + (l_t - 1) \frac{T_c}{T_0} \quad (3.6)$$

U ovoj jednačini T_t predstavlja stvarnu temperaturu transmisiona linije (K). Ukoliko su jednake referentna temperatura, temperatura okoline i temperatura antene, jednačina (3.1) se može napisati kao [18]:

$$f = f_a - 1 + f_c f_t f_r \quad (3.7)$$

Jednačina (3.2) se takođe može napisati kao (3.8) [18]:

$$P_n = F_a + B - 204 \quad (3.8)$$

U jednačini (3.8) P_n je u jedinici dBW, pa se P_n i B se mogu predstaviti formulama (3.9) i (3.10), respektivno [18]:

$$P_n = 10 \log p_n \quad (3.9)$$

$$B = 10 \log b \quad (3.10)$$

U jednačini (3.8), broj -204 predstavlja $10 \log k T_0$.

Za kratak vertikalni monopol ($h \ll \lambda$) iznad savršeno provodne ravni, vertikalna komponenta električnog polja srednje kvadratne vrednosti se može predstaviti formulom (3.11) [18]:

$$E_n = F_a + 20 \log f_{MHz} + B - 95,5 \quad (3.11)$$

U jednačini (3.11), elementi su:

E_n – snaga električnog polja u jedinici dB μ V/m, za propusni opseg b ;

f_{MHz} – centralna frekvencija, koja je u jedinici MHz;

Jednačina (3.11) je slična jednačini kada se posmatra referentna izotropna antena u slobodnom prostoru (3.12) [18]:

$$E_n = F_a + 20 \log f_{MHz} + B - 96,8 \quad (3.12)$$

Eksterni faktor šuma se takođe može izraziti i sa temperaturom T_a , gde je po definiciji f_a predstavljen formulom (3.13) [18]:

$$f_a = \frac{T_a}{T_0} \quad (3.13)$$

Ovde T_a predstavlja efektivnu temperaturu antene usled eksternog šuma [18].

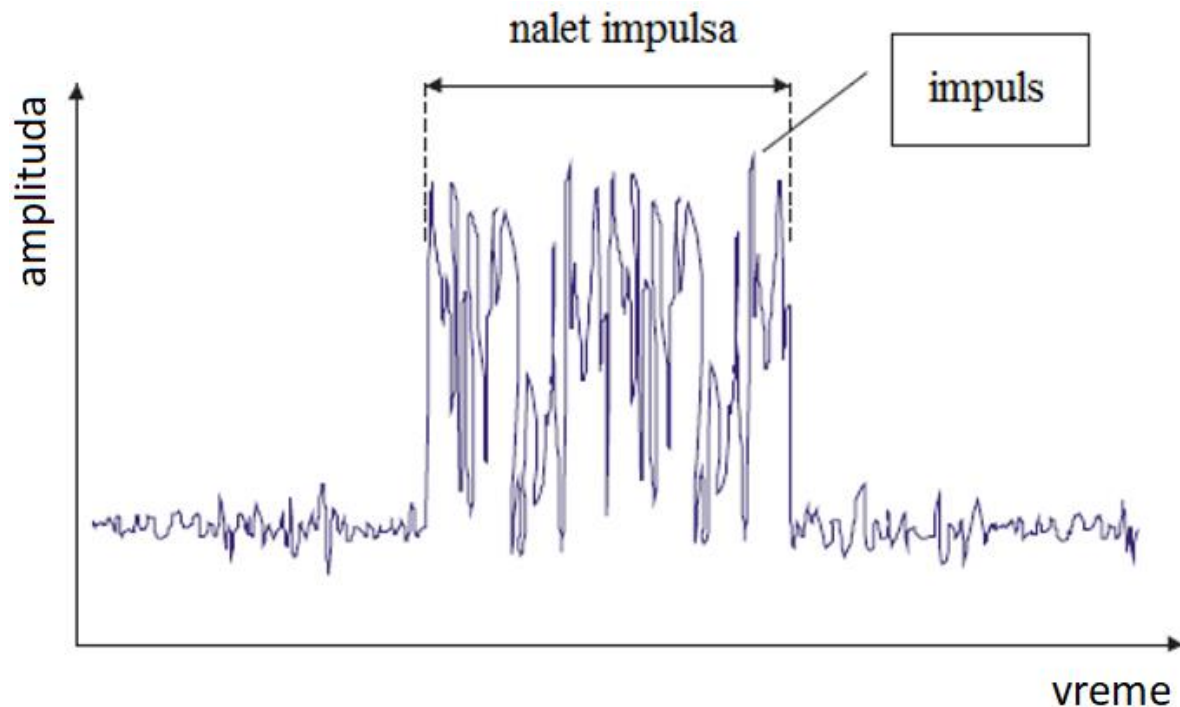
Preporuka [19] pruža generalne smernice za merenje radio-šuma, međutim s obzirom da će se ova disertacija fokusirati na analizi LED šuma na HF opsegu, ITU je izdao pogodniju preporuku, a tiče se merenja šuma koje je izazvano čovekovim uticajem na frekvencijskom opsegu od 3 do 30 MHz [20].

Preporuka za merenje šuma izazvanim čovekovim uticajem u HF opsegu [20] karakteriše emisije u sledeće kategorije:

- Beli Gausov šum WGN (*White Gaussian Noise*): emisije koje imaju raspodelu amplituda šuma sa propusnim opsegom koji je uvek veći od mernog propusnog opsega. Ovaj šum je promenljiv u zavisnosti od doba dana usled različitih propagacionih uslova, a svakako i od lokacije.
- Impulsni šum IN (*Impulse Noise*): emisije koje su prisutne tokom određenog procenta vremena. Obično se sastoje od niza impulsa (*burst*) koji imaju ograničeno, kratko trajanje i ponekad se ponavljaju po određenom pravilu PRF (*Pulse Repetition Frequency*);
- Šum sa jednim nosiocem SCN (*Single Carrier Noise*): emisije sa manje-više konstantnom amplitudom i sa propusnim opsegom koji je manji od mernog propusnog opsega.

Ukoliko se meri WGN, dovoljno je meriti srednju kvadratnu vrednost, integrisanu po dovoljno dugačkom vremenu (na primer 1 sekunda). Ovo se obično radi kod analizatora spektra koristeći RMS (*Root Mean Square*) detektor, pa se rezultati snimaju kako bi se usrednjavali tokom željenog vremena (na primer, jedan sat).

Prema ovoj kategorizaciji, LED šum bi pripadao kategoriji IN. Kada bi se detaljnije analizirao impulsni šum u vremenu po jednoj osi, a po amplitudi po drugoj, primetilo bi se da postoji niz impulsa (Slika 3.1). Preporučuje se da se koristi odgovarajući detektor prilikom sakupljanja ovih podataka, kao što je na primer „*row data sampling*“.



Slika 3.1 Primer impulsnog šuma u vremenu [20]

Preporuka [20] daje pregled osnovnih zahteva koja merna oprema mora da ispunjava. Tabela 3.1 prikazuje ove zahteve.

Tabela 3.1 Osnovni zahtevi merne opreme [20]

Deo merne opreme	Važni zahtevi, napomene
HF antena	<ul style="list-style-type: none"> • Kratki vertikalni monopol, preporuka da se koriste radijali. • Antenski faktor na 5 MHz da bude manji od 35 dB • Antenski faktor između 12 i 30 MHz da bude manji od 20 dB • Koaksijalni kabl da ima feritna jezgra na sebi
Filtar propusnik opsega učestanosti	<ul style="list-style-type: none"> • Da bude više od 20 dB za opsege koji nisu od interesa i da slabljenje bude manje od 4 dB za opsege od interesa
Nisko-šumni pojačavač	<ul style="list-style-type: none"> • Minimalni frekvencijski opseg: 3 - 30 MHz • Dobitak ≥ 15 dB • Nivo šuma ispod 10 MHz ≤ 6 dB • Nivo šuma iznad 10 MHz ≤ 3 dB
Merni prijemnik	<ul style="list-style-type: none"> • Brzina odabiranja ≥ 20 kHz • Vreme akvizicije podataka ≥ 1 s • Posedovanje interfejsa za transfer podataka ka računaru • Opseg rezolucije RBW = 10 kHz
Računar sa softverom za kontrolu	<ul style="list-style-type: none"> • Podešava i kontroliše merni prijemnik • Memorisanje podatka • Omogućavanje vremenske sinhronizacije opreme

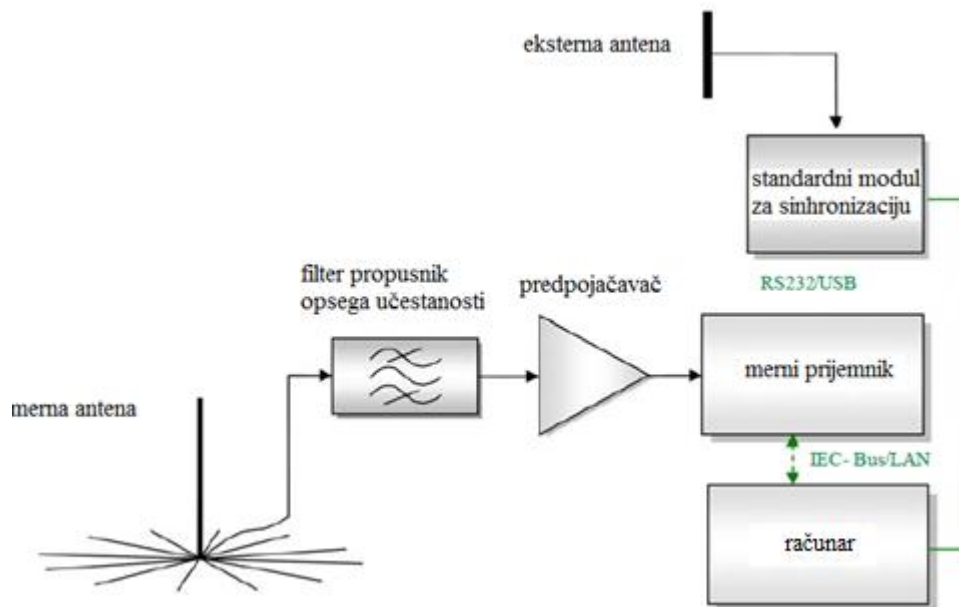
Antenski faktor označava konverzioni faktor koji se primenjuje zbog pretvaranja antenske voltaže u nivo električnog polja. Formula (3.14) prikazuje po kom principu rada ova veličina funkcioniše [20].

$$E = U + AF \quad (3.14)$$

U formuli (3.14) elementi su:

- E predstavlja snagu električnog polja (dB μ V/m);
- U predstavlja izlaznu voltažu iz prijemne antene (dB μ V);
- AF predstavlja antenski faktor (dB).

Slika 3.2 prikazuje kako treba da izgleda šema mernog sistema prema ITU standardu [20].



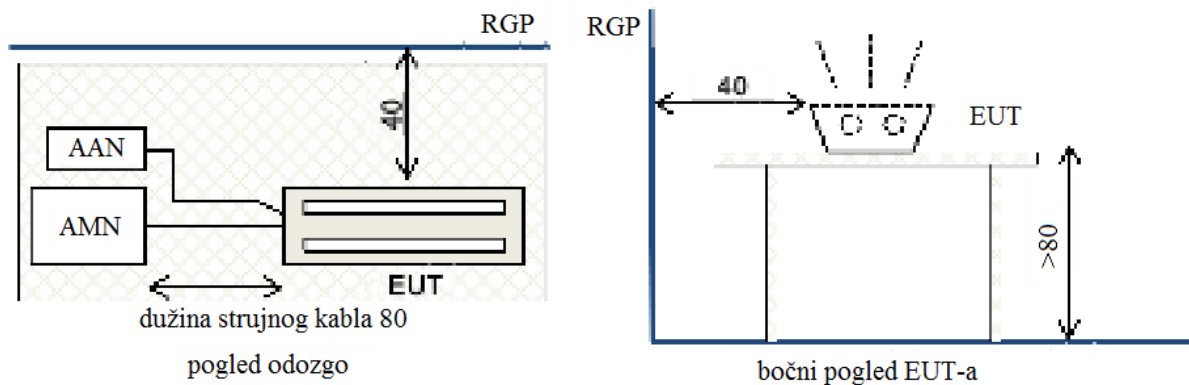
Slika 3.2 Sistem za merenje šuma predviđen ITU standardom [20]

Drugi međunarodni standard koji treba uzeti u obzir je CISPR standard [21]. Specijalni međunarodni komitet za radio-smetnje CISPR je komitet Međunarodne elektrotehničke komisije IEC (*International Electrotechnical Commission*) koji definiše međunarodne standarde u oblasti radijacione i konduktivne elektromagnetne interferencije.

Kako bi se zaštitili radio-servisi protiv elektromagnetnog šuma, CISPR komisija je objavila nekoliko standarda vezanih za LED uređaje, a najznačajniji je standard pod imenom „Limiti i metode merenja karakteristika radio-smetnji koje potiču od osvetljenja i slične opreme” [21]. Kako bi se standardi u praksi sproveli u delo, potrebno je koristiti odgovarajući EMI prijemnik ili analizator spektra. CISPR standard daje grafički prikaz kako bi trebalo da izgleda merno okruženje (Slika 3.3). Na prikazanoj slici skraćenice označavaju sledeće stvari:

- EUT (*Equipment Under Testing*) predstavlja opremu za koju se želi odrediti nivo smetnji koje se emituju konduktivnim ili radijacionim putem, a EUT oprema u ovoj disertaciji označava LED osvetljenje;
- AAN (*Asymmetric Artificial Network*), poznatiji i kao ISN (*Impedance Stabilization Network*) se koristi za merenje konduktivnih smetnji. Postavlja se između EUT-a i pomoćne opreme koja je neophodna da bi EUT radio normalno. Kako se u ovoj disertaciji analizira radijacioni šum, u praktičnim laboratorijskim ispitivanjima u ovoj disertaciji ISN se neće koristiti.
- AMN (*Artificial Mains Network*), poznatiji i kao LISN (*Line Impedance Stabilization Network*) dostavlja neophodnu voltažu za EUT i koristi se kada se mere smetnje koje se prostiru preko strujnog kabla. U ovoj disertaciji analiziraju se smetnje koje kreću od LED drajvera i uloga LISN-a jeste da spreči neželjene smetnje koje dolaze iz strujne mreže, kao što sprečava i smetnje od LED-a preko strujnih kablova da se distribuiraju dalje ka mreži. Njegova funkcija takođe jeste da obezbedi preciznu impedansu uređaja za napajanje EUT i osigura ponovljivost rezultata kod merenja radijacionog šuma.

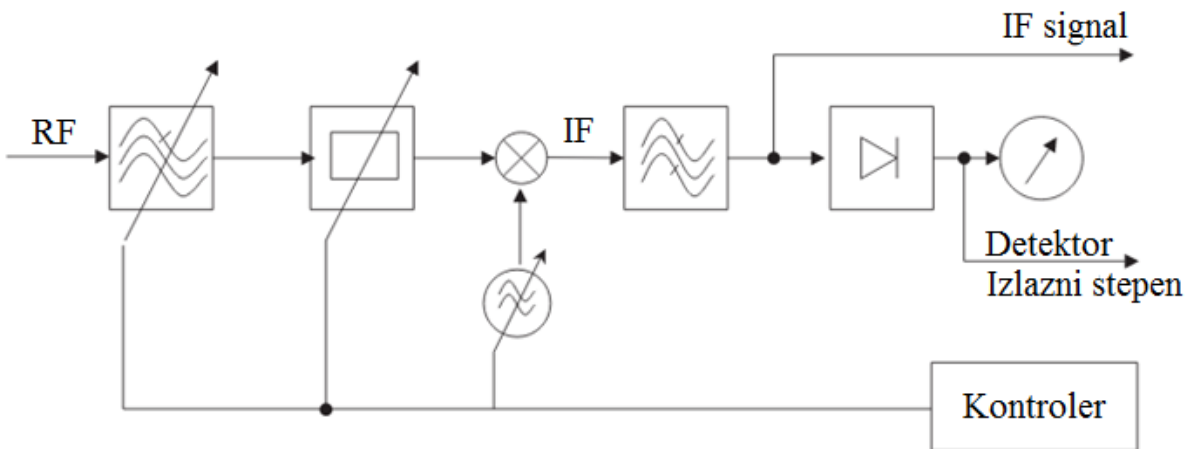
- RGP (*Reference Ground Plane*) predstavlja referentnu ravan, a ovo ima za cilj da se stekne orijentacija kako raspored opreme treba da izgleda u mernoj prostoriji.



Slika 3.3 Merenje smetnji od LED osvetljenja prema CISPR standardu (dimenzije su u centimetrima) [21]

3.1 EMI prijemnik

EMI prijemnici se koriste za punu usaglašenost prema CISPR standardima. EMI prijemnik meri signale elektromagnetne interferencije u frekvencijskom domenu. Merenja za dati set frekvencija se izvršavaju sekvencijalno. Današnji EMI prijemnici su heterodinski ili superheterodinski prijemnici. Slika 3.4 prikazuje blok dijagram konvencionalnog heterodinskog prijemnika [22].



Slika 3.4 Konvencionalni heterodinski prijemnik [22]

Pred-selektivni filter suzbija signale koji su van opsega od interesa. Sa ovim načinom dinamički opseg je poboljšan. Spektralni analizatori postoje sa i bez pre-selekcije. Na nižim frekvencijskim opsezima filteri i poluprovodničke diode sa kapacitivnošću zavise od primenjenih voltaža koje se primenjuju. Sa kontrolabilnim atenuatorom nivo signala je kontrolisan na takav način da mikser nikada ne uđe u

prezasićenje. Mikser i lokalni oscilator izvode konverziju signala na srednju frekvenciju IF (*Intermediate Frequency*). Zatim se signal filtrira filtrom propusnikom srednjih učestanosti. Izlazni signal se ponderiše sa određenim detektorom, kao što je pik detektor (*peak*), detektor kojim se usrednjavaju vrednosti signala (*average*), detektor koji daje prikaz srednjih kvadratnih vrednosti rms (*root mean square*) ili kvazi-pik detektor (*quasi-peak*) za odabrano vreme zadržavanja (*dwell time*).

Analogni izlazni signal $S_{IF}(f)$ je opisan u frekvencijskom domenu kao [22]:

$$S_{IF}(f) = S(f - f_{sel} + f_{IF}) H_{IF}(f) \quad (3.15)$$

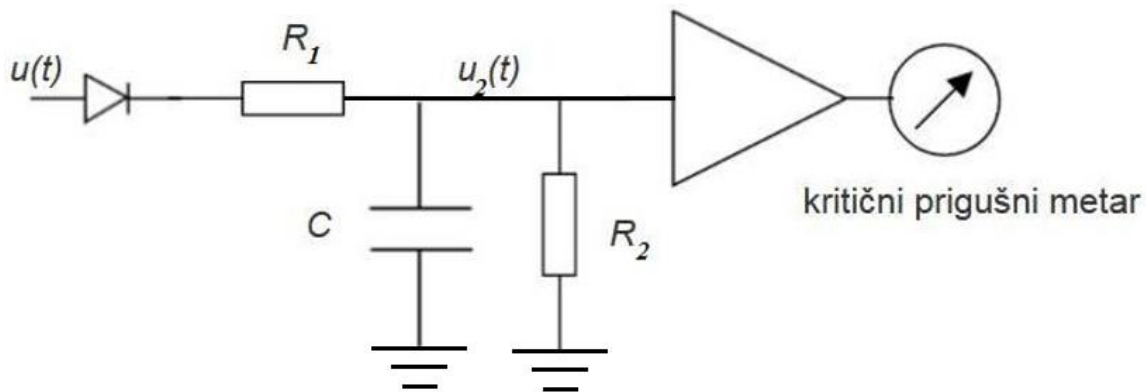
U formuli (3.16) f_{sel} predstavlja selektovanu frekvenciju. EMI signal je pomeren na srednju frekvenciju f_{IF} i pomnožen sa frekvencijskim odzivom IF filtra. H_{IF} predstavlja amplitudu odziva IF filtra. Takođe, EMI prijemnik ima vreme skeniranja koje se proračunava po formuli (3.17) [22]:

$$t_{scan} = t_{dwell} N \quad (3.17)$$

U formuli (3.17) N predstavlja broj frekvencija koje se mere i t_{dwell} vreme merenja svake frekvencije, koje je takođe poznato i kao vreme zadržavanja. Ovo vreme se mora povećati ukoliko se mere signali, odnosno interferencije koje nisu stacionarne. Takođe, ono zavisi od toga koji je podešen detektor, kao i od vremena stabilizovanja IF filtra [22].

CISPR standard predlaže korišćenje kvazi-pik detektora. Ovi detektori su obično standardizovani sa matematički precizno definisanim dinamičkim karakteristikama vremena reagovanja, integracionog vremena i prema vremenu opadanja. Smetnje sa većom stopom ponavljanja se ponderišu ozbiljnije nego pojedinačne. Ovaj detektor se karakteriše sa kratkom konstantom punjenja i sa sporom konstantom pražnjenja. Na kraju se koriste određeni mehanizmi za glatko predstavljanje izlaznih smetnji [23].

Slika 3.5 prikazuje šematski prikaz analognog kvazi-pik detektora [24].



Slika 3.5 Analogni kvazi-pik detektor [24]

Demodulirani signal $u(t)$ konvencionalnog EMI prijemnika puni kondenzator C preko otpornika R_1 sve dok je $u(t)$ iznad $u_2(t)$. Ovo je tipično RC punjenje sa vremenskom konstantnom t_c . Ukoliko je ulazni signal $u(t)$ niži od $u_2(t)$, onda dioda ne provodi i napon $u_2(t)$ se prazni preko otpornika R_2 . Kritični prigušni metar sa vremenskom konstantom t_c se koristi da prikaže amplitudu. Maksimalna od prikazanih vrednosti se tretira kao kvazi-pik detektor [24].

EMI prijemnik koji se koristio u praktičnim laboratorijskim istraživanjima za merenje LED šuma u ovoj disertaciji je *Keysight N9038 EMI receiver* (Slika 3.6).



Slika 3.6 EMI prijemnik Keysight N9038 korišćen u praktičnim laboratorijskim ispitivanjima

4 KRATKOTALASNI RADARI

Radar koristi radio-talase za detekciju radarskih ciljeva i time omogućava da vidi ono što ljudsko oko inače ne bi moglo da zapazi [25]. Postoje generalno dva tipa kratkotalasnih radara koji se mogu koristiti za detekciju radarskog cilja: prvi tip koji koristi refleksije od jonosfere i time ostvaruju daleko veće domete, čime se mogu detektovati čak i avioni, dok se drugi tip kratkotalasnog radara fokusira na površinsko prostiranje elektromagnetnih talasa. Prednost kratkotalasnih radara koji koriste refleksije od jonosfere jeste daleko veća pokrivenost, međutim neposredno područje ispred radara nije pokriveno usled prvog hopa elektromagnetnih talasa od jonosfere. Ovo se u stručnoj literaturi može nazvati i „mrtva zona” i ona može iznositi nekoliko stotina kilometara. Sa druge strane kratkotalasni radari koji se fokusiraju na površinske talase nemaju problem sa mrtvom zonom i u poslednje vreme veliku primenu pronalaze u nadgledanju EEZ.

Kratkotalasni radarski sistem koji će biti analiziran u ovoj disertaciji je obalski baziran sistem za daljinsko nadgledanje i koristi iznad horizonta radarsku tehnologiju kako bi nadgledao kretanja na okeanskoj površini, prvenstveno za brodove, a može se koristiti za monitoring morskih talasa kao i pravca vetra. Za duže domete, nadgledanje sistema se radi sa radio-frekvencijom do 30 MHz. Vertikalno polarizovani elektromagnetni talas koji emituje ovaj kratkotalasni radar prati provodnu okeansku površinu i pri tom prati zakrivljenost Zemlje. Ovaj radar je baziran na površinskoj propagaciji talasa i pruža jedinstvenu sposobnost da detektuje mete daleko izvan konvencionalnih mikrotalasnih radarskih pokrića [26]. Ove vrednosti dometa su od visokog interesa za mnoge aplikacije uključujući detekciju brodova, praćenje i navođenje, kao i pretragu i spašavanje, raspodelu zagađenja, ribarstvo, eksploataciju i upotrebu pomorskih resursa, kao i proizvodnju energije od vode i vetra i istraživanje u okeanografiji koje se pojavljuju kao posledica konvencije Ujedinjenih Nacija u Zakonu o moru koji obuhvata 200 nautičkih milja u okviru Ekskluzivne Ekonomske Zone. Kontinualno morsko nadgledanje aktivnosti sa nacionalnim EEZ je ključno pitanje u zaštiti nacionalnog suvereniteta [27], [28], [29]. Neki radovi, kao što su [30] opisuju korišćenje kratkotalasnog radara za detektovanje santi leda na moru. Ovi radarski sistemi su postali operacioni alat u morskom nadgledanju širom sveta.

Dobro je poznato da performanse HF radara zavise od njegove sposobnosti da detektuje i prati metu na velikim udaljenostima. Na HF opsegu šum usled okruženja dominira nad čistim prijemnikovim šumom i različiti izvori interferencije imaju različite karakteristike. Glavni doprinos unutar HF radarskog eha je usled rasipanja (*scattering*) od okeanske površine. Priroda signala zavisi od noseće frekvencije radara, širine snopa zračenja, polarizacije i sistemske konfiguracije.

Prvi kratkotalasni radari su počeli sa instalacijama 1950. godine. Tada su se ovi radari koristili za detekciju brodova, aviona i projektila. Takođe su se mogle pratiti promene jonosfere, detektovati meteori i slično. Kako je vreme prolazilo, ovi radari su takođe našli primenu i u praćenju struja okeana, vetrova na moru i tako dalje [31]. Svakako, ovaj radar se može koristiti i u detekciji cunamija, čime se mogu spasiti ljudski životi [32].

4.1 Pregled bitnih parametara kratkotalasnih radara

Ukoliko se opisuju kratkotalasni radari, jednačina (4.1) se može koristiti za dobijanje odnosa signal-šum [33]:

$$\frac{S}{N} = \frac{P_{av} G_t G_r T \lambda^2 \sigma F_p}{(4\pi)^3 L_p L_s N_0 R^4} \quad (4.1)$$

U jednačini (4.1):

- $\frac{S}{N}$ predstavlja odnos izlaznog signal-šuma;
- P_{av} predstavlja srednju predajnu snagu;
- G_t predstavlja dobitak predajne antene;
- G_r predstavlja dobitak prijemne antene;
- T predstavlja koherentno vreme procesuiranja;
- λ predstavlja talasnu dužinu;
- σ predstavlja efektivnu površinu mete;
- F_p predstavlja propagacioni faktor radio-talasa;
- L_p predstavlja gubitke po propagacionoj trasi;
- L_s predstavlja sistemske gubitke;
- N_0 predstavlja snagu šuma po jedinici propusnog opsega;
- R predstavlja rastojanje između radara i cilja.

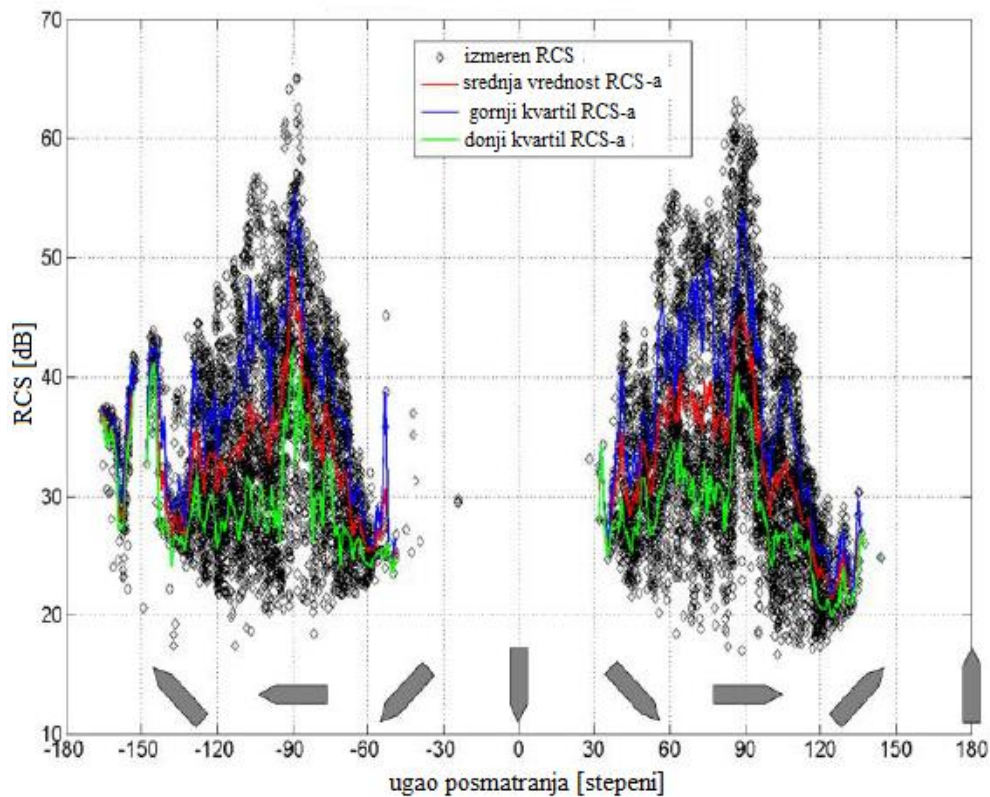
Neki od ovih parametara će biti ukratko opisani u nastavku teksta:

- Dobitak predajne i prijemne antene (G_t i G_r): zajedničko za sve HF radare jeste da se mora analizirati i uticaj zemlje na karakteristike antena, kao i orijentacija antena. Na primer, polutaladni dipol u slobodnom prostoru ima maksimalan dobitak u poređenju sa izotropnom antenom od 2,15 dB. Ukoliko je ta antena vertikalno polarizovana, tek iznad, ali da ne dodiruje savršeno provodnu zemlju, maksimalni dobitak će biti povećan za faktor 4,6 dB, čak do 8,15 dB, za ugao od 0 stepeni. Ipak, u realnosti, zemlja nije savršeno provodna i faktori permitivnosti i permeabilnosti tla utiču na konačne karakteristike antene. Električna svojstva zemlje značajnije utiču za vertikalno polarizovane antene, nego za horizontalno polarizovane.
- Konherentno vreme za procesuiranje (T): Za ciljeve koji su u dalekom dometu, eho prijemnog signala je jako nizak i teško ga je detektovati. Doplerovo procesuiranje se koristi da bi se eho signala koji potiče od radarskog cilja od interesa odvojio od nekih drugih neznačajnih refleksija (klater⁴). Stoga se koherentni uzorci prikupljaju tokom određenog intervala T , koji može i preći 100 sekundi. U radarskom sistemu koji će biti analiziran u ovoj disertaciji ovo vreme iznosiće 33 sekunde.
- Talasna dužina (λ): Talasna dužina se bazira na radnoj frekvenciji i mora se izabrati tako da se ostvare predviđeni dometi. Sa većom talasnom dužinom, veće su zone pokrivanja. Svakako

⁴ Detektovani neželjeni radarski eho iz okruženja

treba uzeti u obzir da se elektromagnetnim emisijama ne sme štetiti drugim radio-korisnicima u spektru. S obzirom na to da su jonosferski parametri promenljivi u vremenu, kao i korišćenje spektra od strane drugih korisnika, preporučljivo je adaptivno radio-upravljanje i menjanje radne frekvencije u slučaju da postoje određene smetnje na definisanom radio-opsegu.

- Efektivna površina mete (σ): U literaturi se često označava kao RCS (*Radar Cross Section*). Za konvencionalne radarske sisteme, ova efektivna površina će biti funkcija frekvencije, polarizacije, kao i ugla posmatranja, međutim na HF opsegu, dimenzije mete (na primer, brodovi) su tipično reda veličina talasne dužine, tako da su refleksije koje se dobijaju od radarskih sistema koji radi na višim frekvencijama malo drugačije. Svakako, da bi se dobio eho od odgovarajuće efektivne površine radarskog cilja, otežavajući faktor jeste klater [33]. Slika 4.1 prikazuje izmeren RCS za 32 različita velika broda, uzimajući u obzir njihove različite orijentacije [34].



Slika 4.1 Uticaj aspektnog ugla na RCS [34]

- Propagacioni faktor (F_p): Nekoliko različitih propagacionih fenomena, uključujući Faradejevu polarizacionu rotaciju, zatim *multipath* refleksije, refleksije sa višestrukim hopovima, kao i refleksije od jonosfere, se nekada moraju uzeti u obzir. Faradejeva rotacija se odnosi na varijaciju polarizacije kada signal dolazi od mete, kao funkcija vremena i rastojanja. Linearno polarizovani predajni signal često stiže do ciljne zone sa rotiranom osom polarizacija, ali još uvek u osnovi je linearno polarizovan.
- Snaga šuma po jedinici propusnog opsega (N_0): Za radare koji rade na HF opsegu, prijemnikov interni šum je uvek manji od eksternog šuma [33].

Za aplikaciju daljinskog nadgledanja okeana korišćenjem kratkotalasnog radara, postoje neki fizički, okeanografski i tehnički parametri o kojima treba voditi računa, kako bi se definisalo optimalno geometrijsko mesto i sistemska konfiguracija za specifične aplikacije. Za korisnički ugao gledanja glavni aspekti su:

1. Domet

Domet zavisi od radne frekvencije, odnosno niža frekvencija rezultuje većim ostvarenim dometima. Međutim, negativne karakteristike kod izbora niže frekvencije su sledeće:

- Niže frekvencije povećavaju osetljivost na eksterne interferencije;
- Niže frekvencije povećavaju varijacije u dometu (od dnevnih do noćnih uslova);
- Kod nižih frekvencija dostupnost propusnog opsega će biti smanjena, što ima za posledicu grublju rezoluciju dometa;
- Za niže frekvencije niz linearnih antena će biti prilično dug.

Ukoliko se koriste niže frekvencije, odgovarajući Bragov talas će biti dug. Prisustvo Bragovih linija je neophodne za neke druge detekcije kod kratkotalasnog radara, kao što je to na primer detekcija morskih struja, međutim Bragove linije mogu negativno uticati na detekciju brodova. Domet radara svakako zavisi i od saliniteta mora. Niži salinitet će jako smanjiti domet.

2. Rezolucija po rastojanju

Rezolucija dometa zavisi od dodeljenog propusnog opsega. Rezolucija po rastojanju (*range resolution*) predstavlja minimalno rastojanje za koje radar može razlikovati dva cilja po istom uglu.

- Sa povećanjem propusnog opsega rizik od postojanja spoljnih interferencija u opsegu se povećava;
- Povećanje propusnog opsega povećava dobijeni obim podataka.

U kratkotalasnom radaru koji se analizira u ovoj disertaciji rezolucija po rastojanju je 1500 metara.

3. Vidno polje

Za konfiguraciju linearnog niza vidno polje je ograničeno na $\pm 60^\circ$ i antenski niz je poželjno instalirati gotovo paralelno sa linijom obale.

4. Geometrijsko mesto

Za bilo koje mesto gde je instaliran sistem, razmak između predajne i prijemne antene treba da bude dovoljan da prijemni niz ne uđe u zasićenje. Preporučljivo je imati linearni prijemni niz i predajni niz tačno u istoj liniji (u istom redu). Niz antena treba biti instaliran veoma blizu vode, a preporuka je da to bude manje od 300 metara, a drugo rešenje jeste da niz antena bude instaliran na litici. U slučaju geometrije litice, moguće je dobiti odgovarajuće razdvajanje niza u vertikalnom pravcu, npr. predajni niz da bude ispod brda, u ravni prijemnog niza [35].

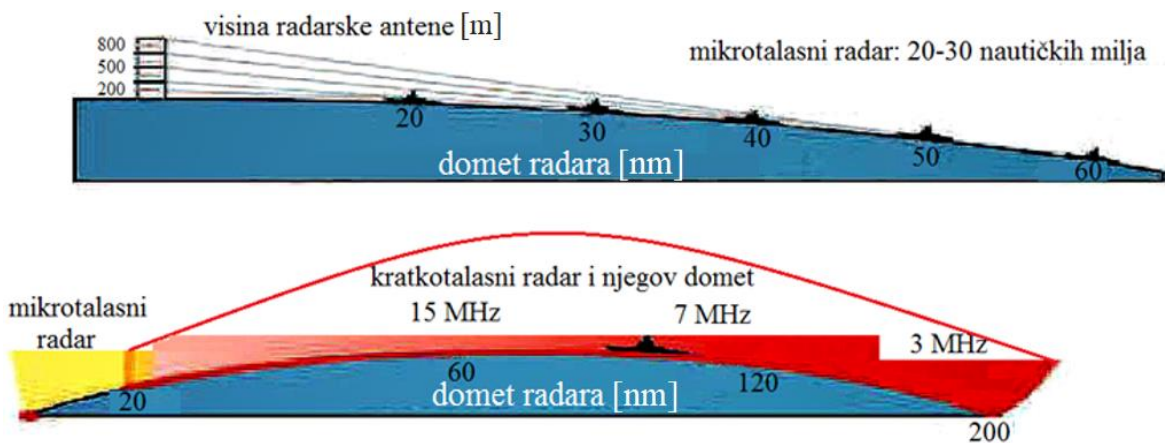
5. Ugaona rezolucija

Ugaona rezolucija predstavlja minimalan ugao između dve dovoljno velike mete na istoj udaljenosti od radara gde radar ima sposobnost da ih ne posmatra kao jednu metu, već kao dve odvojene mete. Ugaona rezolucija se postiže formiranjem nekoliko snopova zračenja sa dovoljno velikim odnosom signal-šum.

Za kratkotalasni radar koji se analizira u ovoj disertaciji ugaona rezolucija varira. Ona je 0,3 stepena u centru područja koje je pokriveno (linija koja je normalna na prijemni niz) pa ide sve do 2,5 stepeni na ivicama pokrivenog područja (područja koja zaklapaju ugao od ± 60 stepeni u odnosu na prijemni niz antena). Ukupan ugao pokriva je 120 stepeni [36].

4.2 Razlika između kratkotalasnog i mikrotalasnog radara

Postoje određene razlike između kratkotalasnih i mikrotalasnih radara. Cilj ovog poglavlja je da ukaže da se ne može sve primeniti iz teorije mikrotalasnih radara kod kratkotalasnih radara. Na prvom mestu domet kratkotalasnih radara je daleko veći nego kod mikrotalasnih. Slika 4.2 ilustruje ovaj princip.



Slika 4.2 Domet kratkotalasnog i mikrotalasnog radara

Talasna dužina je veća 100 i više puta, tako da su shodno tome antene proporcionalno veće kod kratkotalasnih radara. Primera radi, antenski niz može imati dužinu i tri kilometra ukoliko kratkotalasni radar detektuje brodove, međutim ukoliko se detektuju avioni, ova dužina antenskog niza kod kratkotalasnog radara može biti dosta manja. Slika 4.3 prikazuje u realnosti kako izgledaju mikrotalasni i kratkotalasni radari, instalirani na zapadnoj obali afričkog kontinenta.



Slika 4.3 Razlika između antena kod kratkotalasnog radara (levo, uveličana jedna od 20 antena) i mikrotalasnog radara (desno, samo jedna antena se koristi i za predaju i za prijem)

Predajna snaga može biti i do nekoliko stotina kilovata za kratkotalasni radar, dok za mikrotalasne radare snaga može ići i do nekoliko megavata. Kratkotalasni radar opisan u ovoj disertaciji koristi predajnu snagu od 400 W. Vreme koje je potrebno da se detektuje cilj kod kratkotalasnog radara može biti nekoliko desetina sekundi, dok se kod mikrotalasnog radara to dešava u desetak milisekundi. Kratkotalasni radar koji se analizira u ovoj disertaciji ima vremenski interval od 33 sekunde za dobijanje informacija sa mora. Ovako veliko vreme je potrebno da bi se sa sigurnošću odvojio eho mete od interesa, kao i da bi se efektivno završilo Doplerovo procesuiranje. Jonosfera ima dominantan uticaj na kratkotalasni radar, dok ona skoro i da ne utiče na mikrotalasni radar. Preciznost, odnosno rezolucione ćelije kratkotalasnih radara nisu toliko male kao kod mikrotalasnih radara, a to je direktno povezano sa veličinom dodeljenog propusnog opsega, koji je na HF opsegu izuzetno ograničen. Takođe, na HF opsegu je veliki izazov jer mnogo korisnika nelegalno koristi ovaj opseg i time se otežava rad radara. Sličan problem se može desiti i kod mikrotalasnih radara, međutim na HF opsegu ovaj problem je daleko više izražen. Iz ovih razloga vojni mikrotalasni radari ostave mogućnost korišćenja širokog propusnog opsega u slučaju bilo kakvih problema, odnosno zauzetosti na spektru, da bi prešli na drugi frekventijski opseg, dok je kod kratkotalasnih radara zbog ograničenosti propusnog opsega na HF opsegu ovaj pristup dosta otežan.

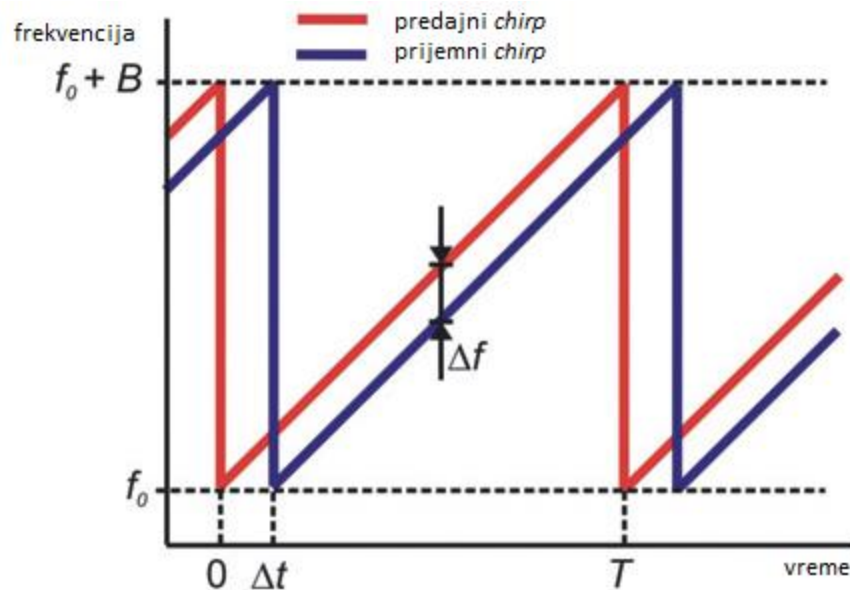
Osetljivost mikrotalasnih radara je limitirana na prijemnikov unutrašnji šum, dok je kod kratkotalasnih radara osetljivost limitirana eksternim šumom koji ulazi u prijemnik preko antenskog niza. Ovaj eksterni šum se javlja usled ne samo prirodnih mehanizama, kao što su munje, nego i usled eksternih interferencija uzrokovanih drugim korisnicima radio opreme, kao i industrijskim šumom. I mikrotalasni i kratkotalasni radari mogu biti limitirani od jakog eho signala koji potiče od bliskih refleksija od kopna ili mora, mada je kratkotalasni radar osetljiviji na ove refleksije. Doplerovo procesuiranje kod kratkotalasnih radara se mora raditi u takvim uslovima i ovo predstavlja ozbiljan izazov. Mnogi kratkotalasni radari koriste frekventijski modulisan talasni oblik signala. Radari mogu koristiti i impulsni oblik predajnog signala [37]. Mikrotalasni radari uglavnom više ne koriste frekventijski modulisan oblik signala i kod njih nije potrebno fizički odvajati predajnu i prijemnu stranu, kao što je to potrebno kod kratkotalasnih radara (Slika 4.3). Kada se uzmu u obzir ove dimenzije, nekoliko stotina metara koaksijalnih kablova se moraju koristiti kod kratkotalasnog radara, a neretko se moraju upotrebiti i

optički kablovi za komunikaciju. U cilju efektivno izračene snage, na nižim radnim frekvencijama, predajne antene su uglavnom visoke, rezonantne strukture.

Za razliku od predajnih, prijemne antene su znatno niže iz ubeđenja da je efikasnost značajno niža jer je eksterni šum uvek dominantniji nad internim šumom. Efikasnije prijemne antene primaju bolje signal, ali proporcionalno tome i više eksternog šuma, tako da se faktički isti odnos signal-šum postiže. Stoga se troškovi za prijemne antene mogu smanjiti, gde je uobičajena visina prijemnih antena od 4-6 metara. Radari mogu biti monostatički, bistatički i kvazi-monostatički. Monostatički radari imaju razdvojen predajni i prijemni deo, ali su i dalje povezani u jedan sistem, dok kod bistatičkih, predajni i prijemni niz su daleko više razdvojeni i hardver je u potpunosti razdvojen. Kod ovih radara predajni i prijemni niz mogu biti razdvojeni i do nekoliko stotina kilometara. Kvazi-monostatički radari se koriste da opišu konfiguraciju gde su predajna i prijemna strana razdvojena, ali ne toliko daleko da je ugao pod kojim se reflektuje od mete veći od 5 stepeni, tako da je ponašanje povratnog signala blisko kao što se dešava kod monostatičke geometrije.

4.3 Princip rada analiziranog kratkotalasnog radara

Kratkotalasni radar koji je analiziran u ovoj disertaciji koristi frekvencijski modulisan neprekidni signal FMCW (*Frequency Modulated Continuous Wave*) za istovremeno i predaju i merenja Doplerove frekvencije, odnosno prijemnog signala, stoga predajnik i prijemnik rade istovremeno. Sistem emituje linearne frekvencijske *chirp*-ove (Slika 4.4), gde je frekvencijski pomeraj Δf između predajnikovog i prijemnog eha određen ciljnim dometom. Domet ćelije je vezan sa propusnim opsegom B *chirp* signala.



Slika 4.4 Linearni frekvencijski chirp signal [38]

Ovaj frekvencijski pomeraj je konstantan sa vremenom, osim u trenutku od 0 do Δt , gde se visoki negativni frekvencijski pomeraj od prethodnog *chirp*-a može uočiti. Frekvencija *chirp*-a kreće od f_0 i povećava se do $f_0 + B$ tokom periode T , gde je B širina propusnog opsega *chirp*-a. Ovaj proces locira metu na određenom rastojanju preko frekvencijskog pomeraja [39].

Kako u prethodnom tekstu nije uključena razlika od predajne do prijemne tačke, treba se naglasiti da prijemnik mora biti sposoban da procesuiraj (samim tim i razlikuje) jak signal od direktne putanje (direktno od predajnika do prijemnika) a sa druge strane i slab signal od velike udaljenosti istovremeno. Dinamički opseg prijemnika (*dynamic range*), koji se obično izražava u decibelima, definiše odnos maksimalnog i minimalnog ulaznog nivoa signala gde prijemnik može funkcionisati sa nekim unapred određenim performansama. Odnos snage između eho signala sa bliže udaljenosti i eho signala od objekata sa velike distance može izuzetno varirati. Signali sa tako velikom razlikom snaga mogu da se procesuiraju jako teško. Ovo se odnosi posebno na to ako eho signal treba da bude konvertovan u format digitalnih podataka kasnije tokom procesuiranja radarskog signala. Termin „dinamički“ opisuje odnos između maksimalno i minimalno moguće snage na prijemniku bez toga da prijemnik uđe u zasićenje (*overload*), što se može predstaviti formulom (4.2):

$$D = \frac{P_{R,max}}{P_{R,min}} \quad (4.2)$$

U formuli (4.2) $P_{R,max}$ predstavlja vrednost signala sa maksimalnom snagom, gde prijemnik nije ušao u fazu zasićenja, a $P_{R,min}$ je vrednost minimalne snage signala, gde prijemnik još uvek daje kao rezultat neki registrovani signal.

Kod kratkotalasnog radara sa kojim će biti vršena istraživanja u ovoj disertaciji, dinamički opseg je kritični problem jer i predajnik i prijemnik rade u isto vreme. Kod mikrotalasnih radara je situacija uglavnom drugačija: kada predajnik radi, prijemnik ne radi i obrnuto, uz određen zaštitni interval. Kod kratkotalasnog radara prijemnik prima signal koji potiče od predajne antene i ide direktnom putanjom od predajnih do prijemnih antena, a treba da bude sposoban da izdvoji slab eho signal koji potiče od udaljenog cilja sa mora. Da bi se rešio ovaj problem, pojačavač signala u prijemniku, kao i mikser se moraju pažljivo birati. Analogno-digitalna konverzija, kao i FFT (*Fast Fourier Transform*) procesuiranje se takođe moraju pažljivo izvršavati. Kratkotalasni radar u ovim istraživanjima ima analogno-digitalni konverter sa rezolucijom od 16 bita. Zahvaljujući ovome postoji 96 dB dinamički opseg. Tip analogno-digitalnog konvertora koji je korišćen ovde je SFDR (*Spurious Free Dynamic Range*). FFT po dometu se bazira na 1536 odabiraka. Zahvaljujući ovome, može se dobiti još 31,75 dB. FFT po Dopleru povećava odnos signal-šum za 27 dB ukoliko se koriste 512 odabiraka. Kada se sve sabere, vreme integracije u ovom slučaju traje 133,12 sekundi i u teoriji se može dobiti dinamički opseg od 154,75 dB [40].

Slabljenje elektromagnetnih talasa koji putuju duž površine mora zavisi od frekvencije radara i provodnosti (saliniteta) vode. Radio-frekvencija se bira pažljivo, uzimajući u obzir upotrebu radio-spektra u klasičnim komunikacionom servisima. Vrednosti za najveću moguću rezoluciju dometa radarskog sistema su limitirane sa dostupnom širinom *chirp*-ovog propusnog opsega (širina slobodnog prostora u radio-spektru). Kako bi našli optimalnu radnu frekvenciju radara i propusni opseg, frekvencijsko skeniranje se redovno vrši (*prescan*). U slučaju visoko okupiranog radio-spektra, širina propusnog opsega se smanjuje. Ovo skeniranje traje jedan minut, 100 sekundi pre bilo koje akvizicije podataka. Tipična širina propusnog opsega na 8 MHz je $B = 100$ kHz, što odgovara rezoluciji po

rastojanju od $\Delta R = 1,5$ km. Azimutni ugao koji pokriva sistem je $\pm 60^\circ$ koji je u normalni na linearni prijemni niz antena, pri čemu se ovaj niz sastoji od 16 elemenata antena smeštenih duž plaže.

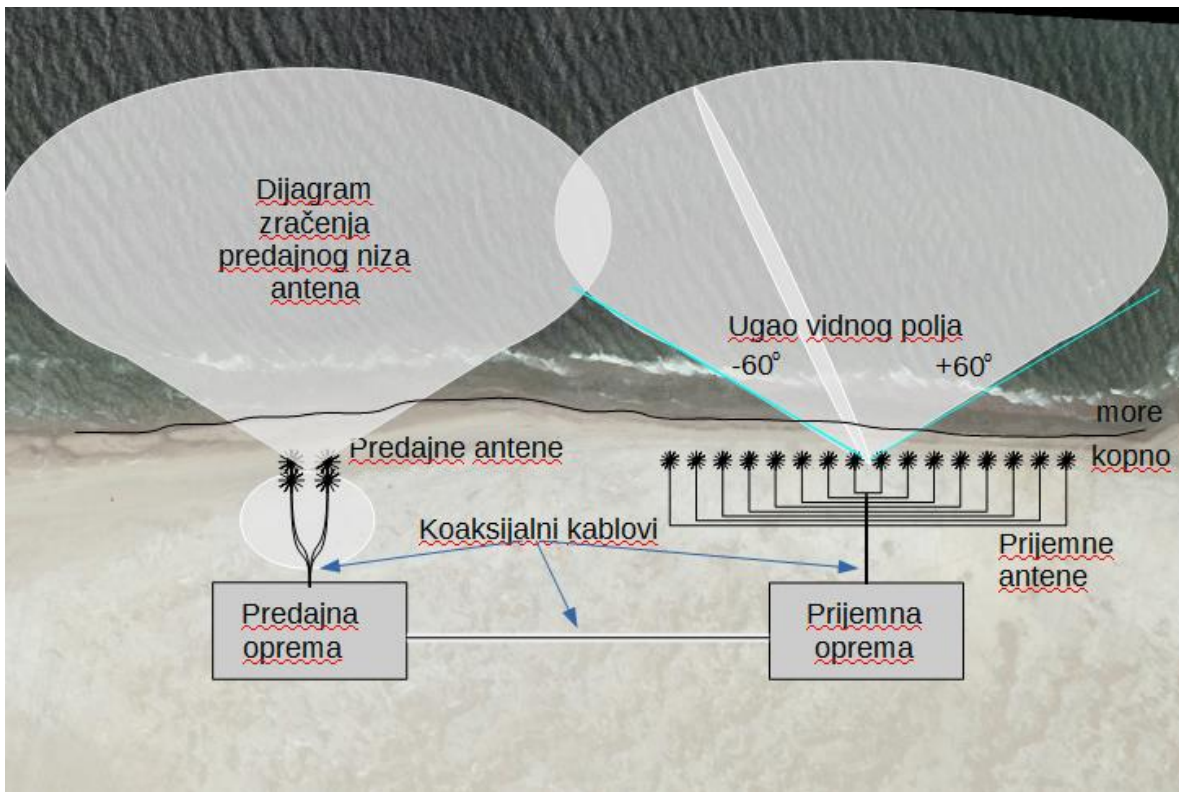
Tehnički zahtevi za čist linearni frekvencijski *chirp* se može izvesti upotrebom direktnog digitalnog sintetizatora DDS (*Direct Digital Synthesizer*). DDS direktno generiše željenu radnu frekvenciju *chirp*-a radara. Centralna frekvencija, propusni opseg (koji pruža *range resolution*) i trajanje *chirp*-a može biti isprogramirano softverski. Ovo nije bilo moguće pre 20 godina, kada je samo naponski kontrolisani oscilator VCO (*Voltage Controlled Oscillator*) bio dostupan. Ovaj dizajn je dozvoljavao uzak prijemnikov propusni opseg od oko 1 kHz i sporu analogno-digitalnu konverziju visoke rezolucije dok je još uvek bila davana rezolucija po daljini (*range resolution*) sve do 300 metara.

Da bi se izbegao gubitak povratne (*backscatter*) energije, signali prijemnih antena nisu multipleksirani na jednom prijemniku. Umesto toga postoji po jedan prijemnik na svakoj anteni. Amplitudske varijacije i fazni pomeraji između antena su mereni i kompenzovani softverski još prilikom instalacije sistema. To se vrši sa kalibracijom sistema. Svaki prijemnik ima u sebi *I/Q* demodulaciju i niskopropusni filter. Visoko dometne dinamičke komponente su korišćene da bi se istovremeno rukovalo jakim signalom sa direktne putanje i slabim ehoom sa dalekog dometa.

Signali sa prijemnika *I* (u fazi) i *Q* (u kvadraturnoj fazi) dolaze na 16-bitne niskošumne analogno-digitalne konvertere. Svi oni su sakupljeni istovremeno i prosleđivani računarskom sistemu na sekvencijalan način. Računar računa u operativnom sistemu u realnom vremenu i procesira domet rešavajući FFT tokom merenja. Azimutna rezolucija se obezbeđuje kasnije preko UNIX radne stanice, gde se takođe vektori kretanja i drugi parametri procesuiraju. U praksi je pokazano da više od 16 antena nema smisla postavljati. Koristeći ove antene, kada se signal zajedno analizira, odnos signal-šum se povećava za 12 dB. Da bi se ispratila amplituda i faza koje dolaze na prijemnikov kanal, smatra se da su kalibrisani antenski kablovi [39].

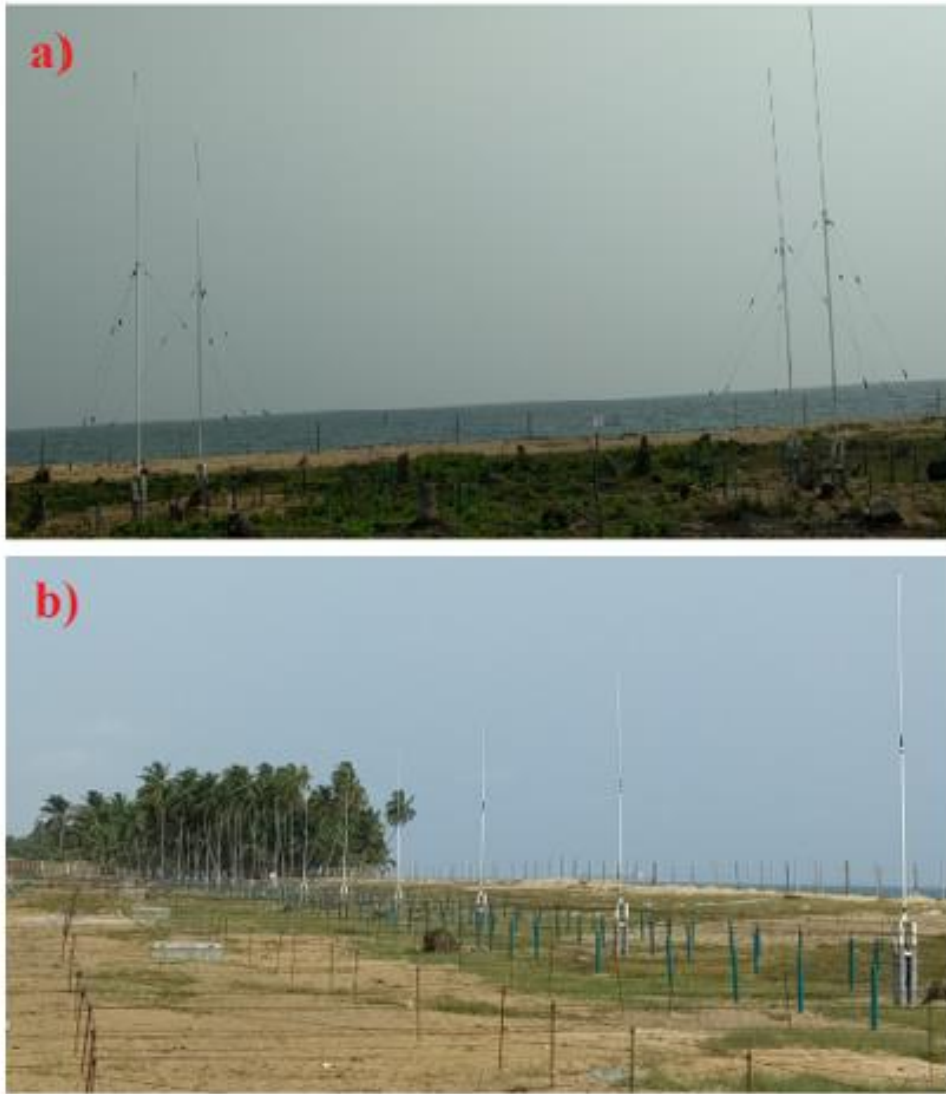
Kao što je već pomenuto, kontinualni brzi RF-signal je emitovan sa predajne strane. Reflektovani signal ima frekvencijski pomeraj koji se poredi sa aktuelnim emitovanim signalom, stoga je domet frekvencijski kodiran. Zahtevano odvajanje između predajnika i prijemnika mora biti postignuto u smislu korišćenja različitih lokacija za predajne i prijemne antene. Prijemnik je neprekidno uključen, kako bi sakupljao signale duž definisanog dometa. Obrada analognog signala se sprovodi u potpunosti paralelno sa prenosom svih amplitudnih i faznih informacija od svake antene ka digitalnoj procesorskoj jedinici. Ovi sistemi pružaju najbolji signal za performanse šuma usled ekstremno nisko-šumnog FMCW načina emitovanja.

Rezolucija po uglu se definiše upotrebom softvera (*Beam Forming* algoritam), ali zavisi i od dužine linearnog niza prijemnih antena. Konfiguracija linearnog niza antena je limitirana uglom vidnog polja, a on iznosi $\pm 60^\circ$. Slika 4.5 prikazuje primer konfiguracije sa uglom pokrića od 60 stepeni.



Slika 4.5 Konfiguracija sa 4 predajne i 16 prijemnih antena kratkotalasnog radara [41]

Slika 4.6 prikazuje kako u realnosti izgleda predajni i prijemni niz antena kratkotalasnog radarskog sistema koji je analiziran u ovoj disertaciji.



Slika 4.6 Antene HF radara: a) predajni niz, b) prijemni niz

Kao što je već pomenuto, ovaj radar koristi površinski talas za detekciju svojih ciljeva. Drugi tip kratkotalasnog radara može koristiti i reflektovane talase od jonosfere, čime se ostvaruju veći dometi, međutim u tom slučaju, postoji određena teritorija ispred radara koja nije pokrivena [42]. Domet ovih radara može biti čak i par hiljada kilometara, ali zbog slepe zone od par stotina kilometara, ne koriste se za nadgledanje EEZ. U ovoj disertaciji se neće razmatrati radari koji koriste refleksiju od jonosfere.

Dužina *chirp*-a u ovim istraživanjima ima dužinu od 0,260028 sekundi, dok je širina opsega 100 kHz. Jedna rezoluciona ćelija u ovim istraživanjima ima dužinu od 1500 metara. Bitno je napomenuti da se sa većom širinom opsega, veličina rezolucione ćelije smanjuje, čime se detaljnije može utvrditi lokacija radarskog cilja. Tako, za propusni opseg od 150 kHz, rezoluciona ćelija je 1000 metara. Ovo se može proračunati koristeći formulu (4.3) [40]:

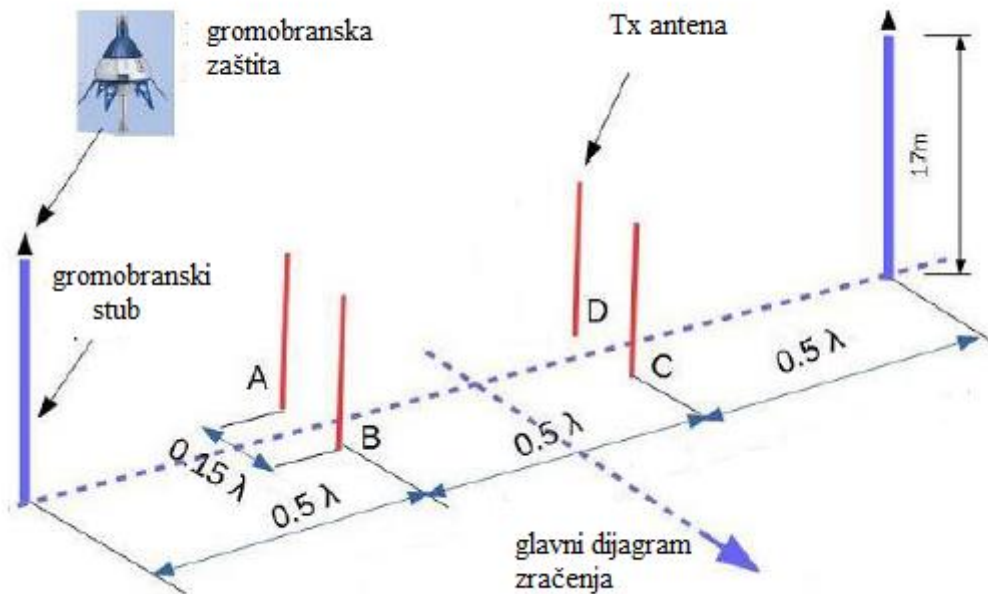
$$r = \frac{c}{2B} \quad (4.3)$$

U formuli (4.3), r predstavlja dužinu rezolucione ćelije, c je brzina svetlosti, a B predstavlja propusni opseg [40].

Prilikom jednog ciklusa prikupljanja podataka, ukupno 13.312 *chirp*-ova se neprekidno šalje, da bi se nakon izvršenog ciklusa napravila pauza koja traje oko dva minuta, kada se vrši unutrašnje samostestiranje radara, a tiče se zauzetosti spektra, kao i analiza uticaja direktne komponente zračenja predajnika na prijemne kanale.

4.4 Konfiguracija predajnog antenskog niza i generisanje predajnog signala

Slika 4.7 prikazuje četiri predajne monopol antene i precizno definisana rastojanja za ovaj antenski niz.

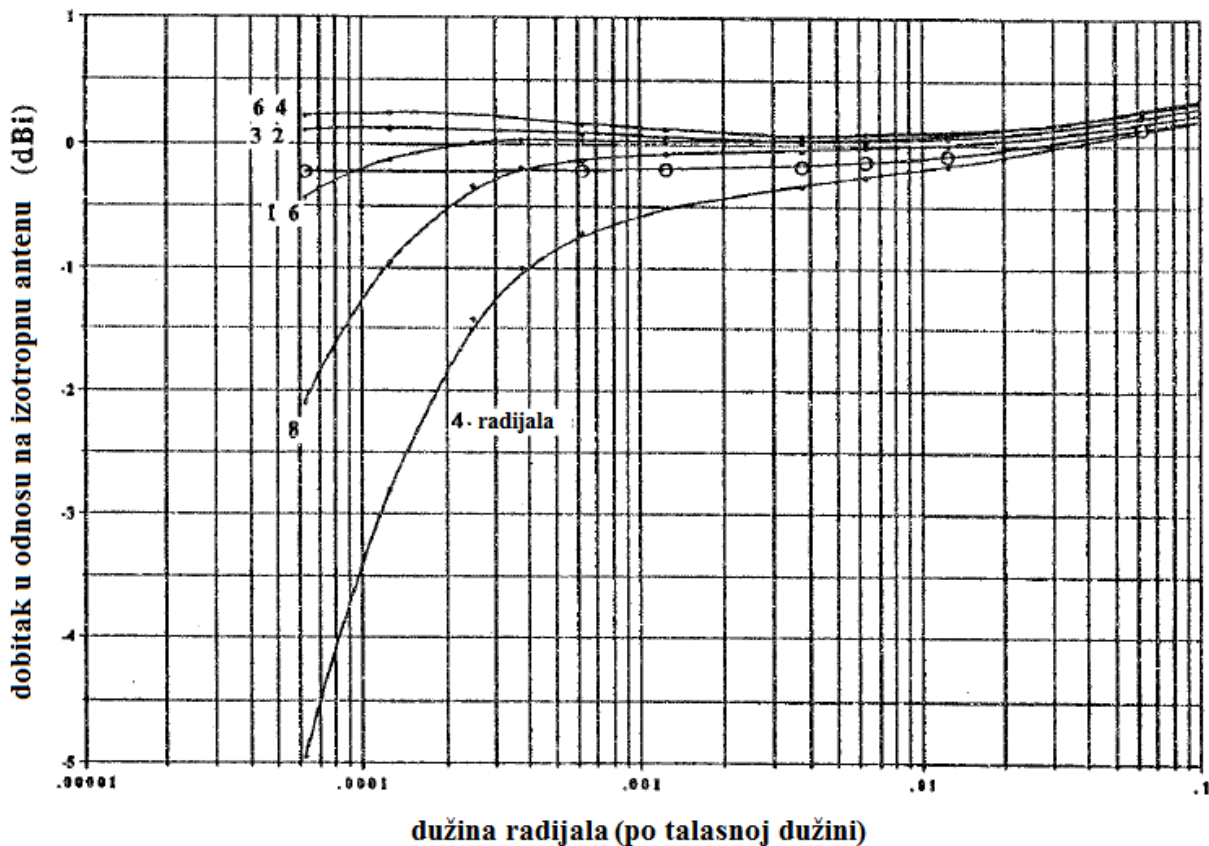


Slika 4.7 Predajni niz antena [43]

Treba pomenuti da su antene A i D u fazi, kao i antene B i C. Između ove dve grupe antena postoji fazna razlika od 126 stepeni. U cilju dobijanja minimalnog zračenja u pravcu prijemnih antena, rastojanje između elemenata koji imaju istu fazu treba da bude polu-talasna dužina. Cilj je minimizovati zračenje sa strane, kako prijemni niz ne bi bio u zasićenju zbog uticaja direktne predajne komponente. Međutim, kako bi zračenje bilo u većini u glavnom lobu, rastojanje između elemenata u fazi treba da bude 0,15 puta od talasne dužine. Gromobranska zaštita je svakako važan deo instalacije na terenu i potrebno je ove zaštite postaviti tamo gde je najmanji intenzitet zračenja predajnih antena, kako oni ne bi imali uticaj na predajni dijagram. Ona je udaljena $\frac{3}{4}$ talasne dužine od centra predajnog niza, jer se tu očekuje da će biti nula zračenja predajnog niza. Svaka od predajnih antena ima 36 radijala koji su dugački 35 metara. Ovo zahteva veliku površinu za instaliranje predajnog niza. Međutim, praktična istraživanja na terenu su pokazala da iako se dužina radijala smanji do 20 metara, ovo nema velikog uticaja [43]. Svakako, u

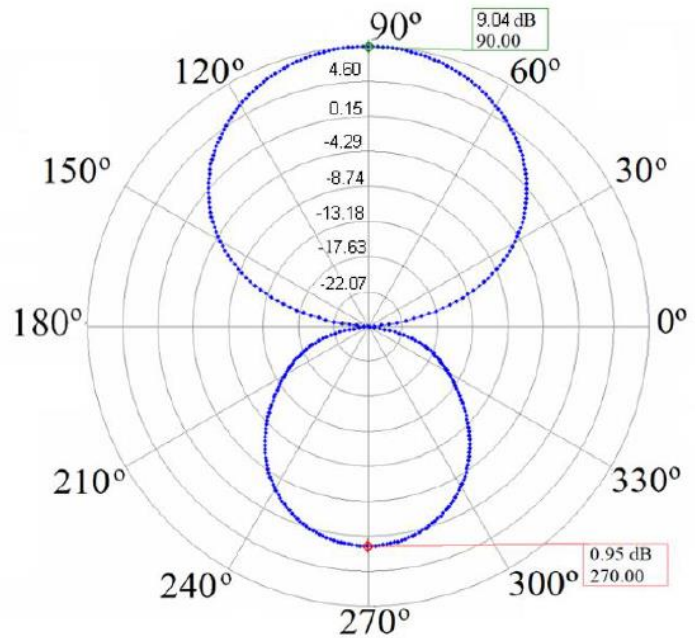
praksi, s obzirom na to da antene moraju biti blizu mora što je više moguće, velika je preporuka da se antene sa sve radijalima podignu na određenu visinu, tako da konektori i antene i dalje ostanu operativni, pa čak i u slučaju prodora vode na radarsku lokaciju.

Radijali u suštini predstavljaju žice koje kreću od baze antena i služe da simuliraju provodnu ravan oko antena. Oni mogu biti ili iznad zemlje ili pak zakopani nekoliko centimetara ispod zemlje. Kraj žica sa jedne strane je povezan sa električnim uzemljenjem antenskog sistema, a drugi kraj ili ostane nepovezan ili je povezan sa metalnim strukturama koje se uvlače u zemlju. Razlog za korišćenje radijala kod kratkotalasnih radara jeste što su za niže frekvencije antene relativno male u poređenju sa talasnom dužinom, pa su stoga predajne antene obično visoke jednu četvrtinu talasne dužine. Zbog toga radijali povezani na antenu kreiraju pravilnu provodnu ravan, odnosno simuliraju idealno provodnu zemlju. Sa ovom ravni, koja se može u električnom smislu posmatrati kao ogledalo, pokušava da se dobije da je antena prividno dugačka polovinu talasne dužine. Da bi se ova provodna ravan realizovala, provodna ravan mora biti dugačka bar četvrtinu talasne dužine počevši od baze antene. U nekim radovima se smatra da su nekada dovoljna i samo četiri radijala, mada je svakako preporučljivo da se stavi veći broj radijala. Istraživanja u davnoj prošlosti su bila obeshrabrena jer je u jednoj literaturi preporučeno da moraju da postoje 120 radijala koji imaju dužinu od četvrtine do polovine talasne dužine, u cilju dobijanja optimalne efikasnosti antene [44]. Svakako je kasnije pokazano da antene sa dosta manjim brojem radijala mogu funkcionisati na zadovoljavajući način [45]. Slika 4.8 prikazuje kako se menja dobitak antene u odnosu na dužinu i broj radijala.



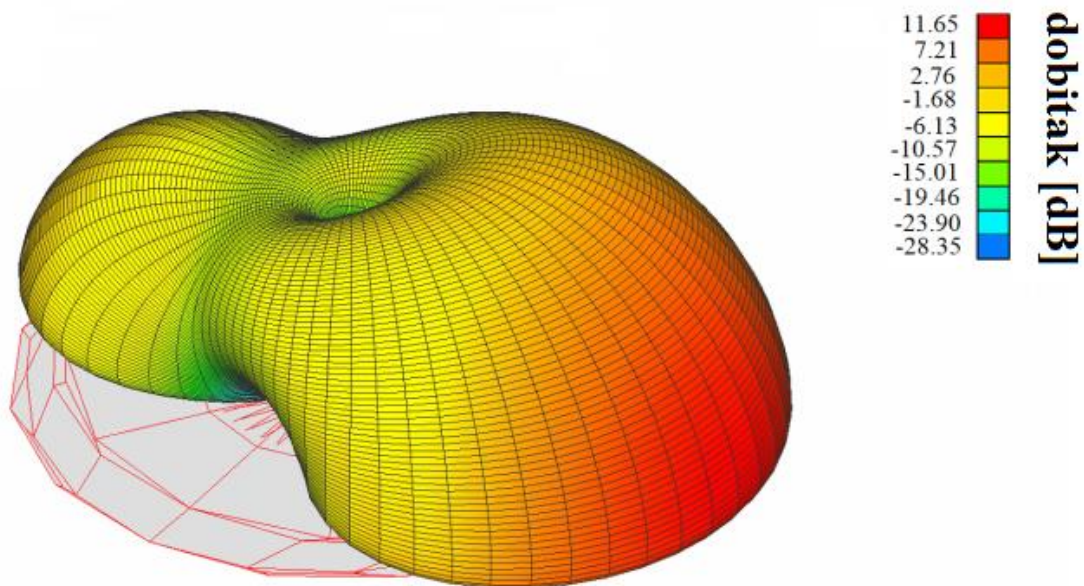
Slika 4.8 Predviđene vrednosti dobitka za monopol koji ima četvrtinu talasne dužine za promjenjivi broj radijala i njihove dužine; frekvencija je 3,75 MHz [45]

Iz bezbednosnih razloga, izuzetno se preporučuje da se antene i radijali uzemlje. Obično se provodnici radijala zakače na bazu antena, koja je kasnije uzemljena. Slika 4.9 prikazuje dijagram zračenja ovakvog predajnog niza sa radijalima.



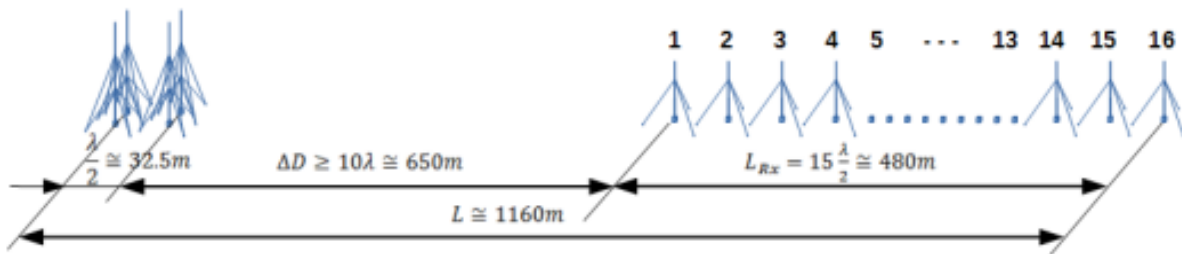
Slika 4.9 Dijagram zračenja predajnog niza od četiri monopol antene sa radijalima [46]

Slika 4.10 prikazuje dijagram zračenja u 3D obliku istog predajnog niza.



Slika 4.10 Dijagram zračenja u 3D obliku koji čini antenski niz od četiri predajne antene sa radijalima [46]

Detaljnije matematičke formule, kao i analize predajnog niza ovog oblika se mogu pronaći u literaturi [43]. Slika 4.11 prikazuje generalni prikaz celokupnog antenskog niza na radnoj frekvenciji od 4,6 MHz i po kojim pravilima su dimenzionisana rastojanja. Kao što se može videti, potrebna je zaista velika površina za instalaciju antenskog niza kratkotalasnog radara.



Slika 4.11 Primo-predajni antenski sistem kratkotalasnog radara za radnu frekvenciju od 4,6 MHz [46]

Slika 4.12 prikazuje kako ovo izgleda u realnosti. Ovaj kratkotalasni radar je instaliran na zapadnom delu afričkog kontinenta i može se videti kolika je zapravo površina neophodna za instalaciju celokupnog sistema. Rastojanje između predajnog i prijemnog niza antena mora da bude najmanje deset talasnih dužina, kako prijemni niz ne bi ušao u zasićenje, pod uticajem predajnog niza. Slika 4.12 prikazuje realnu situaciju na terenu i u ovoj konfiguraciji svakako dosta pomaže to što postoji drveće između predajnog i prijemnog niza. Ono dosta ublažava direktnu komponentu od predajnog niza ka prijemnom, čineći prirodnu prepreku koja pogoduje radu kratkotalasnog radara. Zahvaljujući ovome se kvalitetnije može primiti eho udaljenog radarskog cilja sa velikih rastojanja.



Slika 4.12 Kratkotalasni radar u realnosti, sa međusobnim rastojanjem predajne i prijemne opreme [46]

Predajnik kratkotalasnog radara je veoma jednostavan. Signal na predaji i prijemu mora da bude sinhronizovan, a pre nego što se dovede na četiri predajne antene on se dodatno pojačava nisko-šumnim pojačavačima koji unose minimalan srednji i fazni šum. Predajna snaga kratkotalasnog radara koji se koristiti u ovim istraživanjima je oko 400 W. Predajni niz ima više antena i može se koristiti po jedan pojačavač za svaku antenu. Druga opcija je da se koristi pojačavač veće predajne snage za sve antene, ali u tom slučaju je potreban splitter za razdvajanje snage sa jednog pojačavača na četiri predajne antene. Fazni pomeraj se ostvaruje između predajnih antena sa različitim dužinama koaksijalnih kablova između prve dve i zadnje dve antene.

Predajnik mora da obezbedi frekvencijski čist signal iz više razloga. Prvi razlog jeste zato što nacionalne agencije za kontrolu spektra nadgledaju korišćenje spektra, a drugi jeste što je čist signal neophodan da bi se Doplerovo procesuiranje moglo uspešno obaviti, kako bi se eho od radarskog cilja uspešno odvojio od klatera. Mehaničke vibracije takođe mogu uneti šum kod pojačavača visoke snage, tako da se i na ovo mora obratiti pažnja, kada se biraju sistemi za hlađenje prostorija ili neki drugi ventilatori u blizini. Svakako VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*) antene mora biti u skladu sa preporučenim granicama, a preporuka je da ta vrednost bude ispod 2. VSWR predstavlja naponski odnos stojećih talasa. Računa se po formuli (4.4) [47]:

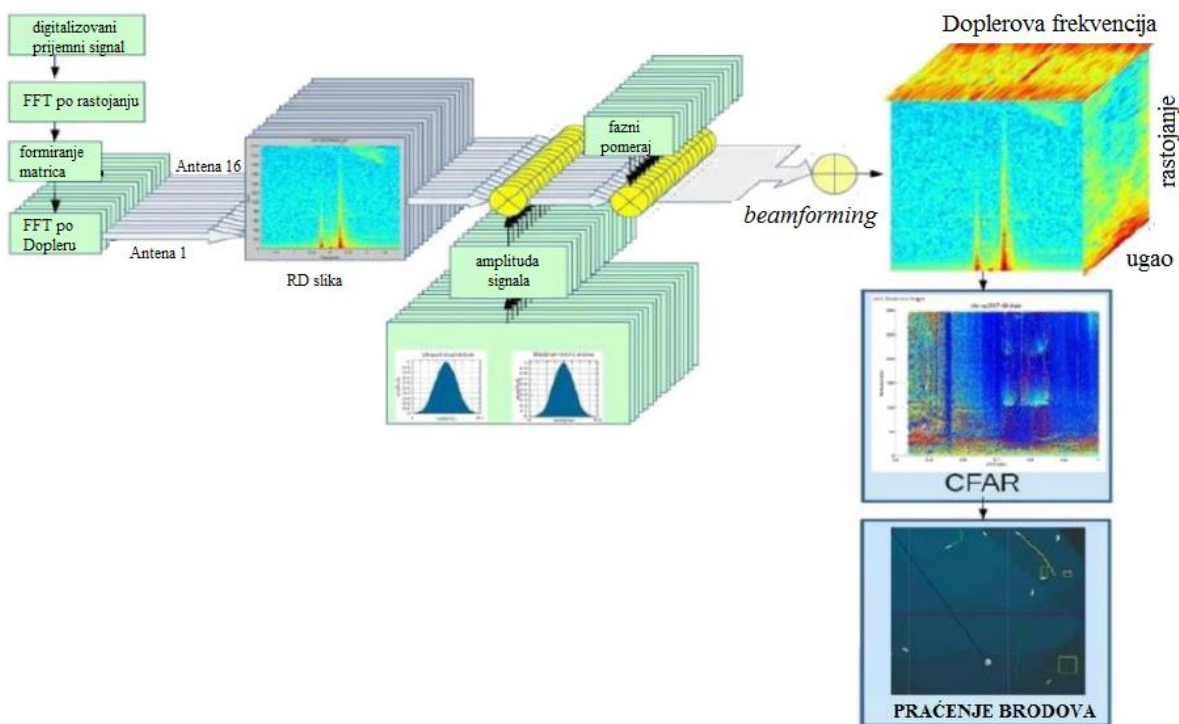
$$VSWR = \frac{1 + \sqrt{\frac{P_r}{P_d}}}{1 - \sqrt{\frac{P_r}{P_d}}} \quad (4.4)$$

U ovoj jednačini P_d predstavlja direktnu snagu, dok P_r predstavlja reflektovanu snagu, izražene u vatima [47].

Kako predajne, tako i prijemne antene moraju da minimizuju kretanje usled vetra, pogotovo zato što rade na HF opsegu, jer će to uzrokovati modulaciju faze signala koja će se nametnuti predajnom signalu (problem poznatiji kao *aeolian vibration*). Zbog toga je jednostavnije instalirati niže antene, u cilju izbegavanja ovih problema [33].

4.4.1 Procesuiranje prijemnog signala kratkotalasnog radara

Slika 4.13 prikazuje korake procesuiranja prijemnog signala kod kratkotalasnog radara. O svakom od ovih koraka će se u nastavku disertacije ukratko diskutovati, ali će akcenat disertacije biti stavljen na analizu RD slike, što je u algoritmu za procesuiranje prijemnog signala jedan od koraka obrade signala.



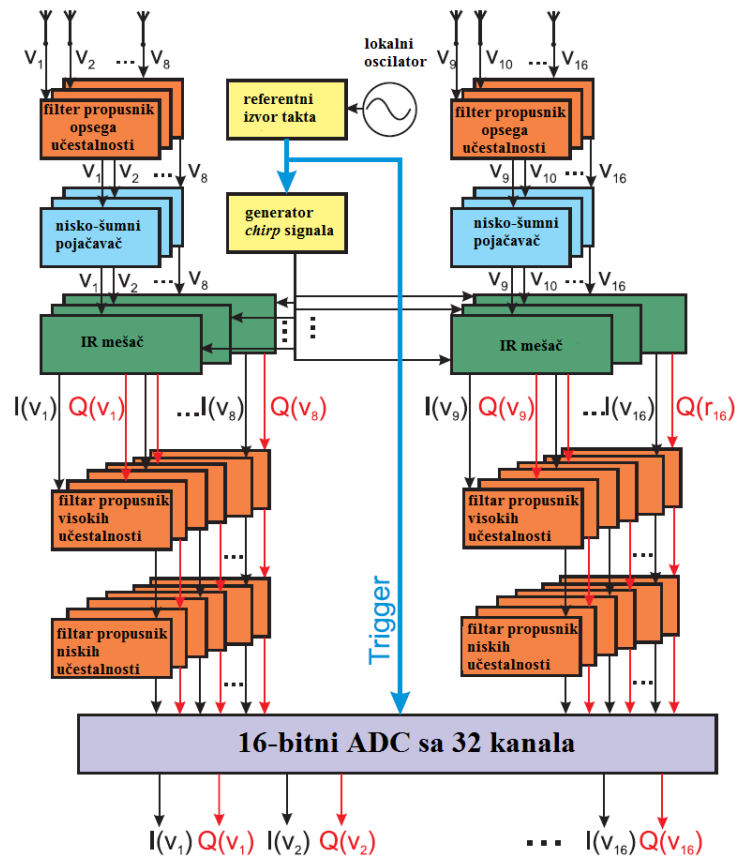
Slika 4.13 Koraci procesuiranja prijemnog signala kratkotalasnog radara [46]

Kratkotalasni radar koji se koristio u opisanim istraživanjima je instaliran na zapadnoj obali afričkog kontinenta. Realni podaci su prikupljeni i analizirani u različito doba dana, noći i u različitim godišnjim dobima, a sve u cilju dobijanja reprezentativnog uzorka. U nastavku je dat opis analognog i digitalnog procesuiranja radarskog signala.

Prijemni linearni niz pruža najekonomičnije rešenje ukoliko se želi postići dobra rezolucija po azimutu. Kod kratkotalasnih radara koji koriste refleksije od jonosfere, u cilju izbegavanja *multipath* efekta od slojeva jonosfere, projektanti su predvideli prijemni niz da bude u dve dimenzije. Jedan niz treba da bude horizontalno postavljen, a drugi vertikalno.

Prijemni niz kod ovog radara koji je namenjen za detekciju brodova i koristi površinske elektromagnetne talase sadrži šesnaest prijemnih antena koje su na međusobnom rastojanju od oko polutalasne dužine⁵. Ovo rastojanje je neophodno kako ne bi došlo do kasnijih grešaka kod analiziranja faza prijemnog signala, jer se u proračunu faza na prijemnim kanalima koristi međusobno rastojanje prijemnih antena. Radna frekvencija je 6,7 MHz, a širina propusnog opsega je 100 kHz. Slika 4.14 prikazuje šemu hardverske arhitekture radarskog prijemnog sistema. Ova hardverska arhitektura je odgovorna za analogno procesuiranje prijemnog radarskog eho signala koji potiče od svake prijemne antene. Kompleksni signal koji potiče od svakog prijemnikovog elementa je označen od v_1 do v_{16} . On se zatim propušta kroz filter propusnik opsega učestanosti. Ovaj filter filtrira šum koji ne pripada opsegu od interesa. Projektanti uvek ovde žele da eliminišu eksterni šum tako što definišu na kom opsegu rade ovi filteri, ali u isto vreme ograničavaju sebe u slučaju da je radio-kanal u kom filter radi zauzet nekim drugim radio-korisnikom, pa stoga ne mogu preći na neki drugi frekvencijski opseg.

⁵ Tačno rastojanje između prijemnih antenskih antena je $0,45 \lambda$

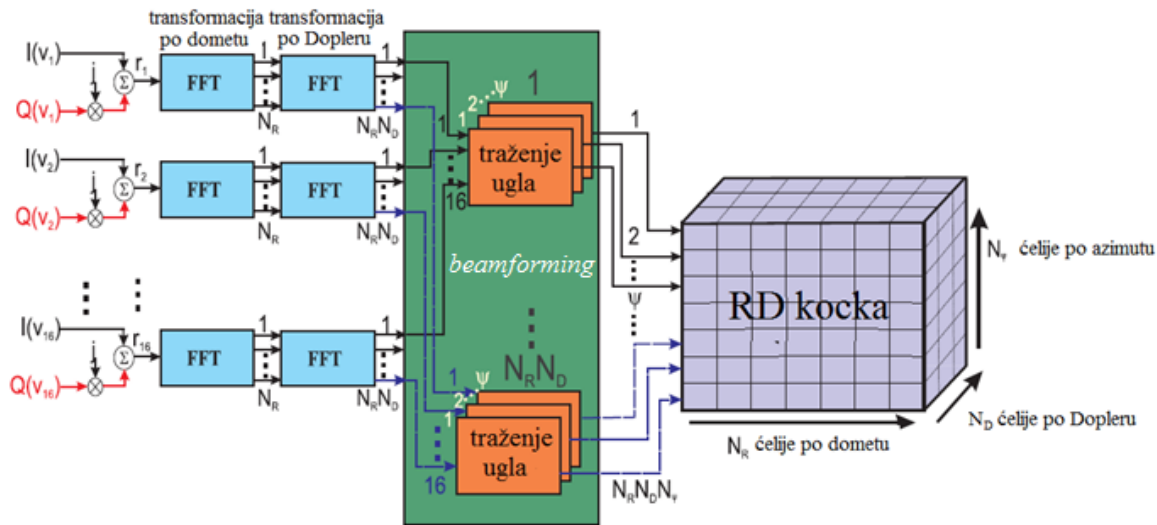


Slika 4.14 Blok-dijagram hardverske arhitekture kratkotalasnog prijmnika namenjen za analognu procesuiranje [48]

Sledeći korak je pojačavanje prijemnog signala koristeći nisko-šumni pojačavač. Nakon toga se prijemni frekvencijski modulisan signal (FM *chirp*) meša sa predajnim signalom koristeći IR mešač (*Image Reject mixer*). Kada se meša signal, mogu se javiti neželjene smetnje koje potiču od spolja. Na primer, može se desiti nelinearno mešanje dve ili više smetnje, kao što je na primer širokopolasna stanica, gde smetnje ulaze preko prijemne antene u prijemni sistem i generišu neželjene produkte (*out-of-band inter-modulation* ukoliko je više smetnji istovremeno prisutno, odnosno *cross modulation* ukoliko je jedna smetnja prisutna).

Srce sistema predstavlja nisko-šumni kristalni oscilator LO koji se koristi za generisanje čistog frekvencijskog signala, kao i referentni izvor takta sistema (*master clock*). U skladu sa glavnim taktom se generiše precizan predajni signal u bloku za generisanje *chirp*-a (*Chirp Generator*). Referentni izvor takta sistema se takođe upotrebljava kao triger za analognu-digitalnu konverziju (ADC). Izlaz iz IR mešača se razlaže na realnu i imaginarnu komponentu. Realna komponenta je označena crnom bojom i označena je sa $I(v_n)$. Imaginarna komponenta je označena crvenom bojom, sa $Q(v_n)$. Zatim signal prolazi kroz filter propusnik niskih učestanosti koji filtrira komponente visokih učestanosti signala koje su nastale u procesu mešanja signala. Ukupno 32 kanala (realne i imaginarne komponente) signala se posle filtra propusnika niskih učestanosti prosleđuju u digitalni šesnaesto-bitni ADC. Analogno-digitalna konverzija uključuje dve faze: odabiranje uzoraka i kvantizaciju. U svakom od ovih koraka postoji mogućnost da se izobličí prijemni signal. Signal se mora odabrati dovoljno precizno i ravnomerno kako bi se očuvao sav spektralni sadržaj, što je u ovom slučaju eho korisnog signala, ali tu je svakako i klater i eksterni šum.

Slika 4.15 prikazuje softversku arhitekturu šesnaesto-kanalnog prijemnika. Realni i imaginarni deo koji potiče od svakog prijemnika nakon analognog procesuiranja se na kraju kombinuju zajedno, kako bi se dobio kompleksan signal svakog elementa. Slika 4.15 prikazuje kompleksne signale i oni su označeni sa r_1, r_2, \dots, r_{16} . [48]



Slika 4.15 Blok-dijagram softverske arhitekture kratkotalasnog radara za digitalno procesuiranje [48]

U sledećem koraku ovi signali su ponderisani prozorskom funkcijom i filtrirani su po rastojanju i Dopleru korišćenjem odgovarajućih transformacija. Razlog za korišćenje prozorskih funkcija je sledeći: na početku kada se svaki *chirp* generiše, postoji kratak vremenski interval kada mikser proizvodi veliki frekvencijski pomeraj. Tada se generiše jak impuls i ovaj signal je uvek prisutan. Najjači signal prijemnik prima direktnom putanjom od predajnih do prijemnih antena. Ovaj impuls može maskirati eho signal u određenim ćelijama i to je prikazano simulacionim analizama u radu [40]. Ovaj problem, takozvani „*fly-back*” problem može se rešiti uvođenjem prozorske funkcije na odabirke *chirp*-a pre računanja FFT-a po dometu. U nekim literaturama upotreba prozorskih funkcija se opravdava eliminisanjem bočnih lobova usled *beamforming* procesa, sve u cilju dobijanja radarske mete [49]. Ukoliko se ne koriste prozorske funkcije jako zračenje od predajnog niza može i maskirati udaljene mete koje imaju slabiji eho signal. Prozorske funkcije se primenjuju pre obrade FFT-a po dometu i Dopleru. Ovaj korak se još može nazvati i pripremanje podataka u pogodan oblik za dalju obradu signala [46]. U eksperimentalnim istraživanjima u ovoj disertaciji Blekman-Harisova prozorska funkcija se koristi jer bolje potiskuje bočne lobove nego druge prozorske funkcije.

Slika 4.15 prikazuje primer gde se r_n filtrira na N_R ćelija, nakon FFT-a po dometu, i N_D ćelija koje opisuju Doplerovu frekvenciju (nakon FFT-a po Dopleru). Nakon procesuiranja po dometu i Doplerovoj frekvenciji, svi signali sa svih 16 kanala se kombinuju u *beamformer*, odakle se kreira trodimenzionalna matrica, takozvana RD kocka. Ova kocka ima tri dimenzije, odnosno $N_R \times N_D \times N_{\Psi}$, gde N_{Ψ} predstavlja ćelije po azimutu. Da bi se dobila ova kocka, mora se proći kroz *beamforming* proces. Ovo uključuje da se analizira i kombinuje signal sa svake prijemne antene. U praksi postoje signali koji imaju višestruke refleksije. Takođe, određeni šum ili interferencija se može javiti u regionima od interesa. Funkcija *beamforming*-a jeste da se analiziraju i filtriraju određeni signali tako što se analiziraju signali sa svih prijemnih kanala.

Korišćenjem brze Furijeove transformacije dobijaju se informacije o Doplerovoj frekvenciji i rastojanju sa svakog prijemnog kanala. Na primer, ukoliko se posmatra signal primljen radarom, taj signal predstavlja vremensku sekvencu impulsa gde se amplituda i faza signala mere. Doplerove tehnike za procesuiranje su bazirane na merenju spektralnog (frekvencijskog) sadržaja signala. Frekvencijski sadržaj ovog signala u vremenskom domenu se dobija primenom Furijeovih transformacija, stoga se on pretvara u signal u frekvencijskom domenu.

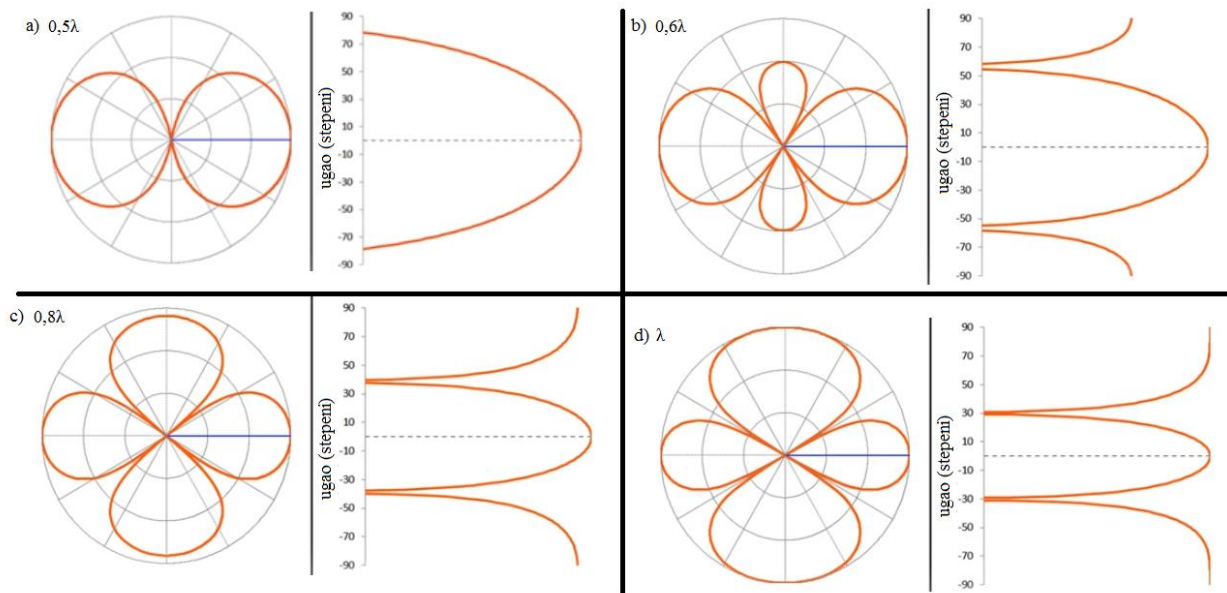
Furijeova transformacija je postala fundamentalni metod procesuiranja signala, s obzirom na to da radarski eho sadrži dragocene informacije koje se mogu ekstrahovati iz određene forme signala. Ove informacije se dobijaju korišćenjem Furijeove transformacije u formate koji kasnije mogu da se dalje obrađuju. Furijeova transformacija je vrsta analize koja signal predstavlja preko sinusnih i kosinusnih komponentata, što znači da je signal opisan kao suma sinusnih i kosinusnih talasa različitih frekvencija, amplituda i faza. Ovaj proces se zove Diskretna Furijeova Transformacija (DFT). Međutim, u praksi, ovaj proces konverzije je veoma vremenski zahtevan. Brza Furijeova Transformacija FFT (*Fast Fourier Transformation*) predstavlja tehničku varijantu softvera koja vrlo brzo dobija rezultate. Uz pomoć ove analize cela forma radarskog eho signala može biti predstavljena sa samo nekoliko podataka. Zahvaljujući primeni ovih transformacija moguće je dobiti informacije o Doplerovoj frekvenciji i rastojanju mete od radara.

Alternativa sistemskoj konfiguraciji od 16 prijemnih antena je upotreba *Direction Finding* algoritma i kompaktnog niza prijemnih antena od samo četiri prijemne antene. Ovo će rezultovati poljem koje može da vidi 360°, ali smanjuje ugaonu tačnost. Štaviše, Bragove linije prvog reda će postati mnogo šire, što ima za posledicu mnogo širi „fokus“ ovog manjeg niza za prijem, čime će linije prvog reda prekriti Bragove linije drugog reda koje nose talasne informacije [50]. Kratkotalasni radar sa *Direction Finding* konfiguracijom neće biti analiziran u ovoj doktorskoj disertaciji.

4.4.2 Postupak digitalnog *beamforming*-a kod prijemnog niza antena

U cilju dobijanja odgovarajućeg dijagrama prijemnog niza, različite tehnike se mogu koristiti. Međutim, ovde se konvencionalni *beamformer* sa faznim pomerajem koristi za proračunavanje ugla. Dobitak antene je zavisen u odnosu na smer odakle je signal emitovan ili na smer odakle se signal prima. Da bi se prevazišla potreba za mehaničkom rotacijom antena i da bi se šablon snopa zračenja promenio brzo, primenjuje se tehnika zvana *beamforming* [46]. Korišćenjem ove tehnike šablon snopa zračenja se može promeniti na elektronski način. Na ovaj način, elektronskim putem postiže se sposobnost brzog i preciznog prebacivanja snopa zračenja što omogućava da se prate višestruke mete u veoma kratkom vremenu. Ovim se usmerava visok dobitak prema prijemniku, ili po potrebi prema predajniku.

Fazni niz ima aperturu koju sačinjava nekoliko antena, kao na primer u slučaju ovog kratkotalasnog radara vertikalne monopol antene i svaki pojedinačni element se pojedinačno kontroliše po fazi i amplitudi. Korišćenjem većeg broja ovih antena može se postići precizan šablon zračenja i smer. Ukoliko se rastojanje između antena postavi da bude na međusobnom rastojanju od polu-talasne dužine, izbegava se generisanje višestrukih lobova. Slika 4.16 prikazuje šta bi se desilo sa dijagramom zračenja ukoliko bi rastojanje između dva prijemna elementa povećavalo za više od polutalasne dužine.



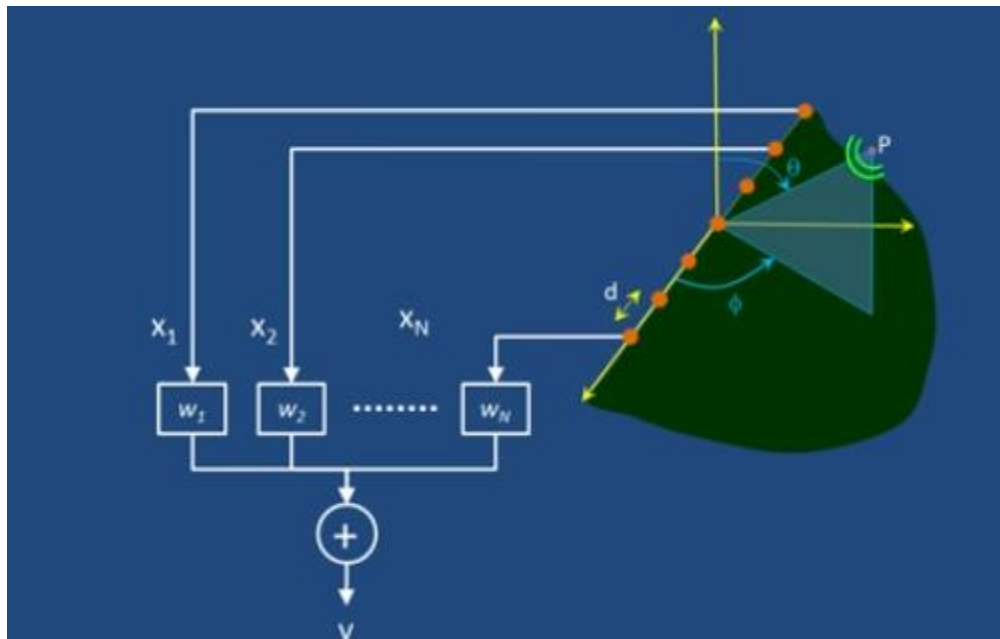
Slika 4.16 Promena dijagrama zračenja u skladu sa promenom rastojanja između prijemnih antena kod beamforming procesa; a) rastojanje između elemenata je polutalasna dužina, b) rastojanje između elemenata je $0,6 \lambda$, c) rastojanje između elemenata je $0,8 \lambda$ i d) rastojanje između elemenata je jedna talasna dužina [51]

Radar sa faznim nizom koristi grupu antena za zračenje i prijem elektromagnetnog signala, čije su faze tako podešene tako da radar može skenirati kroz željene pravce ili njima upravljati, dok istovremeno potiskuje smetnje iz drugih pravaca [52]. Ulaz u svaku prijemnu antenu se pojačava, digitalizuje i signal se dalje šalje računaru za procesuiranje, što uključuje formiranje višestrukih istovremenih snopova zračenja, kao i adaptivne nule zračenja u cilju sprečavanja ulaska određene interferencije.

Beamforming može biti analogni i digitalni. Digitalni ima određene prednosti, kao što je povećanje dinamičkog opsega, brže traženje okvira ukoliko se istovremeno koriste višestruki snopovi, bolja kontrola amplitude i faze za adaptivno nuliranje i umanjeње nivoa bočnih lobova. Digitalni *beamforming* ima veći dinamički opseg za $10 \log(N)$ od analognog, gde N predstavlja broj antenskih elemenata. Sam naziv digitalni označava da se analogni signal prvo digitalizuje, pa se onda kombinuje. Kod analognog, prijemni signali sa svakog elementa se odmah kombinuju. Na izlazu iz analognog *beamformer*-a centralizovani prijemnici konvertuju signal na srednju frekvenciju IF (*Intermediate Frequency*), pa tek nakon toga analogno-digitalni konverter digitalizuje IF signal.

U slučaju kratkotalasnog radara višestruke prijemne antene imaju omnidirekciono zračenje, tj. imaju konstantan dobitak za svaki ugao. Ove višestruke antene su poređane u niz antena ULA (*Uniform Linear Array*). Kod ULA konfiguracije, antene su ravnomerno postavljene duž prave linije. Slika 4.17 prikazuje primer ULA niza. Neka signal dolazi iz pravca P . Rastojanje između antena koje su označene narandžastom bojom je polu-talasna dužina. Prijemni talas koji putuje ka antenama zaklapa određene uglove u odnosu na osu prijemnog niza. $X_1 \dots X_N$ predstavlja oblik signala koji dolazi od antena. U slučaju digitalnog *beamforming*-a, ovaj signal je prethodno digitalizovan analogno-digitalnim konvertorima. $W_1 \dots W_N$ predstavljaju težinske koeficijente.

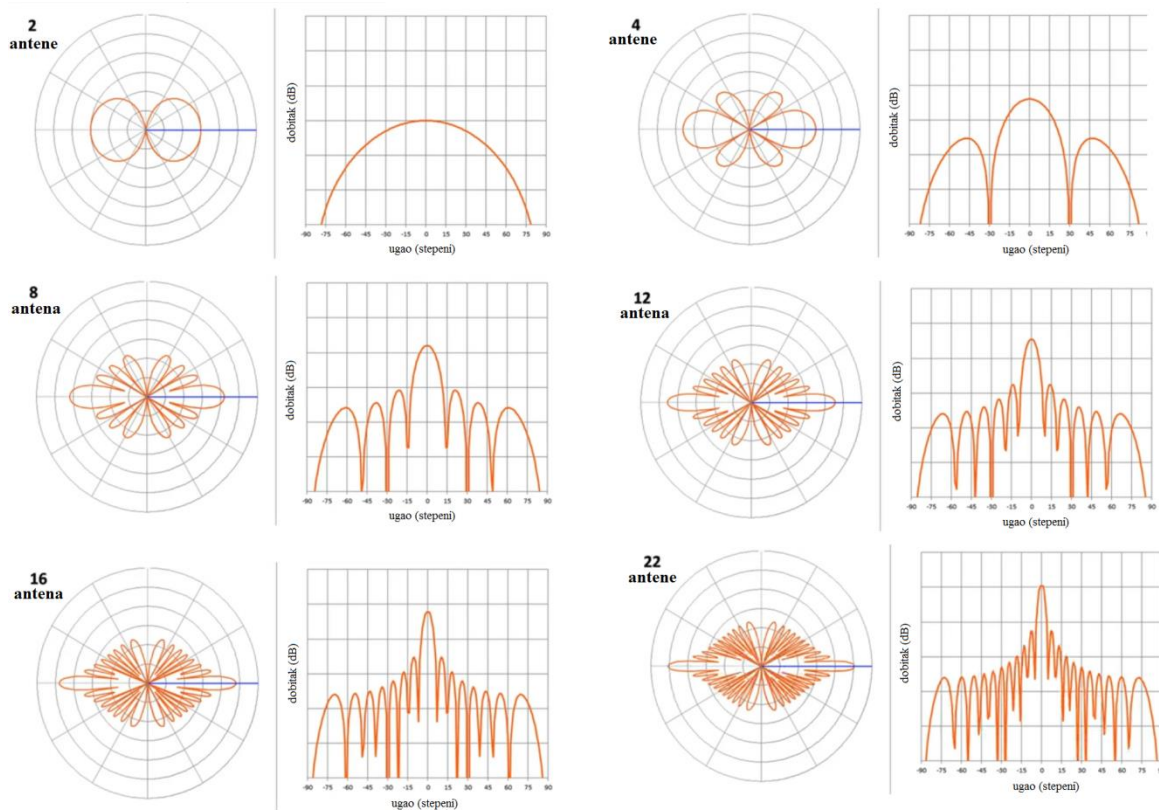
Antenski faktor formiranog celokupnog antenskog niza se može predstaviti formulom (4.5) [51], gde Slika 4.17 prikazuje uglove θ i ϕ .



Slika 4.17 Grub prikaz procesa beamforming-a korišćenjem ULA konfiguracije [51]

$$AF(\theta, \phi) = \sum_{n=1}^N w_n e^{j\frac{2\pi}{\lambda} x_n \sin\theta \cos\phi} \quad (4.5)$$

Sa većim brojem elemenata, dobija se veći dobitak antenskog niza, sa preciznijim glavnim lobom. Slika 4.18 prikazuje kako se menja dijagram zračenja sa povećanjem broja prijemnih antena.



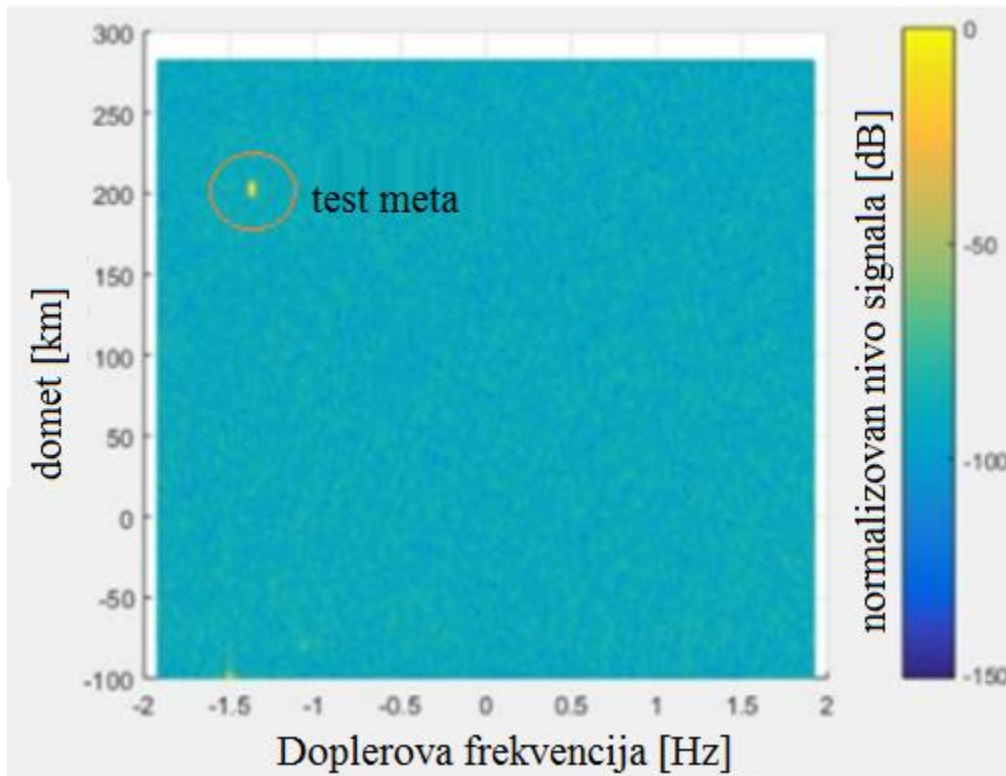
Slika 4.18 Promena ukupnog dobitka antena u odnosu na povećanje broja antena linearnog antenskog niza kod beamforming procesa [51]

4.4.3 CFAR algoritam

Kod radarskog prijemnika, signal se procesira počevši od antene, koristeći FFT funkcije prema dometu i Dopleru. Kada signal prođe kroz brojne filtre, analogno-digitalne konvertore i *beamformer*, na kraju se posmatra signal koji potiče od potencionalnog radarskog cilja. Taj signal može biti radarski cilj od interesa, ili pak nešto drugo. Na primer, kratkotalasni radar može detektovati morske struje ili brodove. Cilj je definisati šta se želi posmatrati. CFAR (*Constant False Alarm Rate*) algoritam ima za cilj da odredi nivo iznad kog se može smatrati da radarski eho zapravo potiče od cilja od interesa. Ukoliko je ovaj prag prenizak, otkriće se više ciljeva na štetu povećanog broja lažnih meta. Obrnuto, ukoliko je prag previsok, tada će se smanjiti broj lažnih alarma, međutim može se desiti da se neki realan cilj isfiltrira. Svakako je poznato da je nivo smetnji vremenski promenljiva funkcija. U ovom slučaju promenljiv prag se mora koristiti, koji se sa vremenom povećava ili smanjuje, a sve u cilju održavanja konstantnog nivoa verovatnoće lažnog alarma. Ovo je poznato kao CFAR detekcija [53], [54].

CFAR u konkretnom kratkotalasnom radaru koji se razmatra u ovoj disertaciji se primenjuje nakon *beamforming* procesa. Izlaz iz *beamforming*-a su RDA (*Range Doppler Angle*) kocke, a svakako treba da se analiziraju funkcije gustine raspodele šuma i klatera. Autori rada [46] su analizirali ovu problematiku i pokazali da sistemski šum RDA kocki ima Vejbulovu raspodelu. Ova testiranja su obavljena u laboratoriji u kontrolisanim uslovima, kada se predajni signal direktno dovede na prijemne

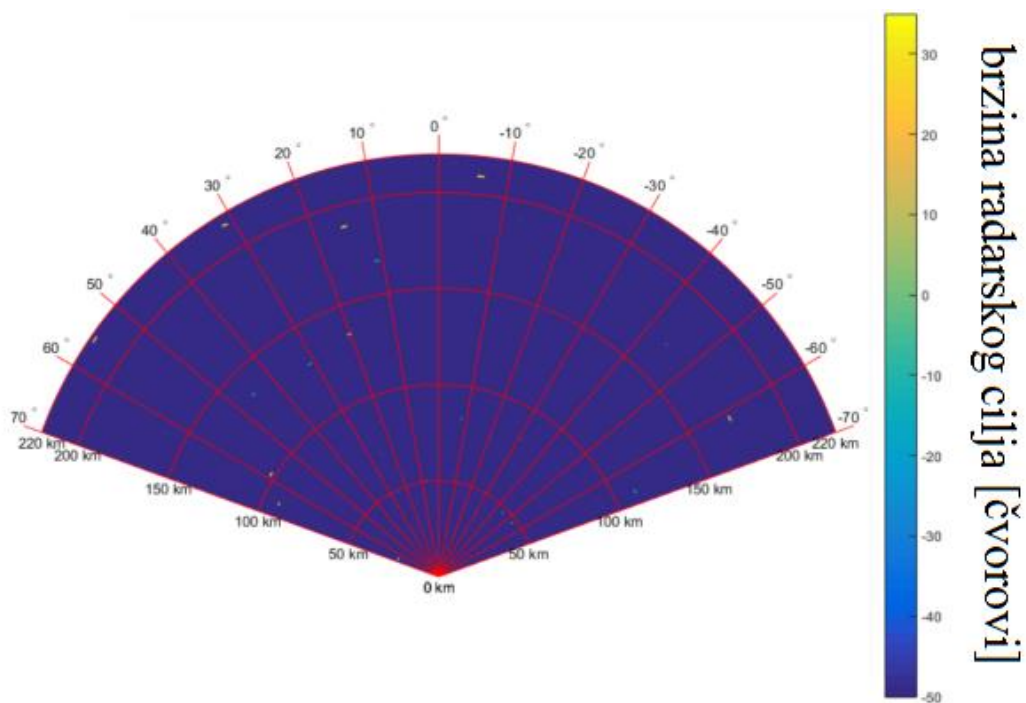
kanale (umanjen atenuatorima kako prijemni kanali ne bi bili u fazi zasićenja) i jedna meta je uneta veštački zbog analize (Slika 4.19).



Slika 4.19 RD slika za određeni ugao dobijena u laboratorijskim uslovima [46]

Nakon procesuiranja svih RD slika koje su dobijene tokom laboratorijskih ispitivanja, određene raspodele su upoređene sa dobijenim rezultatima. Jedna RDA kocka u ovim istraživanjima sadrži oko 12 miliona ćelija. U jednoj od njih je prisutna test meta, dok sve ostale predstavljaju sistemski šum. Nakon izvršene analize došlo se do zaključaka da se Vejbulova raspodela najbolje poklapa sa dobijenim rezultatima [46].

Druga analiza u ovim istraživanjima je sprovedena nad prikupljenim realnim podacima sa kratkotalasnog radara instaliranog na zapadnoj obali afričkog kontinenta. Analizom rezultata sa terena došlo se do zaključka da u većem broju slučajeva i šum okruženja ima Vejbulovu raspodelu. Međutim, ukoliko se desi da se javi intenzivna jonosferska interferencija, ova raspodela prestaje da važi za dobijene merne podatke. Kako CFAR algoritam nije tema ove disertacije, detaljnije informacije se mogu pronaći u radu [46]. Nakon dobijene raspodele realnih podataka kvalitetnije se može definisati prag na osnovu definisanja šta jesu mete, a šta nisu, a za ovo određivanje veliki značaj imaju određene raspodele šuma okruženja u datom trenutku. Kao konačan rezultat kompleksnog procesuiranja signala, na kraju se dobijaju detektovane mete, sa tačno definisanim lokacijama i brzinama kretanja (Slika 4.20).



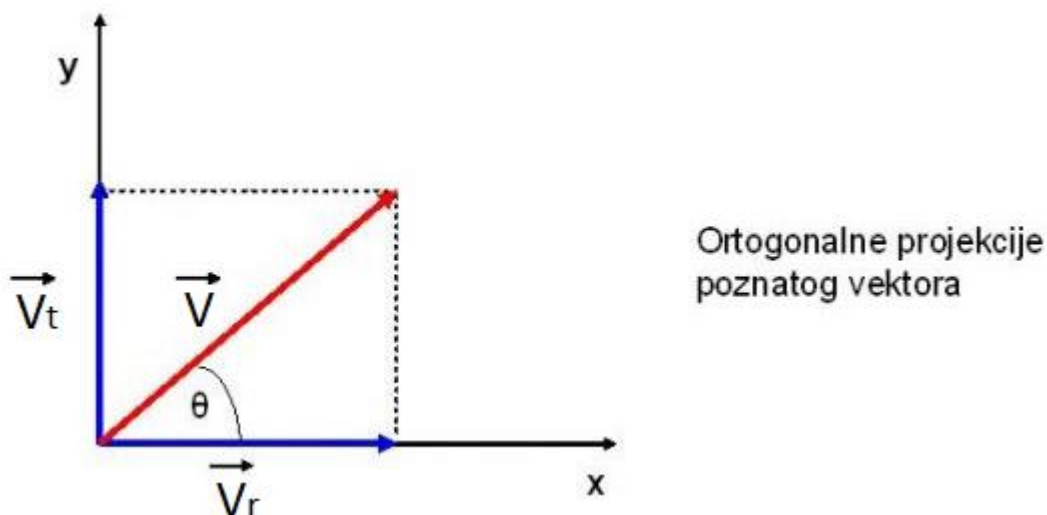
Slika 4.20 Detektovane radarske mete sa njihovim koordinatama i radijalnim brzinama [46]

4.5 RD slika kod radara

RD slika predstavlja dvodimenzionalnu sliku koja daje prikaz spektralne gustine snage radarskog eha gde je po jednoj osi označena Doplerova frekvencija, a po drugoj je označeno rastojanje radarskog cilja od kratkotalasnog radara. Na RD slici radarski eho od bilo koje detekcije cilja, ili bilo koja smetnja koja se unosi u sistem se označava odgovarajućom bojom. Kada se, na primer, degradiraju performanse radara usled LED šuma, ovo se može manifestovati na RD slici. Na osnovu rastojanja i Doplerove frekvencije se može odrediti radijalna brzina radarske mete, kao i njene koordinate. Ciljnu radarsku metu kod kratkotalasnog radara analiziranog u ovoj disertaciji predstavljaju brodovi. Precizno merenje radijalne brzine zahteva vreme. Stoga je vreme osnovni parametar koji opisuje kvalitet merenja radijalne brzine. Brzina pomeranja pokretne mete i njen pravac putovanja mogu se naći iz trajektorije detektovanog radarskog cilja, koja se može odrediti merenjem lokacije cilja radarom tokom određenog vremenskog perioda. Ako razložimo kretanje bilo kog tela matematički: svako kretanje sa datom brzinom ima dva pravca, stoga ono predstavlja vektor. U vezi sa posmatranim pravcem, vektor kretanja se može razložiti na dve komponente: radijalno kretanje (koje je ili direktno ka ili od posmatrača i ta brzina je radijalna brzina) i kretanje normalno na radijalni vektor (zvano tangencionalna brzina). Dijagonala pravougaonika, koja se opisuje sa ova dva vektora predstavlja realnu brzinu mete (Slika 4.21). Ako se posmatra brod, radijalna brzina broda je deo brzine broda koja deluje ka radaru i od njega. Ako se desi da je radijalna brzina nula (brod kruži oko radara na istoj udaljenosti), onda je tangencionalna brzina jednaka realnoj brzini broda. Doplerova frekvencija se jedino javlja u prisustvu radijalne brzine. Pomeraj Doplerove frekvencije f_d se može zapisati kao [33]:

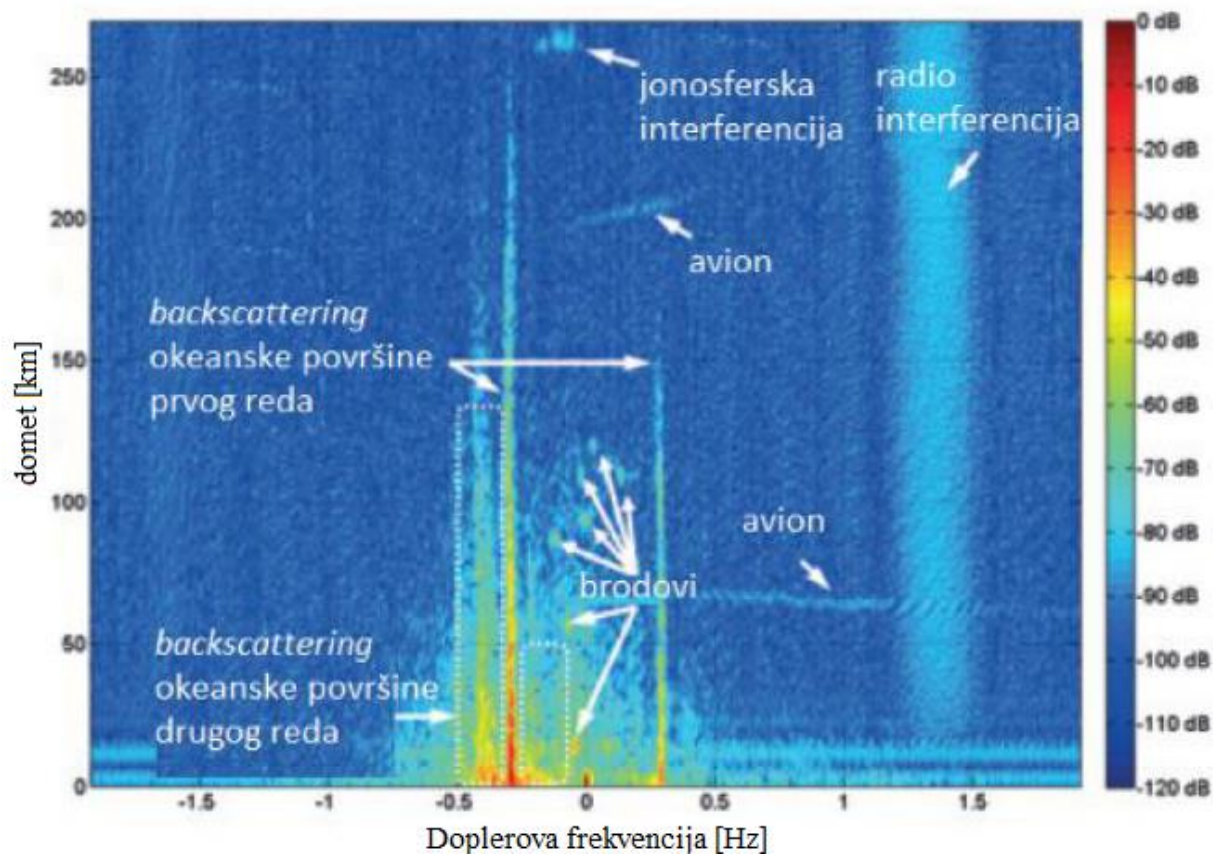
$$f_d = \frac{2v_r}{\lambda} = \frac{2v \cos \theta}{\lambda} \quad (4.6)$$

U jednačini (4.6) v_r predstavlja relativnu brzinu mete (relativna u odnosu na radar, odnosno radijalna brzina) u jedinici m/s , dok v predstavlja apsolutnu brzinu mete u m/s . Jedinica λ je talasna dužina radara u metrima, a θ je ugao između pravca kretanja mete i radarskog snopa zračenja. Kosinus ugla θ predstavlja odnos nalegle katete i hipotenuze (Slika 4.21). Što je veća radijalna brzina mete, veći je Doplerov pomeraj u frekvenciji. Što je veća frekvencija, manja je talasna dužina, što znači da je Doplerov pomeraj za više frekvencije veći. Ako se meta kreće u smeru normalnom na radarski snop zračenja, onda je ugao θ jednak nuli, što znači da je $\cos 90^\circ = 0$, a onda, po formuli, a i u praksi, Doplerova frekvencija se ne menja, odnosno jednaka je nuli.



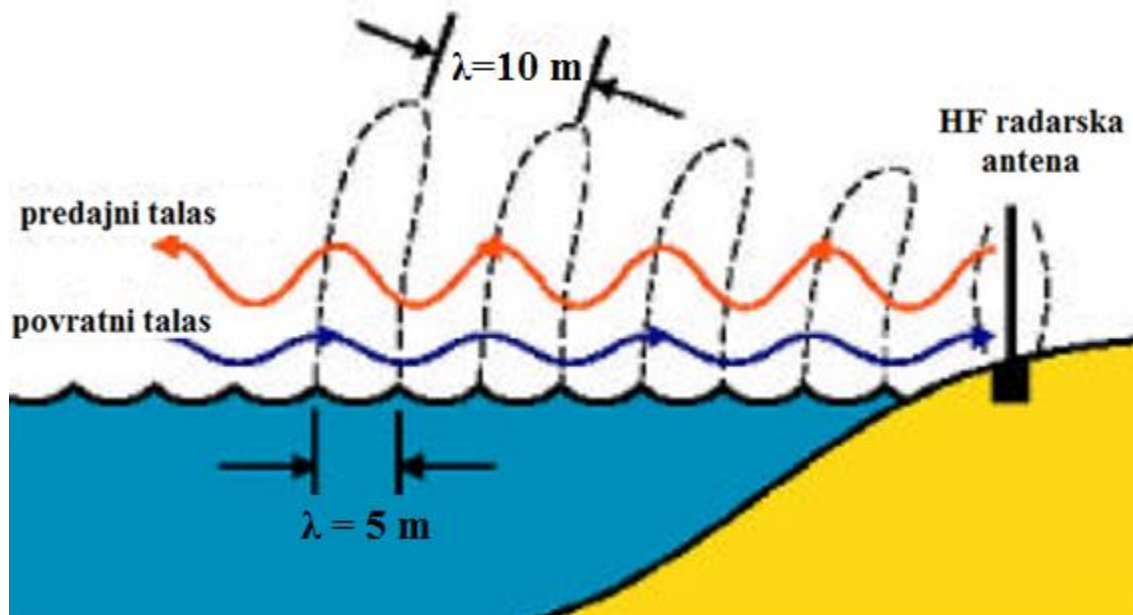
Slika 4.21 Razlaganje vektora kretanja radarskog cilja: v_r usmereno ka radaru – radijalna brzina mete, v_t – tangencionalna brzina, v – apsolutna brzina

Slika 4.22 prikazuje primer jedne RD slike. Kao što je već pomenuto, mnoge smetnje se mogu pojaviti na ovoj slici. Ovde *backscattering* predstavlja dobijen signal nakon transmitovanog elektromagnetnog talasa ka moru, odnosno prijemni eho signala. Na ovoj slici se mogu primetiti takođe dva dominantna pika, odnosno takozvane Bragove linije.



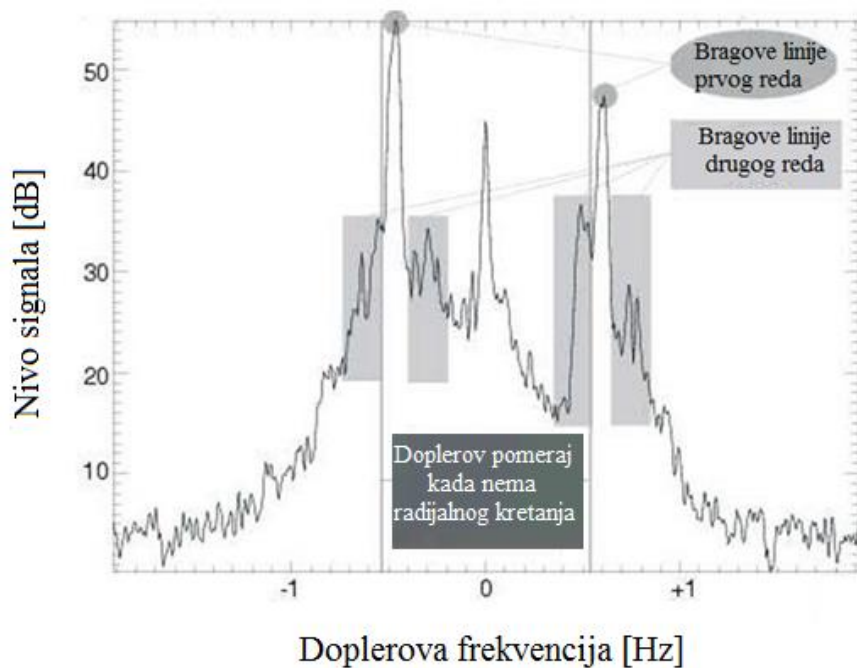
Slika 4.22 Primer RD slike za raznim tipovima smetnji [39]

Gruba okeanska površina pravi interakciju sa radio talasima i *backscattered* signali usled Bragovog efekta se mogu detektovati na dometima na više od 200 kilometara (Slika 4.23). Ovaj efekat je prvi put opisan 1955. godine od *Crombie*-a [55], a prvi radarski sistem koji je koristio ovu pojavu je razvijen 1997. godine od strane NOAA na čelu sa *Don Birreck*-om.



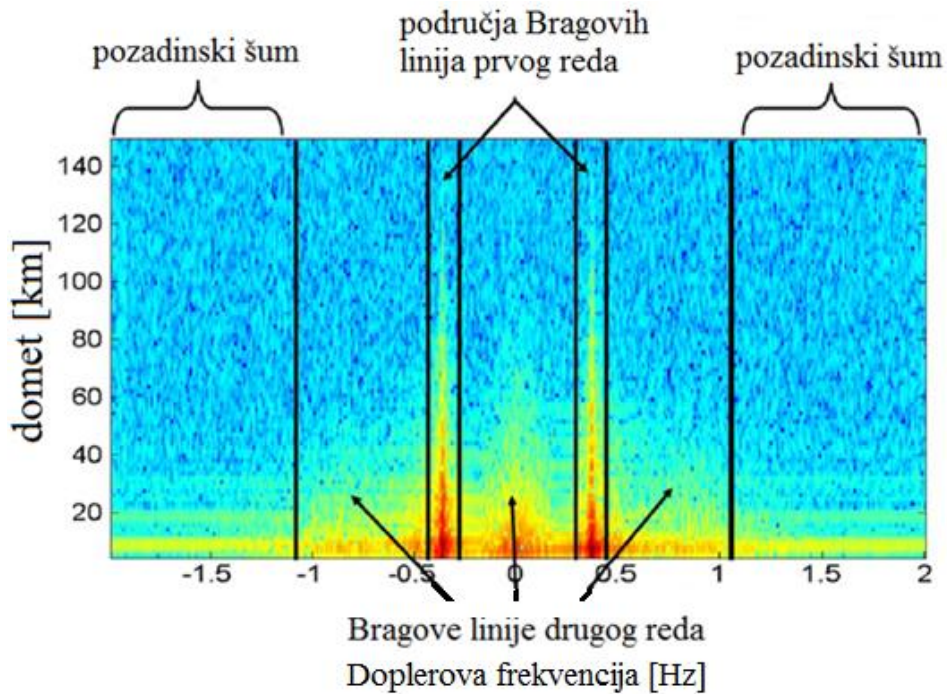
Slika 4.23 Princip kreiranja Bragovih linija [35]

Bragov efekat opisuje efekat pojačanja elektromagnetnih talasa koji su povratni (*backscattered*) i koji imaju dvostruku talasnu dužinu u odnosu na talase na okeanu, na primer, za 30 MHz radarski signal, čija je $\lambda=10$ metara i odgovara okeanskom talasu od 5 metara kako bi se ispunili Bragovi uslovi. Refleksije od određenih talasa koji ispunjavaju ovaj uslov će generisati dominantan potpis na prijemnom signalu. Taj očekivan potpis je specifičan Doplerov pomeraj koji je dat brzinom talasa koji ispunjava Bragov uslov. Što je više prijernih antena, Bragov pik je oštiji. *Backscattering* drugog reda je uzrokovan interakcijom između talasa koji prelaze preko mora, što vodi bočnim opsezima oko Bragovih linija, takođe označene kao kontinuum drugog reda. Stoga, morsko kretanje talasa može se posmatrati kao distribuirani, neposredni izvor. Za detekciju broda i procedure praćenja, morsko kretanje može biti razmatrano kao nepoželjna, samogenerišuća interferencija. Doplerovi pomereni signali će biti simetrično raspoređeni oko normalizovane centralne frekvencije (Slika 4.24, prikazano na apscisi vrednost 0) sve dok se površina okeana ne pomera. Kretanje okeana će pomeriti Bragove linije po frekvenciji. Upravo ovaj mali frekvencijski pomeraj je informacija koja se koristi da bi se proračunala brzina kretanja okeana na svakoj pojedinačnoj tački mreže. Tačnije, uz pomoć ovih linija mogu se meriti struje okeana, stanje mora, kao i vetar na okeanu [35].



Slika 4.24 Teoretski tipični spektar radarskog sistema, Bragove linije prvog reda, blago pomerene od centra, sa superponiranom (nametnutom) linijom drugog reda koja nosi talasnu informaciju [35]

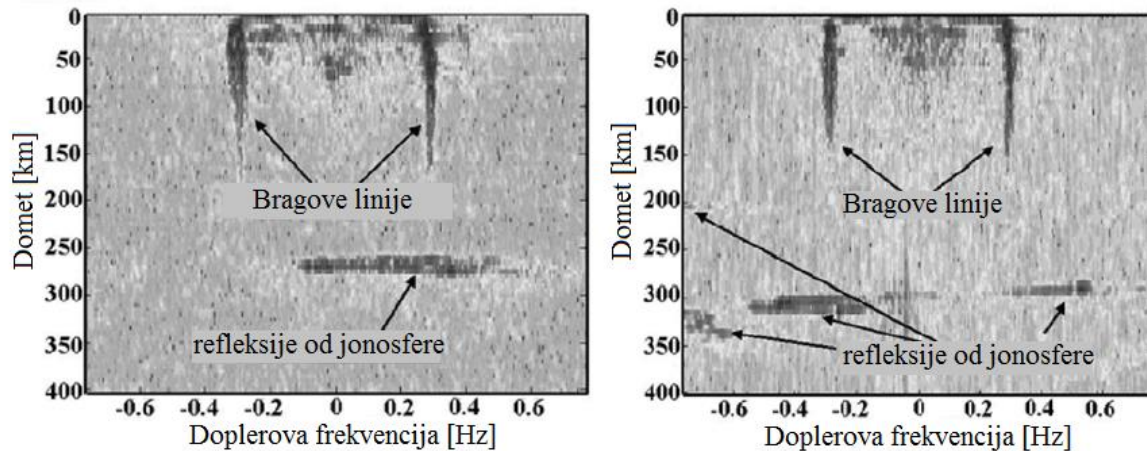
Slika 4.24 prikazuje kako teoretski izgledaju Bragove linije na RD slici, gde je jasno označeno gde su Bragove linije prvog reda, a gde drugog reda. Slika 4.25 prikazuje istu stvar, međutim sa realnog radarskog kratkotalasnog sistema.



Slika 4.25 Primer realne RD slike sa označenim Bragovim linijama prvog i drugog reda [56]

Uz pomoć sofisticiranog softvera mnogo dragocenih informacija se može dobiti iz ovog spektra, kao što su mape okeanskog kretanja, spektar mapa talasa i pravca vetra. Aktuelni projekti rade na korišćenju ovih sistema za merenje brzine vetra, morskih struja i praćenje brodova [43].

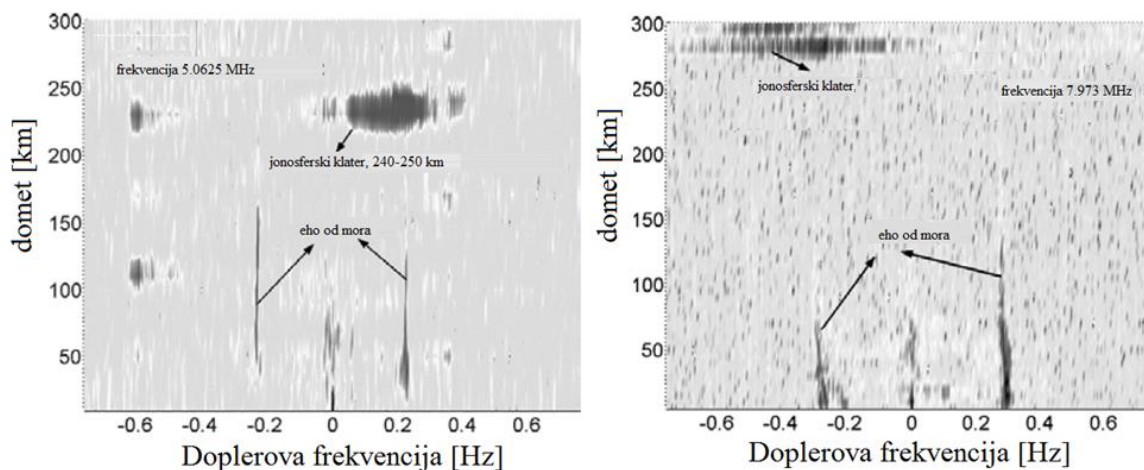
Pored Bragovih linija, takođe se na RD slici mogu videti jonosferske smetnje. Štaviše, neki kratkotalasni radari se čak i bave isključivo ovim promenama, analizirajući stanja jonosfere i kako se ona menjaju u vremenu (Slika 4.26). Metode refleksija od jonosfere kod kratkotalasnih radara se mogu sprovesti takođe i korišćenjem tehnika mašinskog učenja [57].



Slika 4.26 Praćenje promena jonosfere korišćenjem RD slike [58]

Dosta faktora može uticati na radar, a jonosferske refleksije ili Bragove linije nisu jedine stvari koje se odražavaju na RD potpis. RD slika se može menjati usled mehaničkih vibracija u blizini senzora, fizičke nestabilnosti senzora, nestabilnosti napona, komunikacionih uređaja koji rade u istom frekventijskom opsegu, meteora, interferencija od munja, atmosferskih šumova i još dosta potencionalnih izvora smetnji. Mete od radarskih ciljeva, u ovom slučaju brodova imaju potpis takođe, a kakav će potpis biti zavisi od njihove efektivne površine, kao i brzine. Refleksije od nekih nepokretnih površina se takođe mogu javiti, ali te refleksije imaju nultu Doplerovu frekvenciju. Svakako se nekada i unutrašnji šum prijemnika usled određenih nepravilnosti može pojaviti na ovoj slici [59]. Neželjene interferencije izazvane električnim uređajima su svakako veliki izazov i njihova detekcija je od izuzetne važnosti. Primer takve smetnje je i LED šum, i njegov uticaj na kratkotalasni radar.

Postoje razne tehnike za umanjene šuma koji se javlja na RD slici. Na primer, na OSMAR2003 [60] radarskom sistemu koji je instaliran na teritoriji Kine, primenjuje se post-Doplerov prostorni adaptivni algoritam za procesuiranje. Prvenstveno u ovom istraživanju se razmatra jonosferski šum, koji je uzrokovan usled refleksije od različitih slojeva jonosfere u različito vreme. Svakako je ovde više definisana problematika kako se elektromagnetni talasi reflektuju, odnosno prodiru kroz jonosferu i pod kojim uslovima se to odražava na RD sliku. Da bi detaljnije analizirali ove smetnje, instalirali su dva sistema, jedan koji radi na oko 8 MHz, a drugi koji radi na oko 5 MHz (Slika 4.27). U ovim istraživanjima su uzimali u obzir i kritičnu frekvenciju i posmatrali kroz koji sloj će kada elektromagnetni talas proći kroz jonosferu, a kada ne, i u tim uslovima kako se to manifestuje na RD slici.

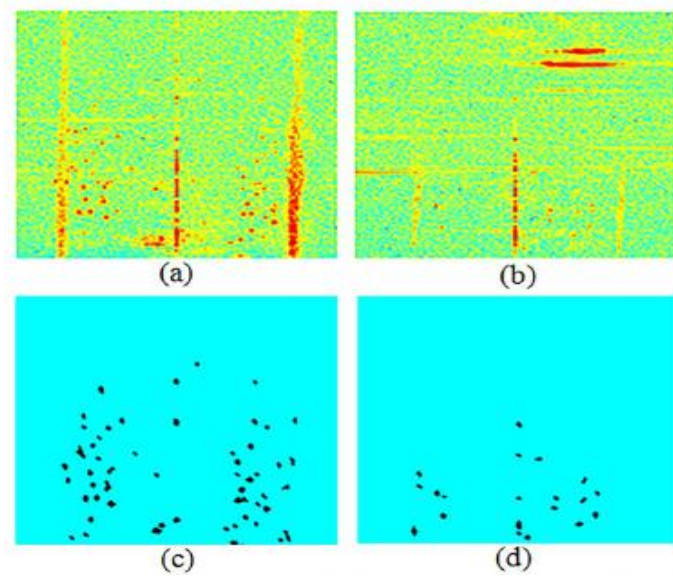


Slika 4.27 Analiza jonosferskog klatera na RD slici, poređenje RD slika na dve različite radne frekvencije kratkotalasnog radara [60]

Autori rada [61] su pokušali da izvrše izdvajanje meta iz šuma na RD slici koristeći razne tehnike, kao na primer MCA tehniku (*Morphological Component Analysis*), gde su čak i određene simulacije vršene. Autori rada [62] predlažu ekstrakciju jonosferskog šuma sa RD slike koja je bazirana na Gaborovim karakteristikama. Gaborovo procesuiranje ovde se zasniva na ekstrakciji teksture slike i njenoj segmentaciji.

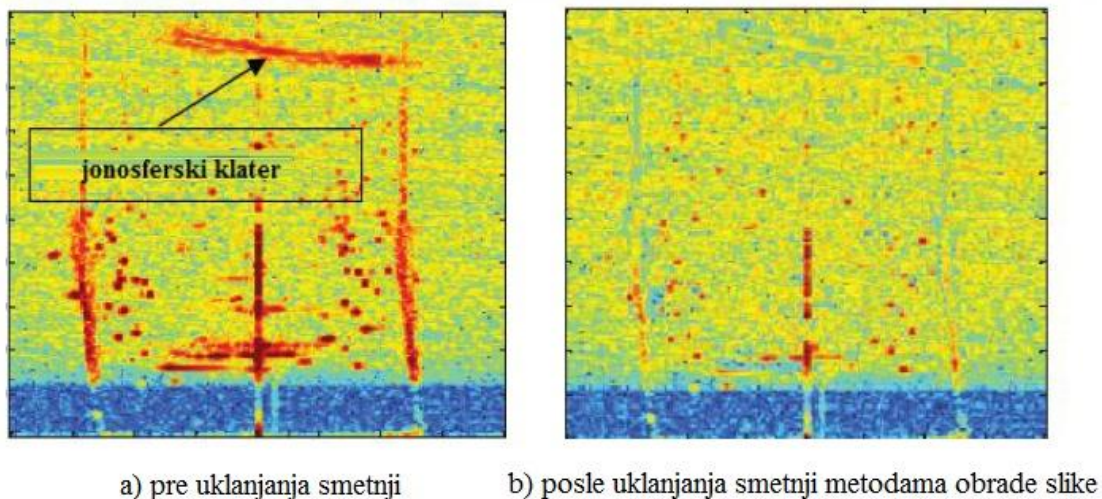
4.5.1 Pregled postojeće literature koje koriste metode obrade RD slike kratkotalasnog radara

Obrada slike kod kratkotalasnog radara povećava šanse za detekciju brodova na moru, čime se mete od interesa mogu odvojiti iz šuma, kao što je to sprovedeno u radovima [63], [64], [65] i [66], a obrada slike se može koristiti i kada su određene smetnje prisutne, a žele se analizirati okeanografski parametri [67]. Svakako, postoje i druge metode za mitigaciju šuma kod radara koje ne koriste obradu slike, kao što je to predstavljeno u radovima [68], [69] i [70] ali ova disertacija će se fokusirati na mitigaciju šuma obradom RD slike. Korišćenje metoda obrade slike je pogodno za eliminisanje šuma i nad RD slikom se mogu sprovesti razne metode obrade [71]. Autori iz rada [72] su koristili metode obrade RD slike kako bi izdvojili detektovane mete iz kumulativnog šuma. Slika 4.28 prikazuje rezultate nakon obrade RD slike korišćenjem predloženog algoritma.



Slika 4.28 Rezultati ekstrakcije meta iz RD slike; a) i b) su originalne slike, c) i d) su ekstrahovani brodovi iz RD slike nakon primenjenog algoritma baziranog na obradi slike [72]

Drugi autori, kao na primer [73] koriste takođe metode obrade slike, kao što su binarizacija, detektovanje ivica, ekstrakcija regiona od interesa i slično, sve u cilju otklanjanja smetnji koje prikrivaju informacijski sadržaj, odnosno mete od interesa na radarskoj RD slici. Slika 4.29 prikazuje primer rezultata njihovog predloženog algoritma, pre i posle uklanjanja smetnji na RD slici.

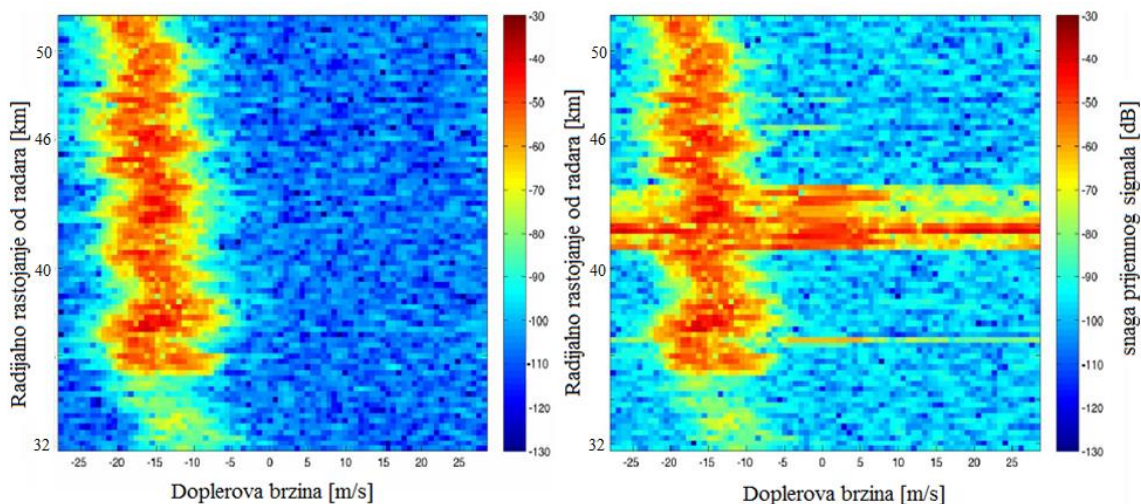


a) pre uklanjanja smetnji

b) posle uklanjanja smetnji metodama obrade slike

Slika 4.29 Uklanjanje klatera na RD slici bazirano na metodama obrade slike [73]

Procesuiranje kratkotalasne RD slike metodama obrade slike se koristi i u drugim referencama, međutim obrada RD slike se ne koristi samo kod kratkotalasnih radara za detekciju brodova. Radari koji detektuju vremenske uslove, kao što su sneg, kiša, pa čak i tornada, takođe na svojim RD slikama mogu analizirati smetnje. U publikovanim referencama pokazano je da vetroturbine, tj. takozvane WTC (*Wind Turbine Clutter*) takođe mogu imati negativan uticaj na radare. Konkretno, u literaturi [74] prikazano je da na meteorološki radar mogu negativno uticati vetroturbine, čime se, konkretno u ovom istraživanju, degradiraju kvantitativne procene padavina koristeći ovaj radar. Metode obrade RD slike se mogu upotrebiti tako da se ublaži efekat eksternih smetnji koje degradiraju performanse radara. Slika 4.30 daje primer kako izgleda RD slika kod ovakvog radara [74]. Istraživanje u literaturi [75] daje predlog umanjena negativnog uticaja vetroturbina na radar koji je namenjen za detekciju aviona.



Slika 4.30 Poređenje RD slike: a) kada nije prisutan šum od vetroturbina i b) kada je prisutan [74]

5 RAZLIČITI TIPOVI SMETNJI KOJI MOGU DA DEGRADIRAJU INFORMACIONI SADRŽAJ KRATKOTALASNOG RADARA

Analiza šuma, odnosno interferencije koja utiče na radar je veoma važna jer sposobnost detekcije radara počiva na direktnoj vezi od intenziteta smetnji koje deluju na rad radarskih kanala. Dobro je poznato da je dosta teže izdvojiti željeni radarski signal iz interferencije kod radara nego kod komunikacionih sistema, zato što se signal reflektuje od mete kojoj nije primarni cilj da bude detektovana, dok se kod komunikacionih sistema signal detektuje od predajne antene koja je u stanju da emituje elektromagnetni signal u cilju međusobnog komuniciranja. Na HF opsegu, nivo eksternog šuma daleko više dominira u poređenju sa unutrašnjim šumom sistema i različiti tipovi šuma mogu degradirati performanse radara [76]. U isto vreme, dobijanje dovoljno jakog eho signala od radarskog cilja predstavlja kompleksan problem usled propagacionih efekata elektromagnetnih talasa na ovim frekvencijskim opsezima. Zatim, aktivne interferencije koje utiču na HF radar imaju velike nepravilnosti u frekvencijskom domenu i nestacionarne karakteristike, u poređenju sa tradicionalnim mikrotalasnim radarima. Smetnje u radarskim kanalima se mogu posmatrati kao slučajan proces, što dodatno komplikuje izdvajanje korisnog signala iz šuma. U svetlu ovih razmatranja, pitanja koja se odnose na karakterizaciju i opisivanje smetnji su veoma važna.

Smetnje kod HF radara se generalno mogu podeliti na dve grupe: aktivnu i pasivnu interferenciju (klater). Aktivne interferencije mogu biti:

- Atmosferske interferencije;
- Kosmičke;
- Radio-interferencije;
- Šum izazvan čovekovim uticajem koji potiče od raznih uređaja (npr. LED šum).

Zatim, ukoliko posmatramo radar za detekciju brodova na moru, pasivne interferencije predstavljaju refleksiju radara od površine zemlje i od jonosfere. Jonosferske smetnje kod radara koji se koristi prvenstveno za detekciju brodova predstavljaju neželjene elektromagnetne refleksije [77]. Sa druge strane, ukoliko se analiziraju efekti na prijemni radarski sistem moguće je razlikovati sledeće tipove aktivne interferencije:

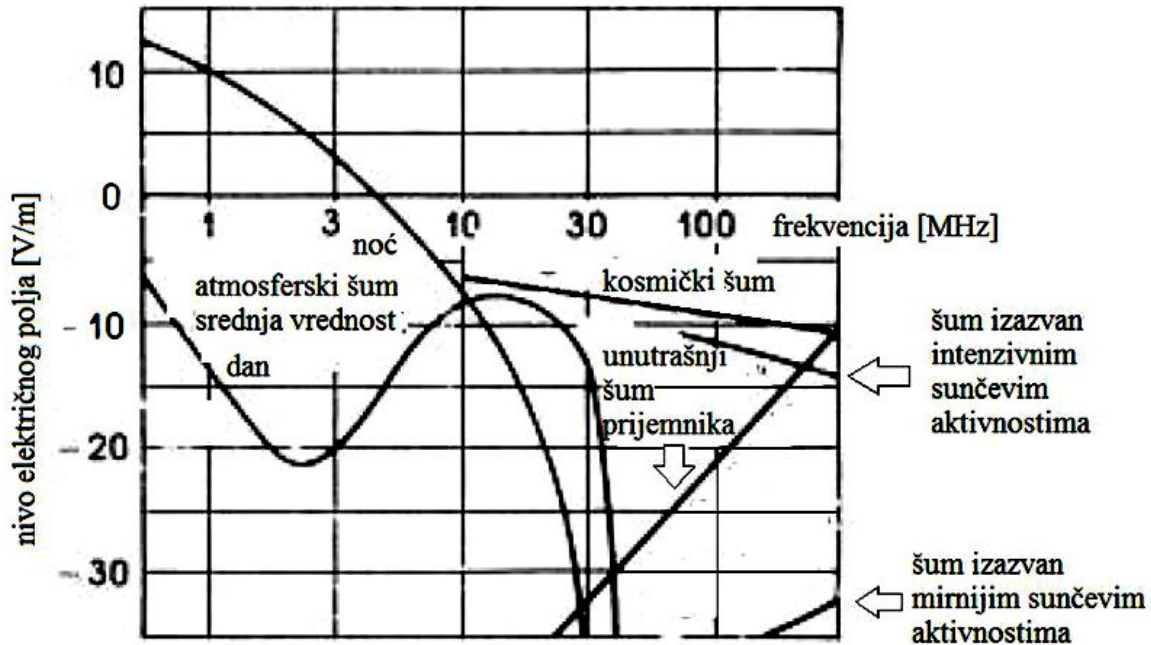
- Uskopojasne;
- Impulsne;
- Fluktuirajuće.

U nastavku će ukratko biti opisano nekoliko različitih tipova smetnji koje mogu uticati na radarski sistem.

Kao što je već pomenuto, priroda smetnji kratkotalasnog radara je značajno različita od mikrotalasnih radara. Na HF opsegu eksterne smetnje dominiraju nad internim prijemnikovim. Na primer, morski talasi koji kreiraju Bragove linije mogu maskirati radarsku metu i u ovom slučaju one predstavljaju klater. Ovo je jedna od prepreka, koja limitira karakteristike kratkotalasnog radara u nadgledanju morske površine. Nekada, ne samo da mogu da maskiraju radarske ciljeve, nego i ove linije mogu uzrokovati lažne ciljeve. U radu [78] je predložen algoritam koji se bavi problematikom kako umanjiti broj lažnih ciljeva usled ovog efekta. U radu [79] se analizira kako se može smanjiti uticaj morskih smetnji kod detekcije brodova kada se koristi kratkotalasni radar. Kao što Bragove linije mogu limitirati radarske ciljeve, tako i visok nivo nekog drugog šuma, kao što su na primer jonosferski šum, industrijski šum i tako dalje, takođe može limitirati performanse radara.

Već u VHF (*Very High Frequency*) i UHF (*Ultra High Frequency*) radarima glavni izvor interferencije koja limitira rad radara je unutrašnji šum prijemnika, sve dok nema nekog aktivnog izvora koji zauzima radni spektar radara. Međutim, kod HF radara, kao što je to već naglašeno, drugi tipovi interferencija daleko nadmašuju unutrašnji prijemnikov šum, pa se može slobodno reći da se u svim dobro dizajniranim HF radarima, unutrašnji šum može zanemariti. Nivo unutrašnjeg šuma modernih HF prijemnika je značajno niži nego minimalni eksterni nivo smetnji, čak i u gornjem delu HF opsega.

Različiti tipovi šuma mogu uticati na radarski prijemnik. Slika 5.1 prikazuje generalne izvore smetnji koji emituju elektromagnetni šum, kao i njihove nivoe električnog polja [80].



Slika 5.1 Izvori elektromagnetnih smetnji i njihovi nivovi [80]

Sa ove slike se može videti da je atmosferska interferencija znatno izraženija noću nego tokom dana i da intenzivno opada za frekvencije veće od 20-25 MHz. U nastavku su opisani ukratko različiti tipovi smetnji.

5.1 Atmosferski šum

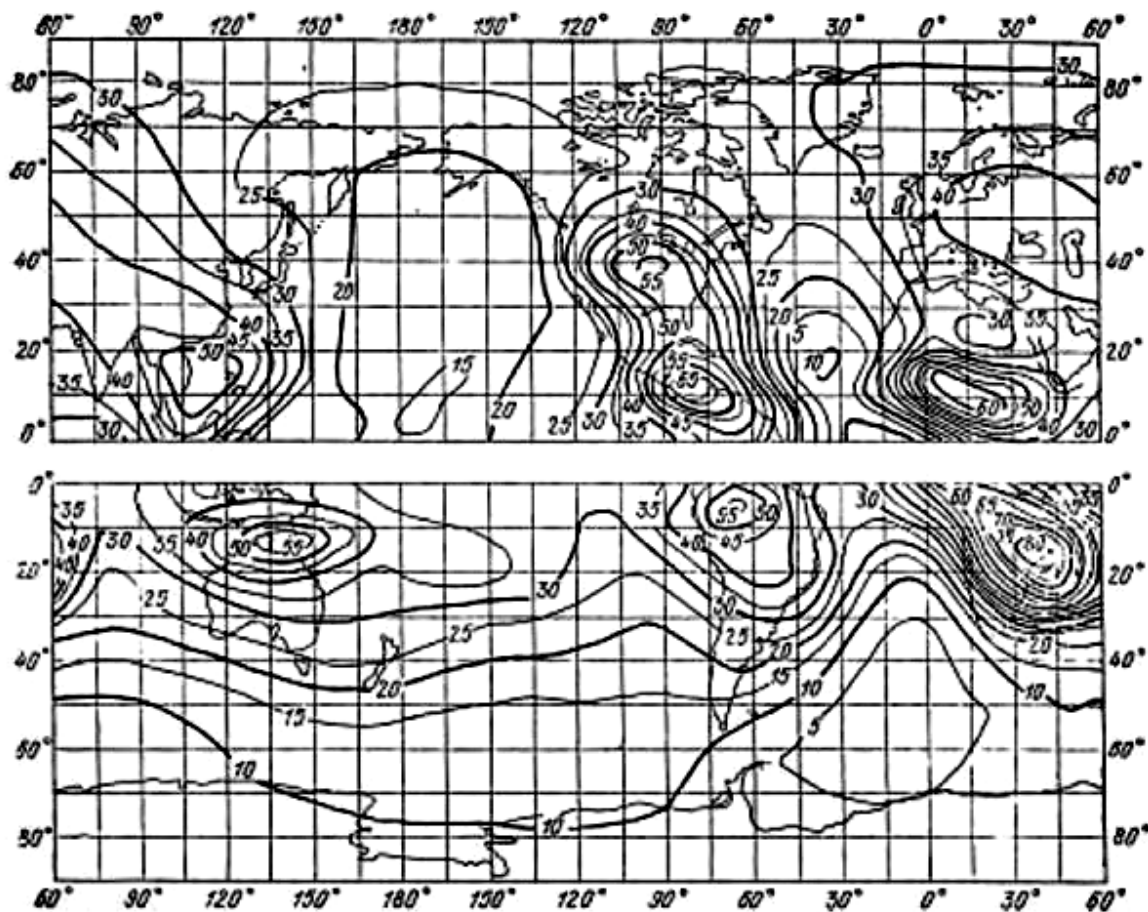
Osnovni tip atmosferskih interferencija u HF frekvencijskom opsegu su munje koje nastaju zbog suprotno naelektrisanih masa vazduha, vodene pare i zemlje. Studije koje analiziraju struje munja koje udaraju u zemlju pokazuju da su ova pražnjenja podeljena na dve komponente:

- Pred-pražnjenje, koje ide polako od oblaka ka zemljinoj površini, gde je prisutna impulsna struja od oko 100-300 A;
- Povratni udar, impulsne struje 10-100 kA, koja putuje od zemlje do oblaka duž putanje koja je već određena u prvom koraku.

U prvom koraku se zrači kontinualni spektar koji ima uticaj na HF opseg. Svaka munja se može posmatrati kao izvor radio-talasa, koja popunjava frekvencijski opseg, a usled propagacije ta radio-smetnja dolazi do radarskog prijemnika [80].

Atmosferska interferencija je uzrokovana velikim brojem munja, koje se dešavaju istovremeno u različitim regionima cele atmosfere. Svake sekunde, postoji oko 100 pražnjenja munja u atmosferi. Najveći intenzitet ovih pražnjenja se dešava u ekvatorijalnim oblastima (kao što su ekvatorijalna Afrika, ekvatorijalna Amerika i tako dalje). Intenzitet ovih interferencija se smanjuje kako se udaljava od ovih oblasti. Propagacione karakteristike elektromagnetnih talasa omogućavaju da ova interferencija može biti prisutna u radarskom prijemniku iako na lokalnom radarskom sajtu ne postoje nikakve munje. Atmosferska interferencija se manifestuje kao sekvenca impulsa, sa slučajnom amplitudom i fazom. Intenzitet ovih smetnji može dostići i do 60-70 dB u HF opsegu. Munje generišu širokopoljasnu interferenciju u različitim frekvencijskim opsezima. Rezultujuća frekvencijska karakteristika različitih atmosferskih interferencija se menja kao funkcija intenziteta aktivnosti munja, vremena dana, godišnjeg doba, odnosno sezone i geografske lokacije prijemnika radara.

Atmosferski šum zavisi od geografske lokacije, godišnjeg doba: zima (decembar, januar, februar), proleće (mart, april, maj), leto (jun, jul, avgust), jesen (septembar, oktobar, novembar), vreme dana/noći: (00-04, 04-08, 08-12, 12-16, 16-20, 20-24). Atmosferska interferencija se karakteriše brzim promenama sa velikim dinamičkim opsegom. Međutim, šum koji se usrednjava tokom nekoliko minuta ostaje konstantan čak i do nekoliko sati, gde varijacije retko prelaze +/- 2 dB, osim u trenucima kada Sunce izlazi, odnosno zalazi, ili u periodima lokalnih munja na radarskoj lokaciji. ITU je objavio izveštaj CCIR 322 još 1963. godine gde su date mape za intenzitet atmosferskog radio šuma [81]. Slika 5.2 prikazuje primer mapa snage atmosferskog radio šuma.



Slika 5.2 Procenjene vrednosti nivoa radio-šuma za leto, u vremenu između 08:00 - 12:00 [81]

Iz ove mape se jasno može videti da je nivo atmosferskog šuma zavisn od geografske lokacije radarskog prijemnika.

5.2 Kosmički šum

Atmosferski šum nije uvek dominantan šum na HF opsegu. Kosmički šum, obično pri vrhu HF opsega prevazilazi atmosferski šum u polarnim regionima i srednjim nadmorskim visinama. Kosmički šum je uzrokovan galaktičkim elektromagnetnim radijacijama koje variraju slučajno u vremenu. Glavni izvor radijacija su galaksije, koje kreiraju smetnje u frekvencijskim opsezima $1-10^{16}$ MHz. Na ovaj pozadinski šum se dodaju zračenja od jakih diskretnih izvora – planete i zvezde, sa frekvencijskim opsegom od 0,03-30 GHz. Stoga, kosmički šum zauzima širok spektar [80].

Svakako, za planetu Zemlju, intenzivan diskretni izvor zračenja predstavlja Sunce. Zračenje Sunca i planeta, uprkos jakom intenzitetu, igra sekundarnu ulogu u poređenju sa kontinualnim galaktičkim zračenjima, zato što ovi diskretni izvori imaju efekta samo kada je antena usmerena u njih. Kontinualne smetnje uzrokovane generalnim galaktičkim zračenjem se mogu primetiti u svim pravcima nebeske sfere. Zračenje je posebno izraženo u smerovima sazvežđa Škorpiona i Strelca. Svakako na uticaj zračenja koje

dolazi iz jonosfere, u HF opsegu ima uticaj gustina jonosfere. Zračenje koje prođe kroz jonosferu na površinu Zemlje je, po pravilu, ekstremno malo. Ovo je posebno izraženo na frekvencijama ispod 10 MHz, zbog apsorpcionih i reflektivnih svojstava jonosfere. Nivo kosmičkih interferencija je prilično stabilan. Intenzitet varijacija koje se detektuju na Zemlji uglavnom se menja zbog promenljivih apsorpcionih svojstava jonosfere. Usled neravnomerne raspodele radio-izvora na nebeskoj sferi i rotacije planete Zemlje oko svoje ose, intenzitet kosmičkih interferencija na datoj mernoj tački poprima karakteristike dnevnih varijacija. Sa druge strane, intenzitet solarnih radijacija zavisi od stanja Sunca u posmatranom vremenskom periodu. Radio-talasi različitih talasnih dužina koji se kreću od Sunca ka Zemlji zavise od različitih slojeva Sunčeve atmosfere. Spektar solarnih radijacija je kompleksan i promenljiv. Sunce nikada nije u potpunosti mirno, odnosno oluje koje se dešavaju u solarnoj atmosferi vode formiranju lokalizovanih regiona od kojih su solarne radijacije znatno većeg intenziteta, nego kada se Sunce nalazi u mirnijem periodu [80].

Kosmičke interferencije svakako zavise od frekvencije tako što opadaju sa porastom radne frekvencije. Raspodela kosmičke interferencije teži Gausovoj raspodeli [80].

5.3 Šum izazvan čovekovim uticajem

Šum izazvan čovekovim uticajem se odnosi na zračenje koje emituju električni uređaji. Izvori mogu poticati od razne opreme, kao što su komercionalna, medicinska i naučna oprema, elektronski uređaji, transportna postrojenja, transmisione linije, različiti tipovi osvetljenja, kao na primer LED osvetljenje i slično. Šum izazvan čovekovim uticajem može uticati na radarski prijemnik preko napojnih kablova, takozvanim konduktivnim putem. Međutim, zračenje se u prijemnik svakako može unositi preko prijemne antene, takozvanim radijacionim putem. Smetnje mogu generisati različita vozila za transport (automobili, vozovi, trolejbusi, podzemna železnica, električni vozovi), transmisione linije za struju visokih voltaža, razni ispravljači, inverteri, osvetljenja i slično.

Kod radio-interferencije se generišu smetnje na osnovnoj frekvenciji, međutim harmonici se javljaju, tako da ove smetnje mogu pokrivati velike frekvencijske opsege. Industrijski šum je svakako više izražen u gradovima nego u ruralnim područjima. U gradovima, nivo i spektar radio-smetnji konstantno varira, usled karakteristika i broja uređaja koji generišu smetnje. Stoga, ukoliko se instalira HF radar, bolje je instalaciju vršiti što dalje od gradova. Međutim, svakako se može desiti da se, ukoliko je neki tip industrijskog šuma velikog intenziteta, ovaj šum može prenositi i na duže distance koristeći jonosferu. Svakako, sa porastom radne frekvencije, nivo smetnji se smanjuje zbog propagacionih karakteristika radio-talasa.

Intenzitet industrijskog šuma opada sa porastom rastojanja od izvora. Na primer, nivo električnog polja E detektovanih smetnji u prijemniku, u jedinici V/m, na rastojanju R od uređaja koji generiše smetnju, može se predstaviti koristeći formulu (5.1) [80]:

$$E = 21 \frac{h_a}{R^2} \sqrt{P} \quad (5.1)$$

U ovoj formuli, h_a predstavlja visinu prijemne antene u metrima, dok P predstavlja snagu generatora smetnje u vatima. Ova formula se može primeniti za sledeći uslov: $0,1\lambda < R < 5\lambda$. Za rastojanja koja su manja od $0,1\lambda$ intenzitet polja opada proporcionalno sa $1/R^3$, dok je za rastojanja veća od pet talasnih dužina formula proporcionalna sa $1/R$ [80].

Industrijski šum zavisi od lokalnih uslova u brojnim slučajevima i uglavnom je veći u toku dana nego tokom noći. Industrijski šum se prostire ili putem transmisionih napojnih linija ili putem radio talasa i stoga je malo ili skoro uopšte nije zavisano od sezonskih varijacija. Po preporukama iz literature [80] ukoliko se prijemnik udalji od industrijskih centara od oko 30-60 kilometara, industrijski šum neće biti dominantan na HF opsegu.

5.4 Interferencije od drugih radio stanica

Interferencije koje generišu druge radio stanice imaju uzak spektar, jer tako ciljno radio stanica generiše spektar. Ovi tipovi interferencije, pogotovo u HF opsegu se obično karakterišu kao interferencije visokog nivoa. Koliko je jaka ovakva smetnja zavisi od radne frekvencije i propusnog opsega radio stanice, kao i kojom snagom se emituje predajni signal. U nekim slučajevima, čak i više radio-stanica mogu kreirati u isto vreme smetnje radarskom prijemniku. Svakako da i stanje u jonosferi utiče na intenzitet ovih smetnji. Takođe je bitno rastojanje radio-predajnika od radarskog sistema. Izvori ovih smetnji koje potiču od transivera mogu biti različiti: mobilne stanice, širokopojasne stanice, amaterske radio-stanice, a u dosta slučajeva i vojne radio-stanice koriste HF opseg.

Otežavajuća okolnost jeste što se deo energije kod radio-stanica zrači van predviđenog propusnog opsega i ovo se smatra nekorisnim signalom za sve učesnike, odnosno interferencija. Harmonici koji su umnoženi sa osnovnom frekvencijom, a to su uglavnom harmonici drugog i trećeg reda, mogu značajno uticati na radarske prijemnike [80].

6 BRODSKI KOMPLEKS I EFEKTIVNA RADARSKA POVRŠINA

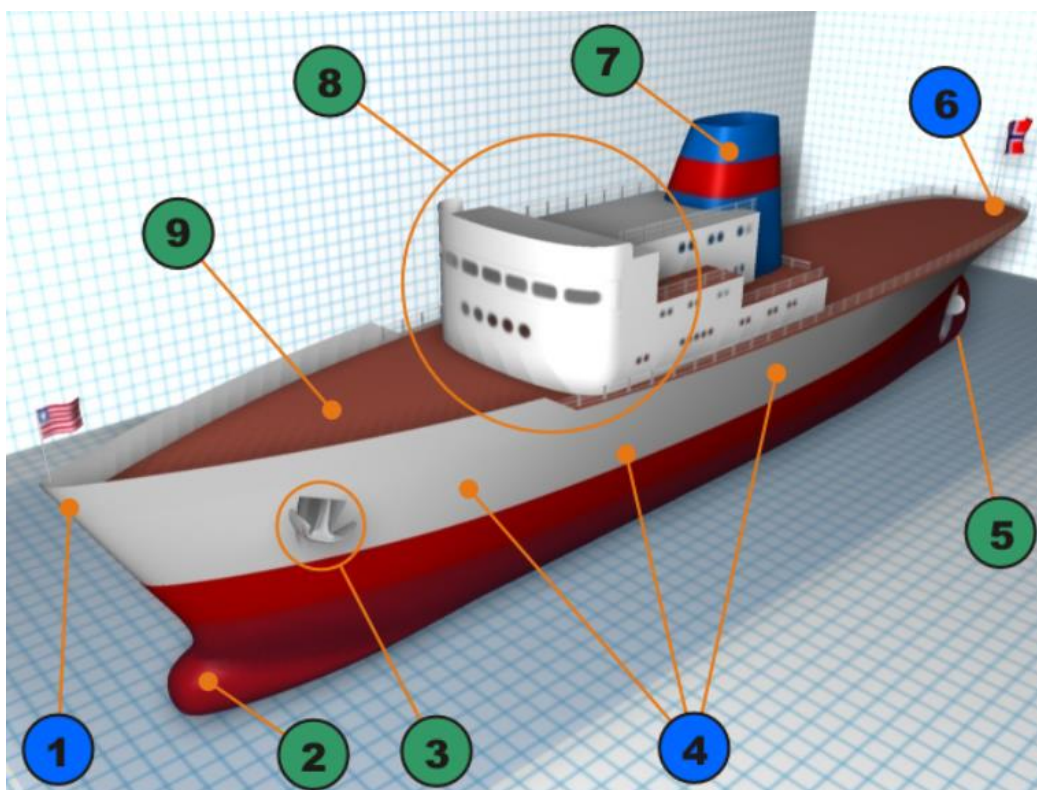
Kratkotalasni radar analiziran u ovoj disertaciji se koristi prvenstveno za detekciju brodova, stoga će u ovom poglavlju biti dat pregled osnovnih karakteristika broskog kompleksa i efektivne radarske površine radarskog cilja, što je u ovom slučaju brod. Pomorski brod je brod registrovan za plovidbu morem, čija baždarska dužina iznosi najmanje 12 m, a bruto tonaža najmanje 15 i koji prevozi najmanje 12 lica [82]. Brod predstavlja plovno sredstvo koje je sposobno da se kreće rekama, jezerima i morima od jednog mesta do drugog, uz pomoć vesala, neke mehaničke sprave, mašine ili jedara. Brod je sredstvo predviđeno za prevoz ljudi ili dobara, za ribolov, tegljenje, potiskivanje ili za neki drugi zadatak po unutrašnjim plovnim putevima (rekama, jezerima) ili po morima.

Prema nameni brodovi se dele na:

- trgovačke brodove - namenjeni za prevoz putnika i robe;
- teretne brodove - namenjeni prevozu isključivo raznih vrsta tereta;
- putničke brodove - namenjeni prevozu putnika;
- putničko-teretne brodove;
- ratne brodove - namenjeni su za pomorsko ratovanje i pomorske vojne operacije;
- specijalni brodovi - namenjeni za posebne poslove i zadatke - ribarski brodovi, tegljači, ledolomci, trajekti, jahte, jedrilice, brodovi-svetionici, brodovi za polaganje kablova, brodovi-dizalice i slično.

6.1 Konstrukcija broda

Savremen brod je kompleks koji čine sledeće grupe delova: trup broda, nadgrađe, ugradnja, glavno pogonsko postrojenje, propulziona sredstva, pomoćne mašine, uređaji i instalacije, sredstva za navigaciju i pokretna oprema. Može se reći da brod, koji obavlja svoju delatnost u veoma složenim i nestabilnim uslovima, predstavlja sintezu samostalne energetske centrale, mehanizovanih skladišta tereta i objekata za smeštaj i boravak brodske posade, kao i putnika. Osim toga, svaki brod je deo teritorije države čiju zastavu nosi.



Slika 6.1 Osnovne komponente broda [83]

Slika 6.1 prikazuje osnovne delove broda. U nastavku je opisano koji elementi na slici su označeni sa kojim brojevima.

1. Pramac, odnosno prednji deo broda;
2. Bulb namenjen za smanjivanje uticaja stvaranja talasa;
3. Sidro;
4. Trup broda koji se sastoji od kostura i oplata brodskog trupa;
5. Pogonski deo koji čine pogonsko postrojenje i propulzori;
6. Krma, odnosno zadnji deo broda;
7. Dimnjak;
8. Nadgrađe broda;
9. Paluba.

Osnovni brodski elementi su u nastavku teksta detaljnije objašnjeni.

- Trup – brodski trup je opterećen na savijanje pod dejstvom težinskih sila sa jedne strane i sila potiska i bočnog potiska vode sa druge strane. Trup se sastoji od kostura trupa, od oplata (obloga) dna, bokova i glavne palube. Pod glavnom palubom se podrazumeva gornja, završna i vodonepropusna oplata trupa, iznad koje nastaje nadgrađe. Kostur brodskog trupa daje brodu neophodnu prostornu čvrstoću i oblik, dok oplata obezbeđuje plovnost i mogućnost eksploatacije.
- Nadgrađe (nadgradnja, nadogradnja) – brodske prostorije, izgrađene iznad glavne palube i čvrsto sa njom spojene, čiji su bočni zidovi produžetak brodova trupa nazivaju se nadgrađem. Svakako da i nadgrađe dobrim delom pojačava čvrstoću brodskog trupa. Nadgrađe treba da obezbedi brodu mogućnost smeštaja posade i ostalih neophodnih prostorija kao i postavljanje svih obaveznih

navigacionih i sigurnosnih uređaja. Pri gradnji se najčešće primenjuju lake legure i materijali od plastičnih masa da bi, zbog stabilnosti, težište celog broskog kompleksa bilo što niže.

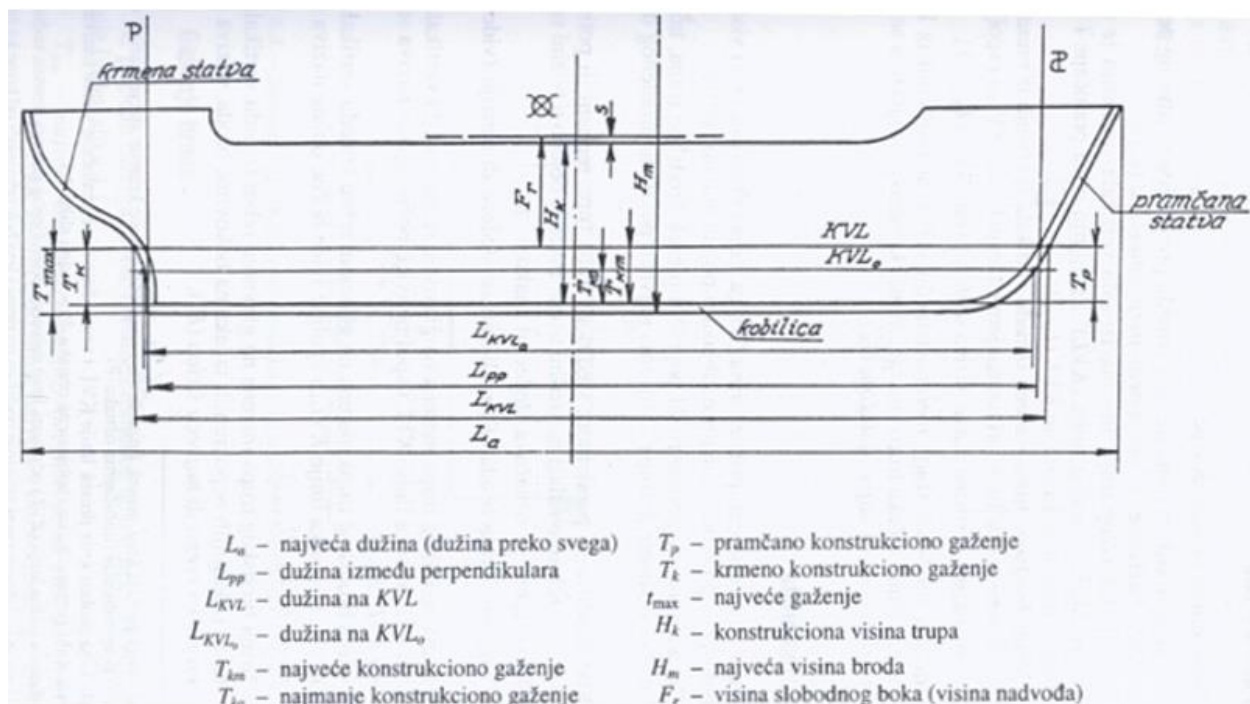
- Ugradnja – u ovu grupu spadaju svi delovi broskog trupa, pa i nadgrađe, koji se ne mogu nazvati konstruktivni, tj. ne primaju i ne prenose naprezanja kojima su trup i nadgrađe izloženi. U ovu grupu spadaju: unutrašnje obloge, podovi i tavanice, predgrađe prostorija (izuzev vodonepropusnih), čvrsto ugrađeni nameštaj i slično.
- Glavno pogonsko postrojenje – pod glavnim pogonskim postrojenjem podrazumeva se brodska energetska centrala sa mehaničkim uređajima koji omogućavaju ostvarenje osnovne namene plovnog objekta, a to je plovidba. Na primer:
 - kod parobroda: parni kotlovi, parna mašina, zatim vod vratila i propeler (vijak);
 - kod motornog broda: dizel motor, vod vratila i propeler (vijak);
 - kod plovnog bagera vedričara: dizel motor i venac vedara („kofa“) za kopanje;
 - kod ploveće dizalice: dizel motor, električni prenos (generator – elektromotor) i elektrovitlo za dizanje tereta, itd.
- Pomoćne mašine, uređaji i instalacije – pomoćne mašine dele se na dve velike grupe:
 - pomoćne mašine i uređaji mašinskog prostora – strojarnice (posebni energetske agregati za električnu energiju, za pritisak vazduha u kompresoru, protiv-požarna pumpa, pumpe za spasavanje u slučaju prodora vode i slično);
 - pomoćne mašine i uređaji palube (privezna i vučna vitla, krmilarski uređaj sa krmilarskim vodom i krmenim perom, zatim uređaji za spuštanje i dizanje čamaca za spasavanje i tako dalje).

U instalaciju spadaju: vodovodna, kanalizaciona, električna instalacija (jaka i slaba struja), instalacije za grejanje i provetranje – sa pripadajućim uređajima. Kada se govori o pokretnoj opremi, na brodu postoji više grupa pokretne opreme: navigaciona, bezbednosna, mašinska, kuhinjska i druge.

Osnovne veličine koje karakterišu broski kompleks su prikazane u nastavku:

- Sopstvena masa broda podrazumeva masu potpuno opremljenog broda izuzev: mase goriva, sanitarne, pitke i balastne vode, zalihe namirnica i mase posade sa njenim prtljagom. Ovako određenoj masi broda odgovara ravan najmanjeg gaženja. Sopstvena masa broda izražava se u tonama. Voda u kotlovima, ukoliko je u pitanju parni brod, računa se u sopstvenu masu broda.
- Deplasman podrazumeva masu potpuno opremljenog i natovarenog broda do ravni najvećeg dozvoljenog gaženja. Deplasman se izražava u tonama.
- Istisninu treba shvatiti kao da je brod utisnut u neku, na primer plastičnu masu do svoje linije najvećeg gaženja, tako da je u njoj ostavio otisak spoljnog oblika svog trupa. Da bi se taj otisak ispunio vodom, takvo vodno telo imalo bi svoj određen oblik, zapreminu i težište. Često se u praksi veličine deplasmana i istisnine identifikuju kao jedan pojam. Međutim, deplasman predstavlja masu i dimenziono se izražava u tonama, dok je istisnina zapremina koja se izražava u kubnim metrima. Gustina slatke (rečne) vode jeste 1 t/m^3 , dok je gustina slane (morske) vode $1,025 \text{ t/m}^3$. Deplasman se računa tako što se pomnoži istisnina vode i gustina vode. Ukoliko je brod u slatkoj vodi, onda je deplasman jednak istisnini, ali samo tada.
- Nosivost podrazumeva razliku između deplasmana i sopstvene mase broda. U pogledu nosivosti, kod svakog broda razlikuju se korisna i ukupna nosivost. U korisnu nosivost spadaju samo mase robe i putnika sa njihovim prtljagom (odnosno samo ona masa za koju se naplaćuje vozarina). Ukupna nosivost se dobija kada se korisnoj nosivosti dodaju mase zaliha goriva, zaliha vode i namirnica, mase posade sa prtljagom i slično. Ukupna nosivost se u pomorstvu označava i kao DWT (*Dead Weight*).

- Prostornost podrazumeva zapreminu svih brodskih zatvorenih prostorija izraženu u kubnim metrima (m^3). U pomorstvu zapremina se ranije izražavala i u registarskim tonama *RT*: 1 *RT* = 2,83 m^3 . Bruto prostornost predstavlja zapreminu svih brodarskih zatvorenih prostorija i ranije se izražavala u bruto registarskim tonama (*BRT*). Neto prostornost predstavlja zapreminu zatvorenih prostorija za smeštaj robe i putnika i ranije se izražavala u neto registarskim tonama (*NRT*).



Slika 6.2 Glavne brodske dimenzije [84]

Glavne brodske dimenzije čine dužina, širina, gaženje, visina i visina slobodnog boka. Slika 6.2 prikazuje i druge dimenzije. Savremeni brod treba da odgovara izvesnim zahtevima, tj. treba da ima sledeće tehničko-nautičke osobenosti:

- Plovnost – opšta sposobnost nekog tela da se pod dejstvom spoljnih sila može održavati na vodi;
- Nepotopivost – obezbeđuje se hermetičnošću spojeva oplata trupa i otvora na trupu, dvostrukim dnom, nepropusnim pregradama i pumpama za savlađivanje prodora vode;
- Stabilnost – sposobnost broda da se po prestanku dejstva spoljnih sila, koje bi izazvale njegovo nagnjanje, ponovo vrati u prvobitni (uspravan) položaj;
- Čvrstoća – sposobnost broskog trupa da se pod dejstvom spoljnih sila (težinskih sila i sila potiska) trajno ne deformiše, odnosno ne prelomi;
- Manevarske sposobnosti – od njih su najvažnije: održavanje kursa kada se krmeno pero nalazi u nultom položaju; brza i pravilna reakcija krmelog pera na odgovarajuće pokrete sa komandnog mosta.

Ove tehničko-nautičke osobine (koje su regulisane međunarodnim konvencijama) mora da ispunjava svaki brod bez obzira na njegovu namenu i ekonomičnost eksploatacije. Plovnost predstavlja opštu sposobnost nekog tela da se pod dejstvom spoljnih sila može održavati na vodi. Plovnost može biti:

- Bezuslovna – Kada je gustina materijala od koga se telo sastoji manja od gustine vode. U ovom slučaju telo pliva (na primer, drvo pluta). Ako se nasilno uroni u vodu, izroniće po prestanku dejstva sile koja je prouzrokovala uronjavanje;
- Uslovna – Uslovna plovnost je u slučaju kada je gustina materijala od koga se telo sastoji veća od gustine vode, pod uslovom da telo takvog oblika iziskuje zapreminu vode čija je masa jednaka sopstvenoj masi tela. Brodovi raspolažu uslovnom plovnošću;
- Negativna – u slučaju kada je gustina materijala od koga se telo sastoji veća od gustine vode, ali nije ispunjen prethodni uslov. U ovom slučaju telo tone;
- Telo je bez plovnosti – telo će biti bez plovnosti ako je ispunjen uslov da je gustina materijala od koje se telo sastoji ista kao i vode. U ovom slučaju će telo lebdeti u vodi, ma na kojoj dubini, jer ne postoji višak sile potiska (ili pritiska) koji bi telo izbacio na površinu (ili potopio do dna).

Na kraju, može se primeniti i Arhimedov zakon – težina broda jednaka je potisku vode, odnosno težini istisnute zapremine vode. Naginjanje broda po pramcu i krmi se zove posrtanje. Naginjanje sa boka na bok naziva se ljuljanje. Istovremeno posrtanje i ljuljanje broda naziva se takozvano valjanje broda [84].

6.2 Materijal za gradnju broskog trupa i nadgrađe broda

Prvobitni materijal za gradnju broskog trupa je drvo. Ono se i danas upotrebljava zbog svojih izvanrednih svojstava od kojih su najvažnija: mala gustina (zapreminska masa), elastičnost i laka obrada. U početku je drvo bilo isključivi materijal za gradnju broda, ali sa razvojem brodogradnje (a pogotovu sa porastom dimenzija broda) pojavila se potreba za iznalaženjem pogodnijeg materijala. Presudan je bio početak gradnje dužih brodova kod kojih se pojavljuju znatne teškoće prilikom primene drveta kao osnovnog materijala. Drvo je pogodno kod gradnje brodova najveće dužine između 60 i 80 metara. Međutim, kod brodova većih dužina, složenost drvenih spojeva kao i zahtevi čvrstoće nameću nesrazmerno veće dimenzije pojedinih elemenata tako da dolazi do jednog svojevrstnog paradoksa koji se sastoji u tome da veći brod srazmerno gubi u nosivosti zbog povećanja sopstvene mase. Zbog toga se granica zadržava na dužini od oko 80 metara. Takođe, drvo je nepovoljno za konstrukciju ratnih brodova, pa se primenom artiljerije prešlo prvo na spoljašnje opločenje broskog trupa metalnim pločama u cilju zaštite a zatim i na izgradnju metalnih brodova. Danas se drvo upotrebljava kao osnovni brodograđevinski materijal jedino za manje brodske jedinice, kao na primer: čamce, jahte i tako dalje.

Od metala, najčešći brodograđevinski materijal je čelik jačine na kidanje 400–500 N/mm². Za izuzetno opterećene delove broskog trupa upotrebljavaju se razni legirani čelici. Za gradnju broskog trupa upotrebljavaju se čelični limovi i profili različitih dimenzija. Čelik, kao brodograđevinski materijal, pored čvrstoće mora da zadovolji i ostale uslove istežanja, savijanja, elastičnosti i tvrdoće. U poslednje vreme, sa sve većom primenom zavarenih konstrukcija, poklanja se velika pažnja hemijskom sastavu čelika koji omogućava kvalitetno zavarivanje.

Zbog svojih osnovnih svojstava (mala gustina) i samozaštite od korozije, aluminijum sve više dobija na primeni kod gradnje brodova. Međutim, brodski trup od aluminijuma još uvek se izrađuje za male plovne jedinice ili za plovne jedinice kod kojih je presudna mala sopstvena masa. Nasuprot tome, aluminijum se sve više primenjuje kao materijal za izradu nadgrađa, čime se pored uštede u masi celog broda dobija i u stabilitetu. Plastične mase se za sada primenjuju jedino za gradnju trupa kod malih sportskih plovila. Tokom Drugog svetskog rata se za gradnju trupa brodova bez sopstvenog pogona upotrebljavao i armirani beton (zbog nedostataka drugih materijala). Međutim, i danas se ispituje

mogućnost izrade plovnih objekata od ovog materijala (uglavnom zbog niske cene izrade i nižih troškova održavanja).

6.2.1 Materijal za ugradnju

Pod ugradnjom se podrazumevaju svi delovi na i u brodu koji ne doprinose povećanju čvrstoće broda, kao što su unutrašnje obloge, plafoni, podovi, čvrsto ugrađeni nameštaj i slično. Još i sada se drvo veoma često primenjuje, naročito kod teretnih brodova, jer se veoma lako obrađuje i ugrađuje, a i lako se zamenjuje. Aluminiyum i njegove legure se često primenjuju uglavnom zbog toga što su veoma laki, pogodni za održavanje i što zadovoljavaju estetske i higijenske uslove. Plastične mase se sve više primenjuju kao materijal za ugrađivanje u brodske prostore, gde uspešno zamenjuju drvo a istovremeno nisu zapaljive. Pored navedenih materijala, upotrebljavaju se i staklo, kao i obojeni metali, što zavisi od potreba, kao i od namena broda.

6.2.2 Osobnosti pojedinih brodograđevinskih materijala

Drvo – za gradnju broskog trupa se upotrebljavaju razne vrste tvrdog drveta, dok se za ugradnju može upotrebiti i meko drvo. Postoje posebni propisi o obaveznim karakteristikama primenjenog drveta. Dobre osobine drveta su: mala gustina, relativno dobra čvrstoća, velika elastičnost i savitljivost, laka obrada i izrada pojedinih delova. Nepovoljne osobine su: laka zapaljivost, kratak vek trajanja, komplikovanost konstrukcija i spojeva kod većih objekata.

Čelik – dobre osobine su: velika čvrstoća, dobra savitljivost i elastičnost, znatno duži vek trajanja, kao i mogućnost zavarivanja. Takođe, ne postavlja se nikakav ozbiljniji problem pri izradi i najvećih čeličnih brodova. Nepovoljne osobine čelika su: velika gustina, čelik zahteva stalnu zaštitu od korozije, izrada čeličnih brodova omogućena je jedino u brodogradilištima.

Aluminiyum – glavna prednost aluminijuma (i njegovih legura) je u znatnoj manjoj gustini od čelika kao i u sposobnosti da ne korodira. Međutim, čvrstoća aluminijuma je znatno manja. Aluminiyum se često upotrebljava kao tanka obloga čeličnih delova (u cilju zaštite od korozije) što se najpovoljnije ostvaruje metaliziranjem.

Armirani beton – veoma je laka i jeftina izrada betona i pri tome se može dobiti svaki željeni oblik i veoma glatka površina. Međutim, armirani beton ima nesrazmerno veliku gustinu, nije elastičan i jako je osetljiv na udarce i vibracije.

Plastične mase – veoma su pogodne za sve elemente koji se ugrađuju i po želji mogu da se izvode sa svim potrebnim osobinama u pogledu elastičnosti, tvrdoće i tako dalje. Vrlo lako se obrađuju a još lakše održavaju. Mogu da se rade u svim bojama. Dobri su izolatori toplote i zvuka. U poslednje vreme se čitavi elementi za ugradnju izrađuju od plastičnih masa (obloge zidova, pregrade i slično). Nažalost, još se ne upotrebljavaju kao osnovni materijal za izgradnju broskog trupa, osim za manje plovne jedinice [84].

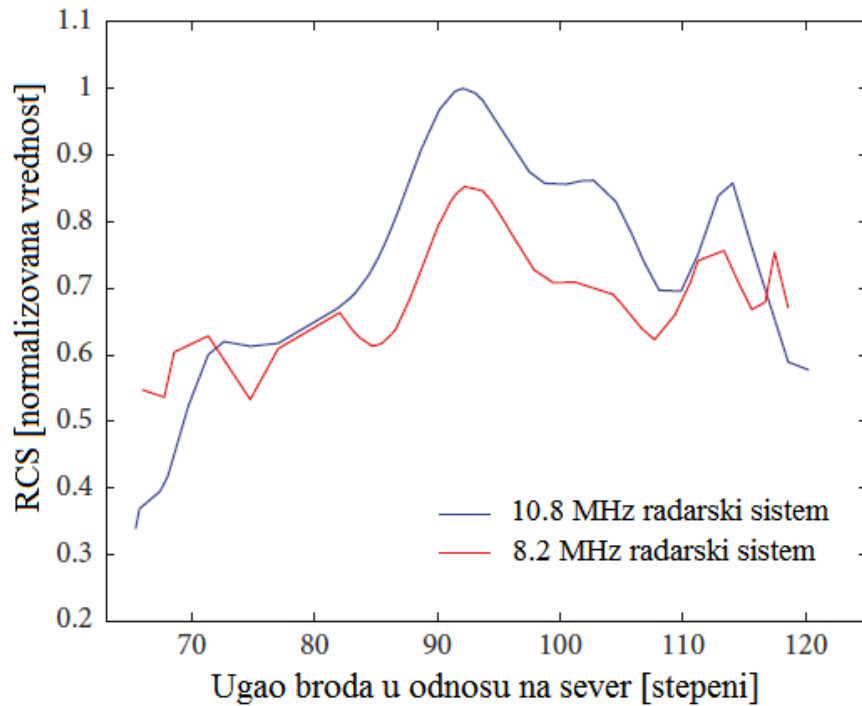
6.3 Refleksija elektromagnetnih talasa od efektivne površine broda na moru

Kada radar detektuje metu od interesa, na primer brod, on to ostvaruje zahvaljujući eho signalu. Echo prijemnog signala svakako zavisi od veličine broda, oblika i orijentacije u odnosu na radar. Zbog toga se radarski cilj, odnosno brod koji radar vidi, opisuje kao radarska efektivna površina RCS. Jedan od ključnih parametara u radarskim jednačinama koji opisuje performanse prijemnog signala je RCS. Ovaj parametar predstavlja projektovanu površinu koja vraća eho signal od broda, a koja se može zameniti sa odgovarajućom sferom. Može se reći da RCS odgovara poprečnom preseku sfere idealno provodnog materijala koji odražava elektromagnetno polje u istom iznosu kao i radarska meta. Međutim, za razliku od eha sfere koja je nezavisna od ugla, eho realnog radarskog cilja zavisi od orijentacije u odnosu na radar. Svakako, eho signala izrazito zavisi od veličine i prirode površine mete koja je izložena radarskom snopu zračenja. Varijacije su male za male mete (mete koje su manje u odnosu na talasnu dužinu). U električnom pogledu, pod radarskim ciljem podrazumeva se svaki diskontinuitet (nagla promena) električnih i magnetskih osobina sredine u kojoj se prostiru elektromagnetski talasi emitovani iz radarskog predajnika. Na površini diskontinuiteta indukovaće se struje koje postaju izvor sekundarnog zračenja. Drugim rečima, cilj kada se nađe u zoni zračenja radarskog predajnika ponaša se kao izvor sekundarnog zračenja (odnosno kao antena), koji energiju primljenu iz jednog pravca delom apsorbuje a delom ponovo zrači u svim pravcima (rasipa). Ukoliko se želi detektovati brod, RCS broda mora biti veći od okeanskog klatera. Međutim, kada se govori o kratkotalasnim radarima i velikim brodovima (većim od hiljadu tona) pokazano je da se RCS može aproksimirati empirijskom formulom (6.1) [85]:

$$\sigma = 52fD^{3/2} [m^2] \quad (6.1)$$

U ovoj formuli, σ predstavlja RCS broda u slobodnom prostoru, f predstavlja frekvenciju radara u MHz, dok D predstavlja deplasman broda u kilotonama. Ovo je gruba formula, međutim ona ne uzima u obzir visinu brodova, kao na primer koliko je nadgrađe, što svakako utiče na nivo reflektovanog eho signala.

RCS malih brodova dominira u prisustvu vertikalnih metalnih struktura brodova. Metalne strukture će proizvesti dodatne efekte koji imaju za posledicu veće pikove RCS vrednosti. Manji brodovi koji nemaju vertikalne strukture će imati veoma mali RCS i oni za radar moraju da se izdvoje iz šuma okoline. Ovo zahteva da brod mora da ima radijalnu brzinu dovoljno veliku tako da se Doplerov pomeraj koji radar detektuje od te mete izdvoji iz okeanskog klatera [86]. Autori rada [85] su analizirali za dva kratkotalasna radara koji rade na različitim frekvencijama kako će se RCS manifestovati na obadva radara. Za istraživanja su uzeli jedan veliki brod, koji ima dužinu 247 metara i širinu 42 metara. Razmatrano je kako će se menjati RCS prilikom različitog ugla u odnosu na radarsku lokaciju. Za verifikaciju ugla broda korišćeni su AIS (*Automatic Identification System*) podaci. Jedan radarski sistem je radio na 10,8 MHz, dok je drugi radio na 8,2 MHz. Predajna snaga korišćena za ova istraživanja je bila 300 W. Ova istraživanja su sprovedena na teritoriji EEZ Narodne Republike Kine. Slika 6.3 prikazuje vezu između RCS-a i promene ugla broda u odnosu za radar, za dva kratkotalasna radara koji rade na dve različite frekvencije. Vrednosti RCS-a su normalizovane zbog poređenja, gde je njihova maksimalna vrednost 1. Promene RCS-a su uglavnom slične, ali ne uvek.



Slika 6.3 RCS za dva radarska sistema koji rade na dva različita frekventijska opsega i posmatraju jedan brod [85]

Slika 6.4 prikazuje kako je izgledao ovaj brod u opisanim istraživanjima.



Slika 6.4 Brod koji je korišćen za ispitivanja RCS-a [87]

Teoretski, jednačina za prijemni signal kratkotalasnog radara glasi [85]:

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \sigma F^4 \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4 L_s} \quad (6.2)$$

Jednačina (6.2) predstavlja pojednostavljeni oblik jednačine (4.1). U jednačini (6.2) R predstavlja rastojanje radara do mete, P_t predstavlja srednju predajnu snagu, G_t predstavlja dobitak predajne antene, G_r predstavlja dobitak prijemne antene, σ je RCS, F predstavlja Nortonov faktor slabljenja usled propagacije elektromagnetnog talasa, λ je talasna dužina elektromagnetnog talasa, a L_s predstavlja faktor sistemskih gubitaka. Ukoliko kratkotalasni radar radi u normalnom, nepromenljivom režimu, P_t , G_t , G_r i L_s se mogu posmatrati kao konstante. U ovom slučaju, jednačina (6.2) se može napisati i kao [85]:

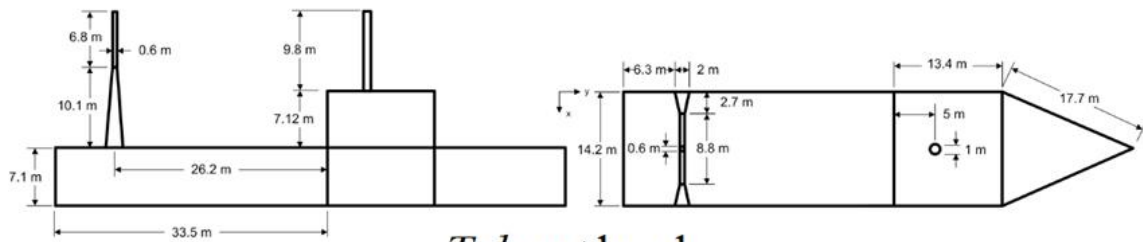
$$\sigma = C \frac{R^4}{F^4 \lambda^2} P_r \quad (6.3)$$

U jednačini (6.3) konstanta C se može predstaviti preko formule (6.4) [85]:

$$C = \frac{(4\pi)^3 L_s}{P_t G_r G_r} \quad (6.4)$$

Faktor slabljenja F zavisi od frekvencije, polarizacije, propagacionog puta, refleksije od okeanske površine i drugih faktora [85]. Iz formule (6.3) se može videti da će za više frekvencije RCS biti veći, što su istraživanja i pokazala u radu [85].

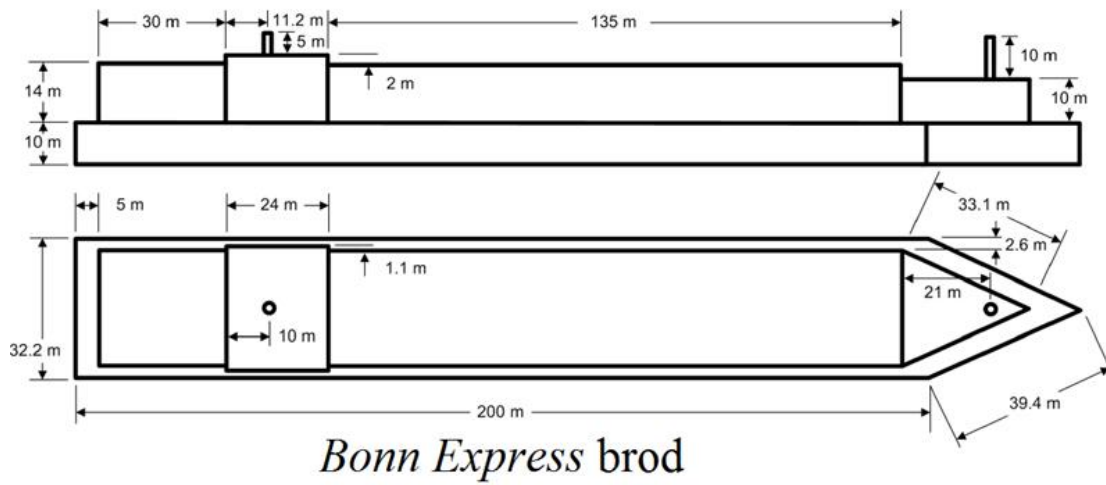
Prethodno pomenuto istraživanje [85] nije jedino vezano za RCS koje se sprovodilo za namensku detekciju brodova koristeći kratkotalasne radare. Primera radi, u literaturi [88], u Kanadi, dva broda su se koristila kako bi se izmerio RCS: *Teloest* (Slika 6.5 - 2405 tona brod) i *Bonn Express* (Slika 6.6 – 36.000 tona brod). Kratkotalasni radarski sistem za ova istraživanja se nalazio u *Cape Race*-u, *Newfoundland* u Kanadi.



Teleost brod

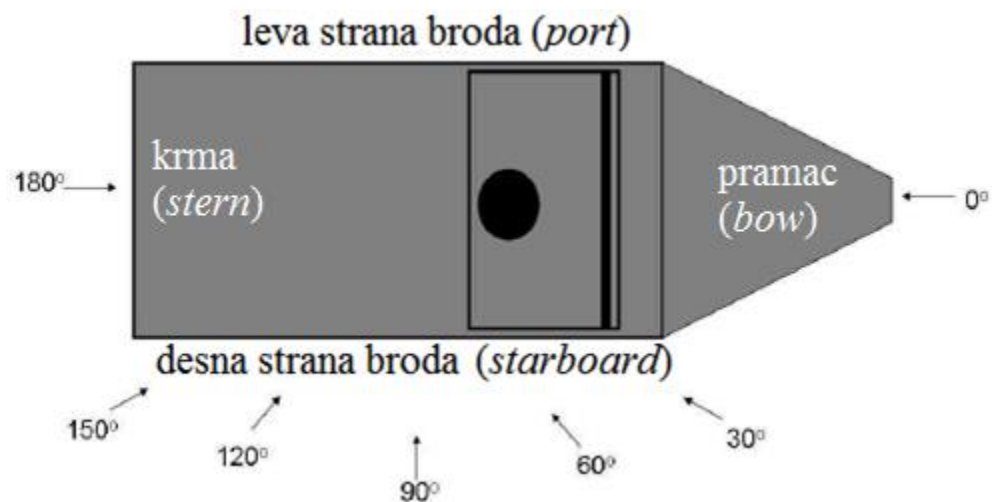


Slika 6.5 Dimenzije i izgled Teleost broda [88]



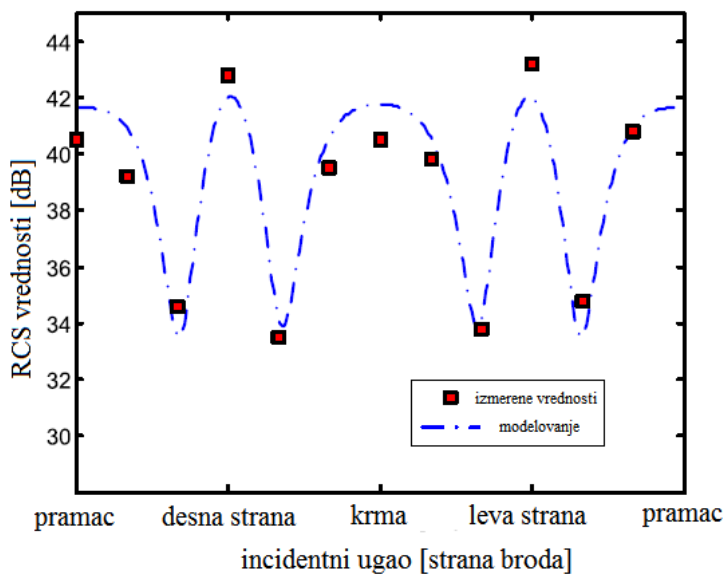
Slika 6.6 Dimenzije i izgled Bonn Express broda [88]

Merenja RCS-a su vršena na svakih 30 stepeni, počevši od pramca, preko leve strane broda, do krme (Slika 6.7).

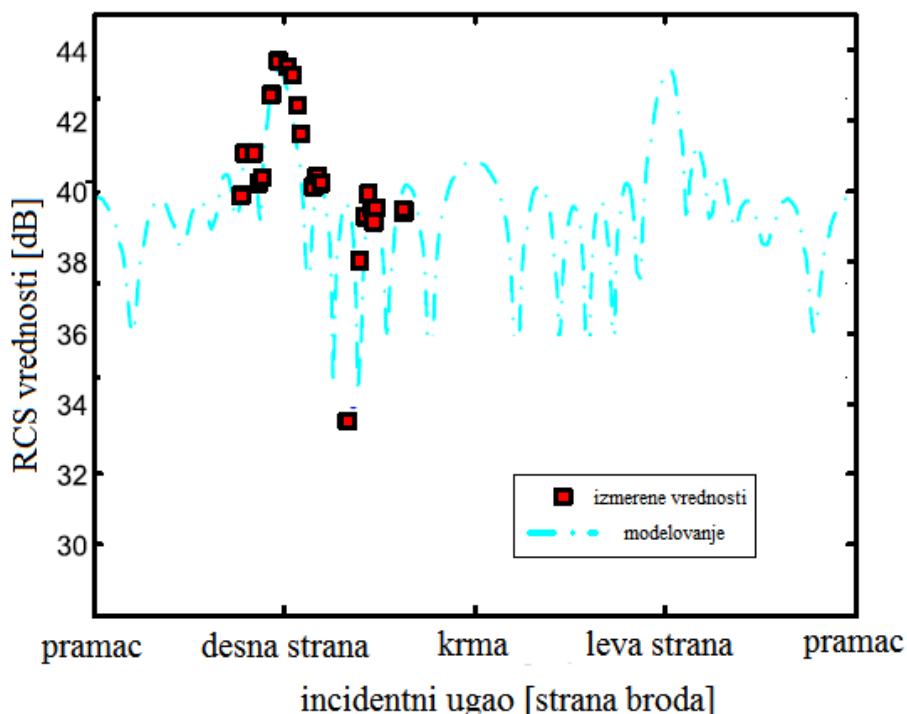


Slika 6.7 Prikaz iz ptičije perspektive broda i uglova posmatranja za potrebe analiziranja i merenja RCS-a [88]

Kratkotalasni radar za potrebe ovih istraživanja je radio na frekvenciji od 4,1 MHz. Kako su se u ovim istraživanjima vršila praktična merenja i modelovanja za ova dva broda, Slika 6.8 i Slika 6.9 prikazuju teoretske i praktične rezultate.



Slika 6.8 Poređenje izmerenih i modelovanih vrednosti Teleost broda za kratkotalasni radar frekvencije 4,1 MHz [88]

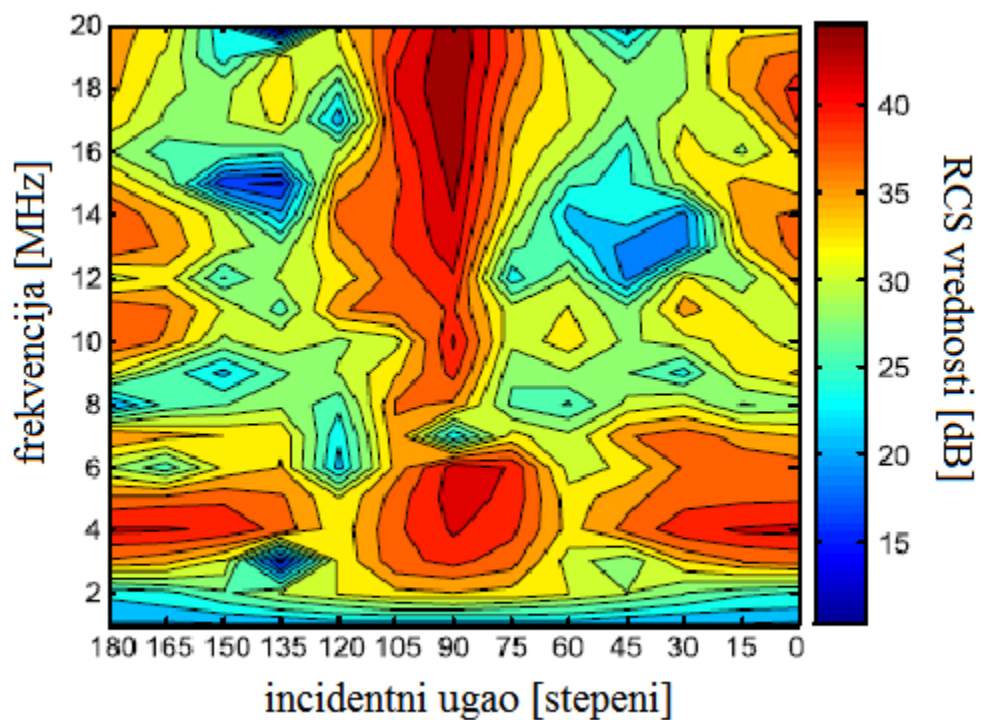


Slika 6.9 Poređenje izmerenih i modelovanih vrednosti Bonn Express broda za kratkotalasni radar frekvencije 4,1 MHz [88]

Kao što se može primetiti iz prethodnog teksta, RCS se može izraziti u kvadratnim metrima, a može i u decibelima. Formula (6.5) prikazuje na koji način se ova konverzija može izvršiti.

$$\text{RCS [dB]} = 10 \log \left(\frac{\text{RCS [m}^2\text{]}}{1 \text{ [m}^2\text{]}} \right) \quad (6.5)$$

Kao što je već prikazano formulom (6.3), za različite vrednosti talasne dužine, različite su vrednosti RCS-a. U radu [88] su takođe izvršene simulacije kako će izgledati RCS za brod *Teleost*, na različitim frekvencijama (Slika 6.10). Sa ove slike se može videti da su za više frekvencije veće vrednosti RCS-a, ali i da su najveće vrednosti kada se elektromagnetni talas reflektuje sa strane (incidentni ugao od 90 stepeni – najveća efektivna površina).



Slika 6.10 Simulacioni rezultati RCS-a za Teleost brod za frekvencije od 1 do 20 MHz [88]

Postoji još literatura koje se bave analizom RCS-a kod kratkotalasnih radara, kao što su na primer radovi [89] i [90], što nedvosmisleno pokazuje važnost analize ovog parametra kod detekcije brodova korišćenjem kratkotalasnih radara.

7 DOBIJANJE MERNIH VREDNOSTI LED SMETNJI EKSPERIMENTALNIM PUTEM

U ovom poglavlju biće objašnjeno kako su eksperimentalna istraživanja sprovedena za potrebe ove disertacije, kako bi se dobili reprezentativni podaci za kasniju analizu. Istraživanja su prvo rađena u laboratoriji za elektromagnetnu kompatibilnost Vojno-tehničkog instituta u Beogradu. Ova laboratorija predstavlja polu-anehoičnu sobu i ovde su se vršila testiranja prema ITU i CISPR standardima za različite tipove LED osvetljenja. Nakon ovih istraživanja, podaci su prikupljeni i van laboratorije, na teritoriji afričkog kontinenta, gde se takođe nekoliko različitih slučajeva analiziralo, kako bi se došlo do relevantnih zaključaka o LED radijacionim smetnjama. Ova istraživanja su sprovedena na operativnoj kratkotalasnoj radarskoj lokaciji koja se nalazi na zapadnoj obali afričkog kontinenta, odakle su i prikupljeni merni podaci. RD slika je dobijena sa ovih radarskih lokacija za različita doba dana, kao i godišnjih doba.

7.1 Eksperimentalno istraživanje u laboratorijski-kontrolisanim uslovima

Istraživanja o radijacionom LED šumu su prvo sprovedena u laboratoriji Vojno-tehničkog instituta. Ova istraživanja su sprovedena u laboratorijski-kontrolisanim uslovima jer je od velike važnosti bilo utvrditi nivo elektromagnetnih smetnji na HF opsegu od LED osvetljenja, jer u dostupnim referencama ova problematika nije dovoljno istražena. Osnovna prepreka izvođenja ispitivanja u spoljašnjoj sredini jeste uticaj okolne sredine na merene rezultate. Različiti tipovi smetnji mogu biti prisutni, kao što su atmosferske smetnje, drugi radio-uređaji, smetnje od drugih električnih uređaja u okolini i slično. Iz ovih razloga specijalizovani zatvoreni prostor, odnosno u ovom slučaju polu-anehoična soba ima za cilj da eliminiše ove neželjene efekte.

Polu-anehoična komora koja se koristila za ispitivanje u ovoj disertaciji je zatvorena i elektromagnetski izolovana prostorija i u nju je smeštena merna antena, kao i uređaji, odnosno LED osvetljenje koje se testiralo. U cilju značajnog smanjenja uticaja reflektovanih elektromagnetnih talasa unutar laboratorije, čime se može ugroziti tačnost merenja, unutrašnji zidovi komore se oblažu specijalnim materijalom koji ima izraženo apsorbujuće svojstvo pri kontaktu sa radio-talasima. Anehoične komore mogu da imaju različitu geometriju, međutim najčešće se koristi pravougaona komora, što je bio slučaj i u ovim istraživanjima. Laboratorija korišćena u ovim istraživanjima nije imala izolovan pod, pa se zbog toga i naziva polu-anehoična soba. Slika 7.1 prikazuje izgled sobe u kojoj su se vršila pomenuta istraživanja.

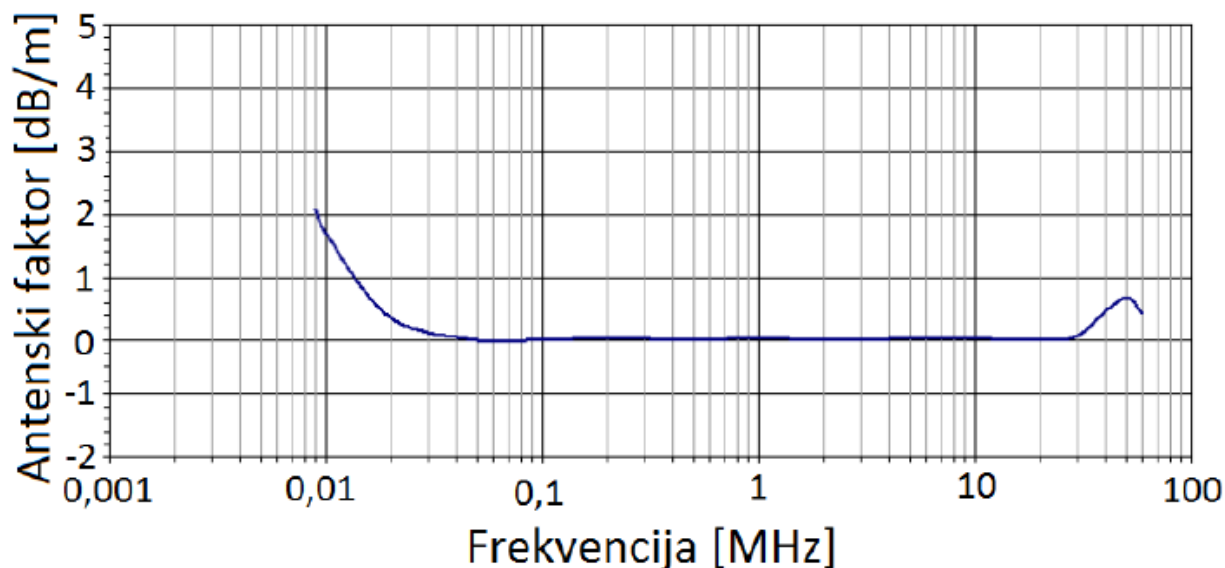


Slika 7.1 Polu-anehoična soba u kojoj su se vršila ispitivanja radijacionog LED šuma

Radio apsorbujući materijal (RAM materijal) koji apsorbuje elektromagnetne talase se obično pravi od feritnog materijala, dok se za učestanosti koje su preko 100 MHz tipično prave od poliuretanske pene koja je impregnirana karbonskim vlaknima. Tipična fizička realizacija RAM elemenata u anehoičnim sobama ima oblik piramidalnih šiljaka sa kvadratnom osnovom. Više šiljaka se sa svojom osnovom pričvršćuje za kvadratnu ploču od istog materijala. Generalno je pravilo da RAM elementi pokazuju dobre performanse u slabljenju refleksije za elektromagnetne talase čija je talasna dužina manja od visine piramidalnih šiljaka. Kako su ova istraživanja vršena na HF opsegu, to označava da apsorpciona svojstva nisu savršena, međutim dovoljno su dobra za dobijanje rezultata merenja. Ovi RAM elementi se na kraju montiraju na metalnu površinu unutrašnjih zidova komore, u najvećem slučaju lepljenjem pomoću adhezivnog lepka niske relativne dielektrične konstante. Osnovna ideja prilikom konstrukcije i ugradnje RAM elemenata jeste da se eliminiše ili u slučaju rada na HF opsegu u ispitivanoj laboratoriji, dovoljno smanji efekat refleksije od zidova komore. Slika 7.1 takođe prikazuje drveni sto na koji se postavlja oprema koja se testira EUT (*Equipment Under Testing*). Sto je od drvenog neprovodnog materijala.

Uređaj za napajanje LED osvetljenja je bio LISN, koji je takođe poznat i kao AMN. LISN osigurava da EUT, odnosno u ovom slučaju LED oprema dobija ispravno, kontrolisano napajanje, stoga minimizuje potencijalne efekte usled eksternih smetnji koji se mogu konduktivnim putem preneti na merni sistem i zahvaljujući tome obezbeđuje precizne i ponovljive rezultate.

Prijemna antena za ova merenja je bila aktivna monopol prijemna antena SAS-550-1B. Ova antena ima omni-direkcionni snop zračenja, 50Ω impedansu, BNC konektor i antenski faktor 0 dB za HF opseg. Slika 7.2 prikazuje kako izgleda grafik antenskog faktora ove antene.



Slika 7.2 Antenski faktor merne antene SAS-550-1B [91]

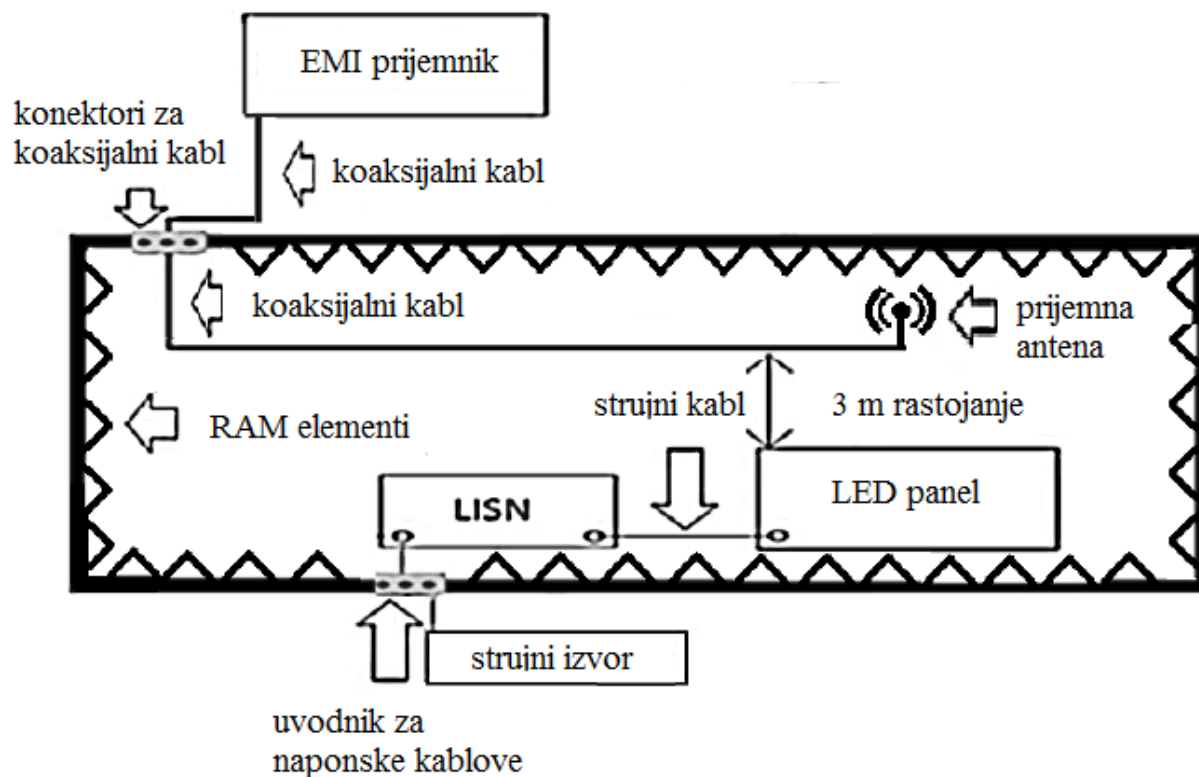
U formuli (3.14) koju daje ITU za nivo električnog polja nisu uzeti u obzir gubici u kablju, kao i pojačanje predpojačavača. Svakako se i ovi parametri trebaju uzeti u obzir, pa stoga formula (7.1) uzima u obzir i ove parametre:

$$E = R - P + L + AF \quad (7.1)$$

U formuli (7.1) parametri su:

- E - nivo električnog polja u ($\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$);
- R - očitana voltaža u prijemniku ($\text{dB}\mu\text{V}$);
- P – pojačanje predpojačavača (dB);
- L - gubici u kablju;
- AF – faktor antene.

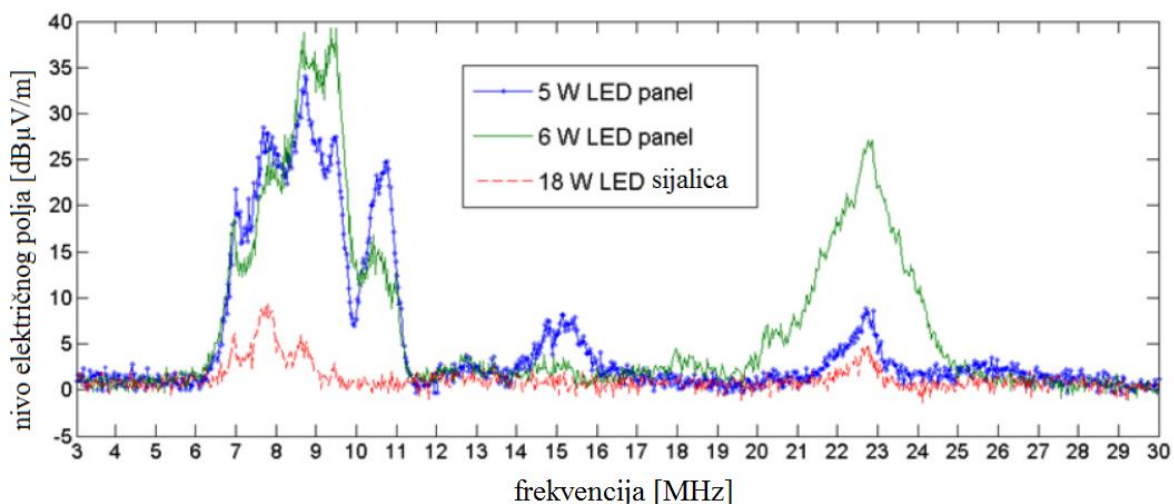
Kako se radi na HF opsegu, a koaksijalni kabl ima malu dužinu, gubici u koaksijalnom kablju za ova istraživanja se mogu zanemariti. Analizator spektra koji je korišćen u ovim istraživanjima je *EMI Receiver Keysight N9038A*. Slika 7.3 prikazuje šemu mernog okruženja koja su sprovedena u laboratoriji elektromagnetne kompatibilnosti.



Slika 7.3 Šema mernog okruženja u laboratoriji [41]

Kao što se može primetiti, rastojanje LED uređaja do prijemne antene je 3 m. Standard CISPR predviđa da se merenja vrše na rastojanjima od 3 i 10 metara, ali s obzirom na ograničene fizičke dimenzije laboratorije, merenja su u ovom eksperimentu obavljena samo na rastojanju od 3 m.

U ovim istraživanjima nekoliko različitih LED panela i sijalica je korišćeno, različitih snaga i proizvođača. Međutim, Slika 7.4 prikazuje tri reprezentativna primera: dva LED panela od različitih proizvođača koji imaju različite snage i jedna LED sijalica.



Slika 7.4 Nivo radijacionog šuma dobijen u laboratorijskim uslovima za dva LED panela i jednu LED sijalicu [41]

Slika 7.4 prikazuje da je najveći nivo smetnji dobijen od LED panela sa 6 W snage, zatim je pokazano da manji nivo radijacionih smetnji emituje LED panel snage 5 W, a na kraju je najmanji intenzitet zračenja koji emituje LED sijalica snage 18 W. Svakako se dolazi do zaključka da, što je LED panel veće snage, to su izraženije smetnje. Međutim, sijalica ima veću snagu nego i jedan i drugi panel, pa ipak ima manji nivo izraženih smetnji. Razlog leži u tome zato što su LED paneli pravljeni da mogu da rade u širokom opsegu ulaznih voltaža, tačnije 100-240 V, dok LED sijalica pokriva ulazne voltaže od 220-240 V. Kao što je već naglašeno, za uži opseg ulaznog napona, jednostavnije je i jeftinije napraviti kvalitetniji LED drajver koji suzbija harmonijska izobličenja i samim tim održava visok faktor snage. Međutim, kada se drajveri prave za šire naponske opsege za različita tržišta, performanse su slabije i harmonici su izraženiji, što uzrokuje interferenciju za telekomunikacione uređaje u okolini.

Iz ovih istraživanja se jasno može primetiti da, kada se posmatra HF opseg, najintenzivnije smetnje su u dva opsega frekvencija: od 6 do 12 MHz i od 21 do 25 MHz, a takođe se može primetiti da se za LED panel od 6 W nivo šuma može podići i do 40 dB, što značajno može degradirati performanse telekomunikacionih uređaja u blizini.

Iako međunarodni standardi ne predviđaju upotrebu spektrograma u dobijanju mernih rezultata, neki istraživači u svojim radovima su koristili spektrogram da bi prikazali merne rezultate svojih istraživanja, gde je jedan od brojnih primera rad [92], pa su stoga rezultati radijacionih zračenja napravljeni i prikazani takođe u formatu spektrograma. Prikaz rezultata spektrogramom ima prednosti zato što amplituda ili snaga određenog signala (bilo da je to deterministički signal ili neki slučajni) ne daje indikacije kako se frekvencijski sadržaj signala menja sa vremenom. Ova informacija je bitna za nestacionarne signale. Vremensko-frekvencijska analiza signala ima svoje prednosti. Kod ovakve analize, u spektrogramu se mogu tražiti jedinstveni potpis koji se javlja u spektru, na osnovu koga se mogu klasifikovati određene pojave. Preko vizuelne inspekcije spektrograma jasno se vidi da je veliki deo informacija sadržan u vremensko-frekvencijskoj reprezentaciji. Spektrogrami su korisni dijagnostički alati zato što omogućavaju poboljšano razumevanje neželjenih smetnji i generalno mnogih drugih signala. Za razliku od limita specificiranih EMC (*Electromagnetic Compatibility*) standardima koji prave referencu na graficima gde su prikazani amplituda i vreme ili u drugom slučaju amplituda i frekvencija, spektrogram omogućava korisnicima da analiziraju ponašanje neželjenih signala u

vremenskom i frekvencijskom domenu na istom dijagramu i time se mogu dobiti bolji zaključci o samoj smetnji. Neželjeni signali koje generišu određeni izvori mogu biti kvazi-stacionarni: to znači da su njihovi parametri, kao što su amplituda, dominantna frekvencija i inicijalna faza vremenski promenljivi.

Brza Furijeova transformacija STFT (*Short-Time Fourier Transform*) može se upotrebiti da bi se odredile lokalne sekcije signala i njegove primene tokom vremena. Procedura proračuna STFT-a je u podeli signala na kraće segmente i onda se računa Furijeova transformacija na svaki segment pojedinačno [93]. Umesto procesuiranja čitavog signala odjednom, STFT računa Furijeovu transformaciju po osnovi „blok po blok” [93]. Konvencionalni vremenski prozor spektrograma $S_{rv}(t_i, f)$ signala $x(t)$ se može predstaviti formulom (7.2) [93]:

$$S_{rv}(t_i, f) = \left| \int_{-\infty}^{\infty} x(t)w(t - t_i)e^{-j2\pi f t} dt \right|^2 \quad (7.2)$$

U formuli (7.2) $w(t)$ je prozorska funkcija za lokalnu spektralnu analizu. Prozor će biti dovoljno uzak da obezbedi da deo signala u tom uskom delu bude stacionaran [93].

Ključna prednost STFT-a jeste u tome što se u isto vreme može analizirati smetnja u frekvencijskom i vremenskom domenu. Spektrogram omogućava pronalaženje skrivenih detalja signala, kao što je na primer periodičnost povremenih signala, koji pomažu da se okarakteriše neželjena emisija. U praksi, STFT se uglavnom proračunava u diskretnom vremenskom domenu sa diskretnom vremenskom Furijeovom transformacijom DFT (*Discrete Fourier Transform*). Jedan od ključnih problema kod STFT-a je lokalizovanje merenog signala u frekvencijskom i vremenskom domenu: teško je postići zadovoljavajuću rezoluciju u oba domena zato što je teško pronaći odgovarajuću veličinu prozora. Ukoliko se DFT koristi u spektralnoj analizi, spektralna rezolucija Δf_d se može predstaviti formulom (7.3) [93]:

$$\Delta f_d = \frac{f_s}{N} \quad (7.3)$$

U formuli (7.3), N predstavlja širinu prozora, a f_s brzinu odabiranja u digitalnom domenu. S obzirom na to da je spektrogram nacrtan tokom vremena, dužina prozora N takođe utiče na vremensku rezoluciju. Rezolucija po vremenu u konvencionalnom spektrogramu se može predstaviti formulom (7.4) [93]:

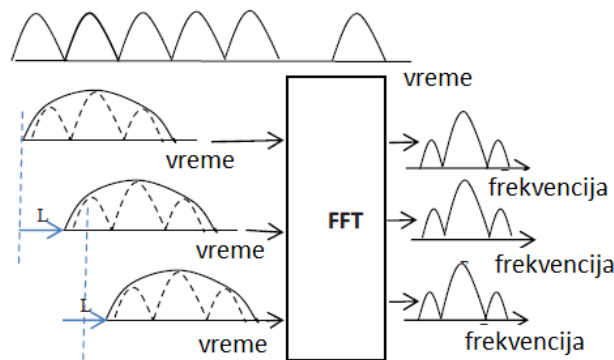
$$\Delta t = \frac{N}{f_s} \quad (7.4)$$

Ovo vodi ka boljoj rezoluciji po vremenu za kraći prozor, ali siromašnijoj frekvencijskoj rezoluciji i obrnuto [93]. Zbog ovoga se kompromis uvek mora napraviti: mora se obaviti analiza i sa širokom i sa uskom veličinom prozora, kako bi se postigla odgovarajuća vremenska, odnosno frekvencijska rezolucija. To znači da je za signale koji se brzo menjaju u vremenu potrebno koristiti kraći vremenski prozor, odnosno širi frekvencijski prozor jer je tada potrebna bolja vremenska rezolucija. Obrnuto, ukoliko se koristi širok vremenski prozor, što odgovara malom frekvencijskom prozoru, tada se dobija dobra frekvencijska rezolucija i ovo se može iskoristiti za spektralnu analizu kod smetnji koje su uskog frekvencijskog opsega. Takođe treba uzeti u obzir kakav prozor se može koristiti.

Veza između uzoraka koji su procesuirani sa pojedinačnom FFT i između broja odabiraka gde se pomeranje prozora dešava naziva se faktor preklapanja O_f . Broj FFT kalkulacija N_0 koje moraju da budu izvedene za N uzoraka se opisuje preko formule (7.5) [22]:

$$N_0 = \frac{1}{1-O_f} \quad (7.5)$$

Kod spektrograma različite boje označavaju različit nivo snage, ili određene voltaže. Kao što je već pomenuto, ne može se u isto vreme postići dobra vremenska i frekvencijska rezolucija. Vremenska rezolucija se može definisati koliko dobro dva pika u vremenu mogu biti odvojeni jedan od drugog, dok frekvencijska rezolucija označava koliko se dobro dve spektralne komponente mogu odvojiti jedna od druge. Za razliku od konvencionalne diskretne vremenske Furijeove transformacije koja određuje amplitude k -te spektralne komponente, kada su svi vremenski uzorci pomnoženi sa pravougaonom veličinom prozora koji imaju širinu N , STFT proračunava amplitude k -te spektralne komponente sekcije uzorka podataka počevši od mL i završavajući se sa $mL+(N-1)$. Sukcesivni segmenti se postižu tako što se preskače L uzoraka od segmenta do segmenta. Slika 7.5 prikazuje ovaj princip.

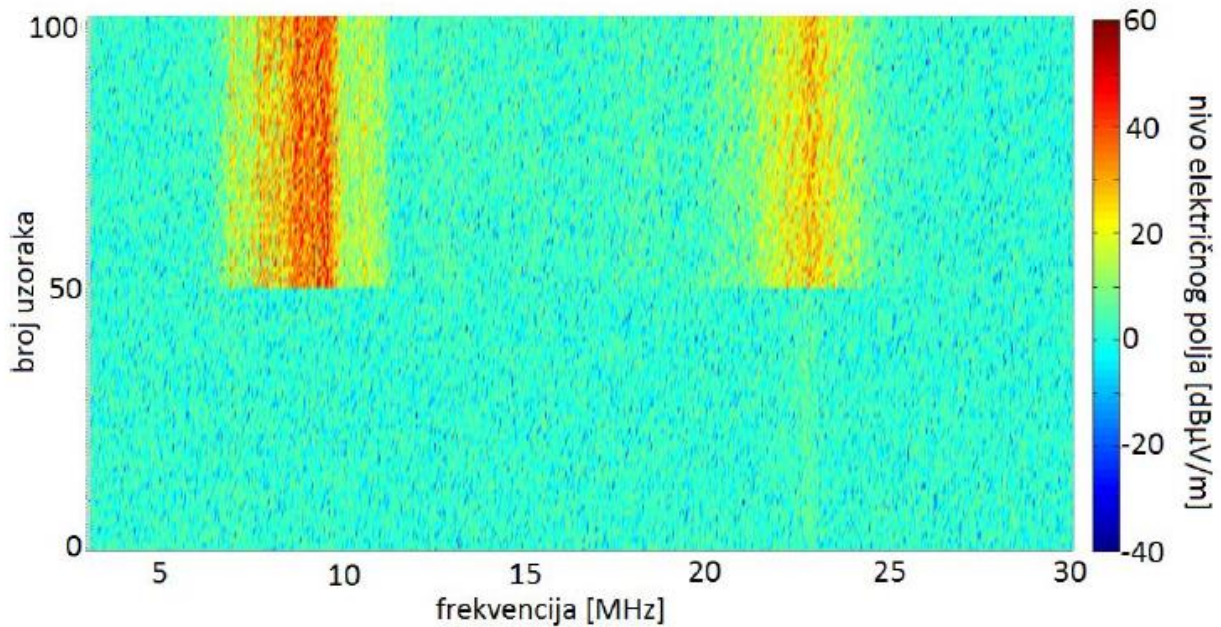


Slika 7.5 Računanje STFT-a [94]

Ukoliko se želi postići bolja vremenska rezolucija, parametar L će biti manji [94]. Svakako, korišćenje spektrograma ima i određene mane. Mana spektrograma jeste ukoliko osoba koja je daltonista želi da analizira signal na ovaj način, analiziranje za nju će biti otežano. Druga od mana jeste što sa bojom, za krajnjeg korisnika, ne može precizno da se odredi tačan nivo šuma kao sa tradicionalnim

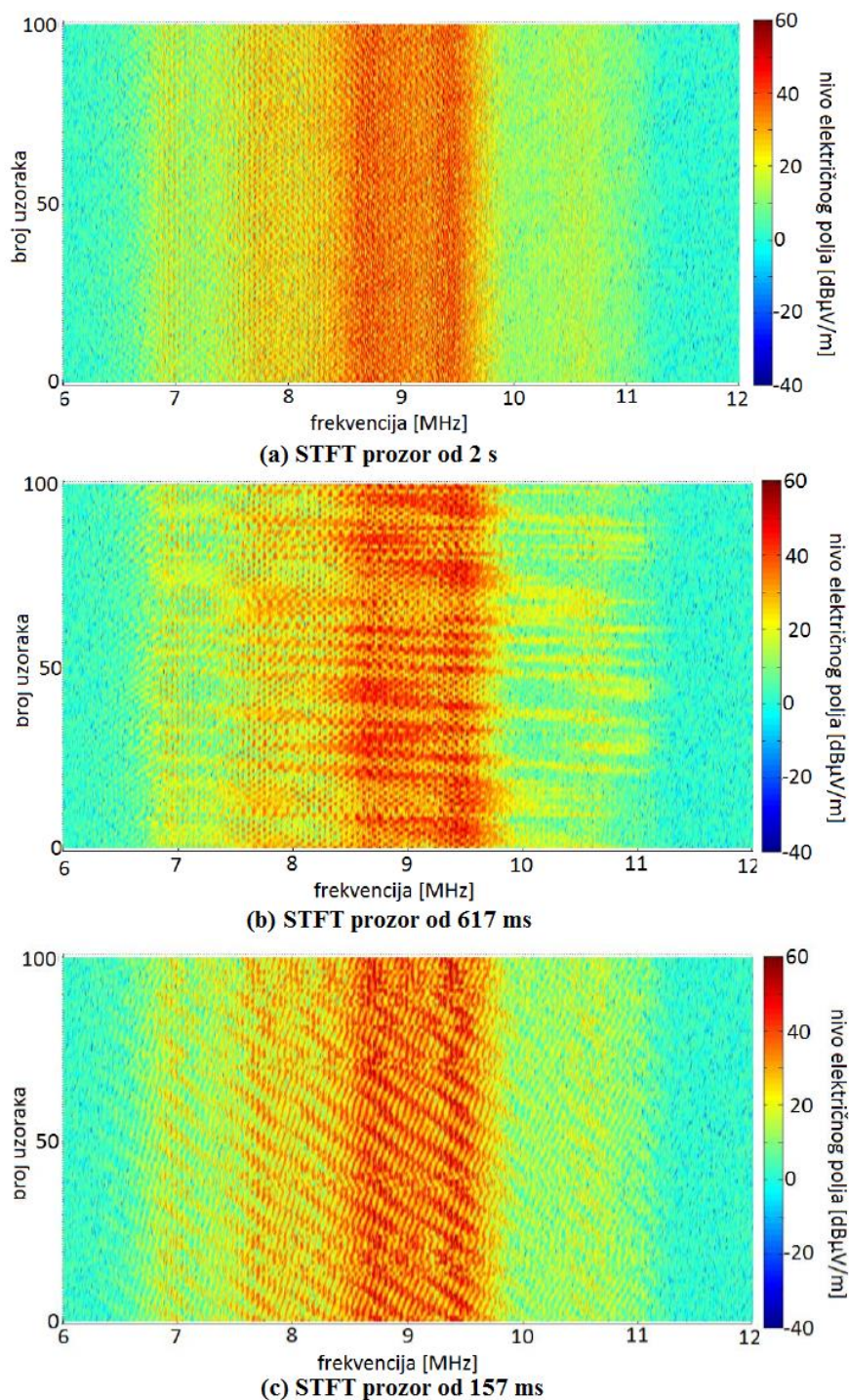
metodama, ali okvirno može da se odredi koji je to nivo šuma. Uprkos tome, spektrogram može biti izuzetan alat za analiziranje svojstava EMI signala i sa njim se može bolje razumeti priroda signala čija se snaga menja sa vremenom.

Nakon primene metoda spektrograma, rezultati iz polu-anehoične sobe su izmereni i prikazani ovim metodama i biće predstavljeni u nastavku disertacije. Za poređenje različitih spektrograma bitno je da legende boja budu iste, kako bi moglo da se dođe do ispravnih zaključaka. U nastavku je prikazan nivo električnog polja u granicama od $-40 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ do $60 \text{ dB}\mu\text{V/m}$. Generisanje rezultata je sprovedeno uz pomoć *Matlab* softverskog alata.



Slika 7.6 Prikaz spektrograma za LED panel snage 6 W na HF opsegu, gde je na donjoj polovini slike LED panel ugašen, a na gornjoj polovini upaljen, počevši od 50. uzorka pa nadalje

Slika 7.6 prikazuje kako izgleda elektromagnetno okruženje u laboratorijskim uslovima kada je LED panel ugašen i upaljen. Može se primetiti da je prisutan određeni signal na frekvenciji od oko 23 MHz pre paljenja LED reflektora, što objašnjava činjenica da su se istraživanja vršila u polu-anehoičnoj sobi. Međutim, ovaj signal je slabog intenziteta i može se zanemariti. Kao što je rečeno već, spektrogram omogućava analizu, gde se u zavisnosti od veličine prozora može dobiti bolja frekvencijska, odnosno vremenska rezolucija. Slika 7.7 prikazuje tri različita slučaja za različite odabrane veličine prozora, za frekvencijski opseg gde su najintenzivnije smetnje od LED osvetljenja. Zahvaljujući ovome se mogu videti praktični rezultati kako izgledaju scenariji kada je bolja frekvencijska, odnosno vremenska rezolucija. Slika 7.7 prikazuje rezultate za LED panel snage 6 W.



Slika 7.7 Detaljnija analiza LED šuma u frekvencijskom opsegu od 6 - 12 MHz koristeći različite veličine prozorskih funkcija [95]

Kao što se može videti, ukoliko je veličina prozora 2 s (slučaj (a)), može se jasno videti kako je smetnja raspoređena po frekvenciji. Međutim, ukoliko se smanji veličina prozora (slučaj (b)), jasno se može videti da se gubi rezolucija po frekvenciji, ali se kvalitetnije vidi priroda signala po vremenu. Na kraju, ukoliko bi se još više smanjila veličina prozora (slučaj (c)), signal se još bolje može analizirati po vremenskoj rezoluciji i mogu se otkriti skrivene periodičnosti same LED interferencije.

7.2 Prikupljanje podataka sa operativne radarske lokacije i detektovanje LED šuma na RD slici

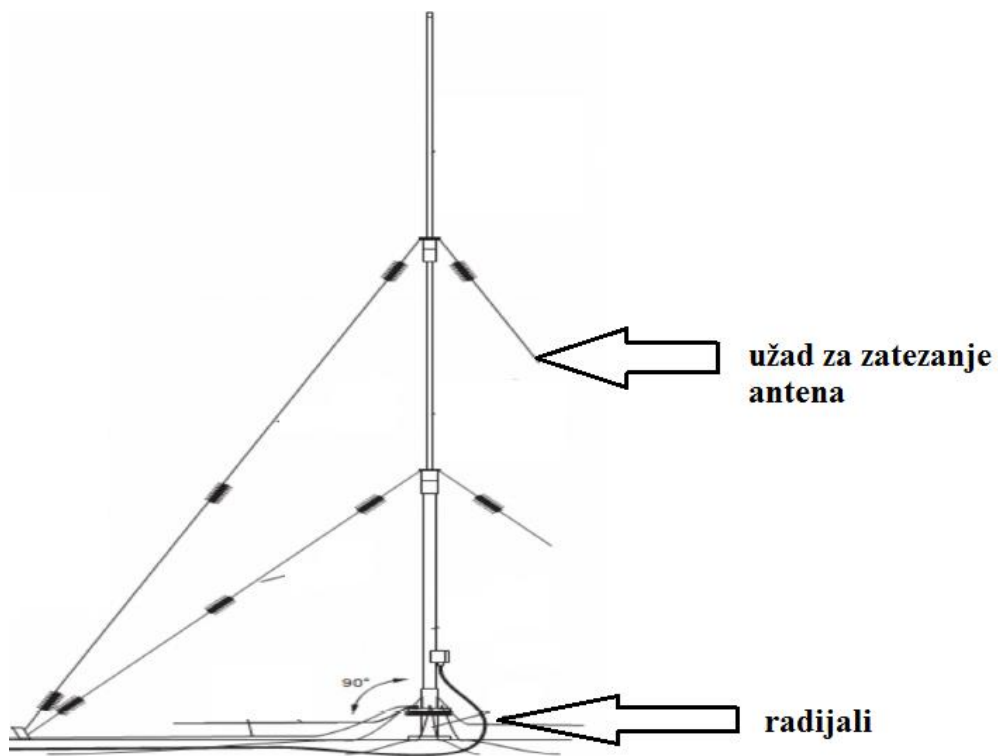
Nakon laboratorijskih ispitivanja, uzorci su sakupljeni i sa realnog operativnog radarskog sistema, instaliranog na zapadnoj afričkoj obali. Korišćen je jedan LED panel snage 6 W za ova istraživanja, identičan LED panelu od 6 W koji je korišćen u anehoičnoj sobi tokom laboratorijskog ispitivanja. Slika 7.8 prikazuje konfiguraciju na terenu. Rastojanje između trase strujnih i koaksijalnih kablova je isto kao i u anehoičnoj sobi i iznosi 3 m. Koaksijalni antenski kablovi su postavljeni paralelno sa strujnim LED kablovima.



Slika 7.8 Kratkotalasni radar i LED osvetljenje u realnim uslovima na terenu

Unutrašnji šum prijemnika tokom trajanja ovog testiranja je bio stacionaran. Koaksijalni kabl od antene do prijemnika ima impedansu od 50Ω i izuzetno nisko slabljenje. Na frekvenciji od 10 MHz i na 100 metara dužine slabljenje signala iznosi 0,67 dB. Svakako postoje slabljenja i na prelazima gde su instalirani konektori, gde su u ovom slučaju to bili konektori N tipa, međutim slabljenje usled ovih prelaza na konektorima nije veliko i ono mora postojati.

Slika 7.9 prikazuje primer antena koje se koriste kod ovih radara. U podnožju antena instalirani su radijali. Vrednosti VSWR-a svih antena su ispod 1,2. Antene imaju užad za zatezanje koja sprečavaju mehaničke vibracije usled vetra. Ovo je posebno važno kod predajnih antena. Prijemne antene nemaju užad za zatezanje usled manjih dimenzija.



Slika 7.9 Kratkotalasna predajna antena kod operativnog radarskog sistema

Osnove i prijemnih i predajnih antena su pričvršćene betonskim blokovima koji su kasnije ukopani u zemlju zbog dodatne stabilnosti (Slika 7.10).

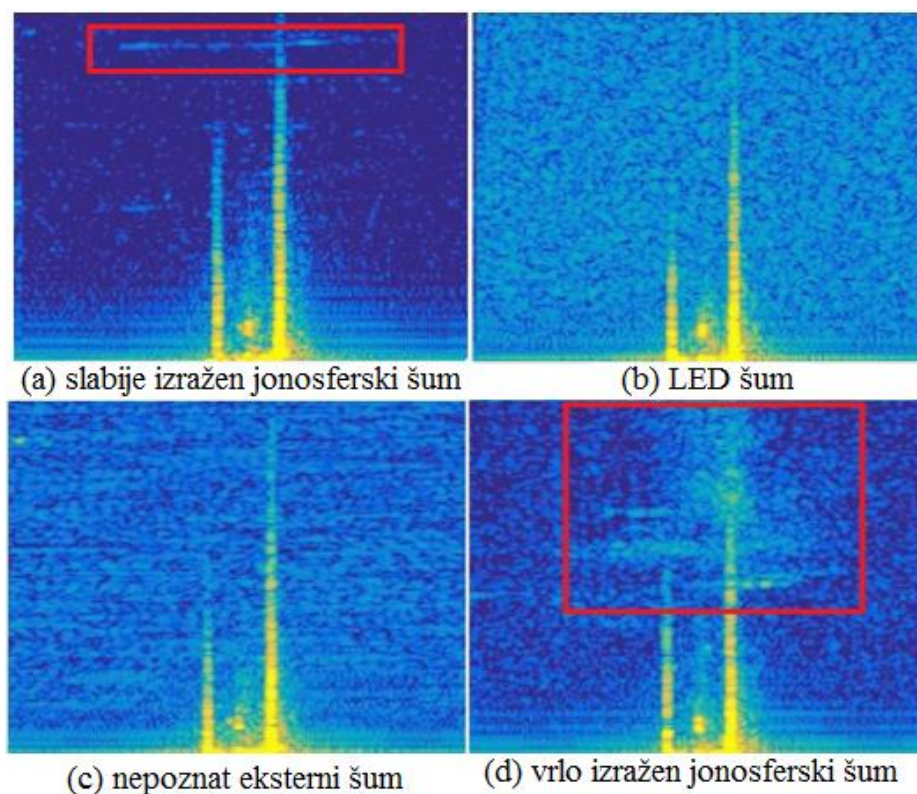


Slika 7.10 Osnova radarske antene

Radarska oprema (serveri, transiver, svičevi, ruteri...) se drži stalno na temperaturi od 21 stepen Celzijusa i UPS sistemi pružaju stabilnu struju čak i do nekoliko sati nakon prestanka rada eksternog izvora napajanja.

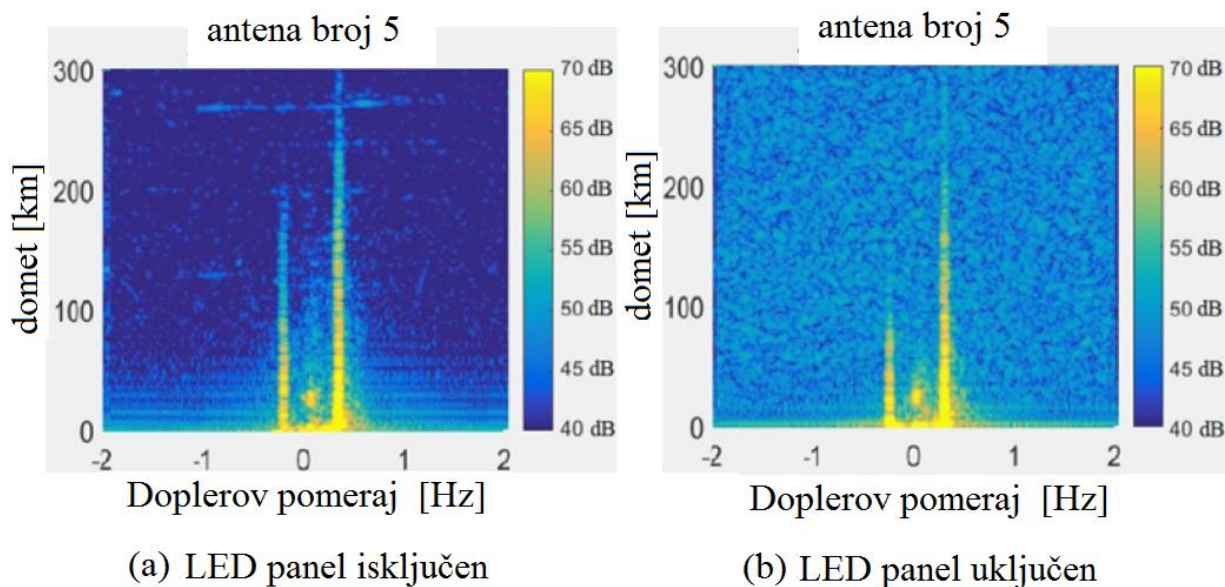
Princip rada kratkotalasnog radara je već opisan, a u nastavku će biti dat kratak pregled najvažnijih parametara ovog radara. Radna frekvencija ovog radara je 6,7 MHz, sa propusnim opsegom od 100 kHz. Emitovani *chirp* ima dužinu od 0,260028 sekundi i frekvencijski je modulisan. Koherentno integraciono vreme RD slike je 33 sekunde. Predajna snaga je 400 W. Postoji 16 prijemnih i 4 predajne omnidirekciono antene.

U anehoičnoj sobi je potvrđeno da je za ovaj LED panel nivo šuma na frekvenciji oko 6,7 MHz povećan za oko 10 dB. Kako je cilj analizirati RD slike, one će biti eksportovane iz radarskog sistema za različite uslove. Veliki broj RD slika je sakupljen sa terena u realnim uslovima, za različita godišnja doba, kao i za različita doba dana. Treba napomenuti da s obzirom da se radi o radaru u realnim uslovima okruženja, LED šum nije jedini šum koji se može javiti ovde. Slika 7.11 prikazuje primer nekih od prikupljenih RD slika i odavde se može videti da eksterni šum detektovan radarom može poticati od više različitih izvora.



Slika 7.11 Različiti tipovi šuma detektovani na RD slici [41]

S obzirom na to da je akcenat ovog rada stavljen na LED šum, Slika 7.12 prikazuje kako izgleda kada je LED šum prisutan na RD slici, a kako izgleda kad nije. Slika je prikazana za jedan prijemni kanal broj 5, mada su za sve kanale u istim uslovima merenja rezultati gotovo identični.



Slika 7.12 Primer RD slike kada je LED panel isključen i kada je uključen [41]

Odavde se jasno može videti da se radijacioni LED šum superponira na korisni signal i ima negativnu osobinu da ga maskira. Zahvaljujući ovome LED šum degradira informacioni sadržaj čime se povećava mogućnost nedetektovanja radarskog cilja, ili može doći do pogrešne detekcije, odnosno generisanja lažnog alarma. Kao što je već pomenuto, kod kratkotalasnih radara osetljivost je limitirana eksternim šumom u najvećoj meri. Sa prethodnih slika se može videti da je informacioni sadržaj, kao što su refleksije od morskih talasa (Bragove linije), ili povratni signal od brodova značajno manje vidljiv usled eksternih smetnji čime se telekomunikacioni radarski sistem dovodi u nepovoljan stadijum.

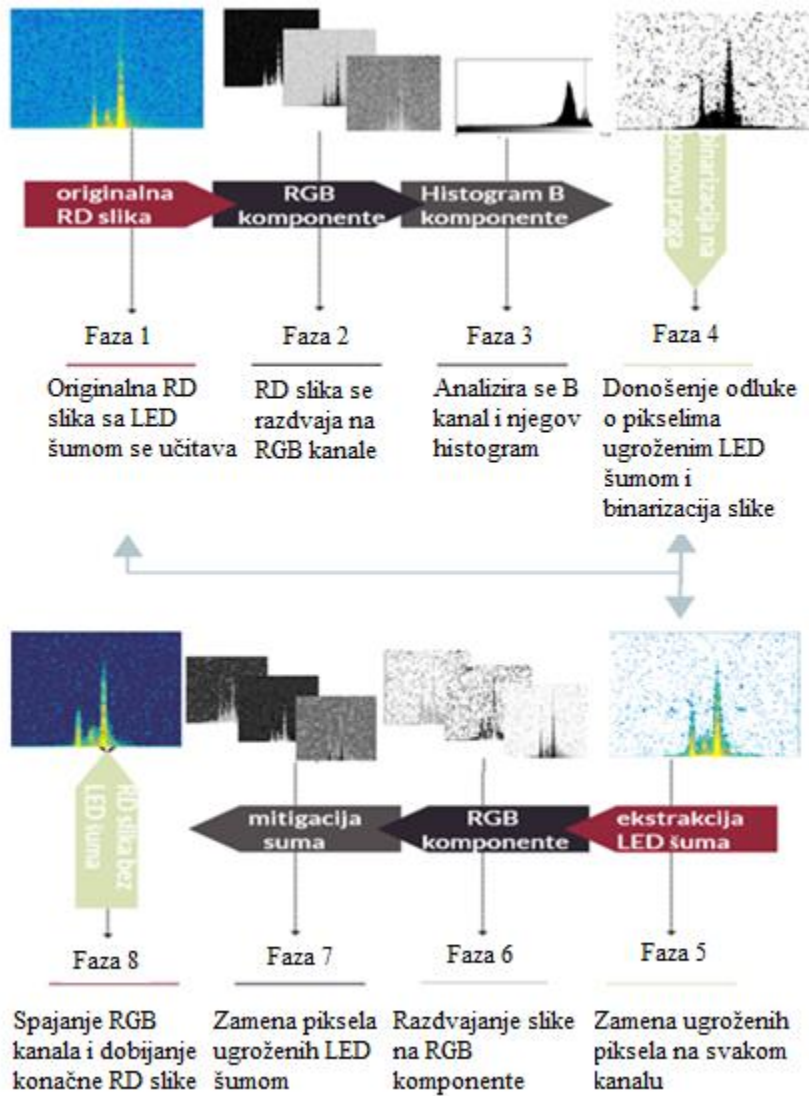
Postoje mnogi radovi koji se bave efektima ublažavanjima jonosferskog šuma kod kratkotalasnog radara, međutim oblast detektovanja i umanjenja LED šuma kod kratkotalasnih radara do sada nije istražena. U nastavku će biti dat predlog algoritma baziranih na metodama obrade slike koji umanjuje i detektuje radijacione LED smetnje kod kratkotalasnog radara.

8 PREDLOG ALGORITAMA ZA MITIGACIJU I DETEKCIJU LED ŠUMA

Osnovna razlika između ljudskog i mašinskog analiziranja može se ukratko sumirati kao „ljudsko prepoznavanje, mašinsko merenje”. Naravno, prethodna rečenica je grubo rečena, međutim glavna razlika između ljudskog opažanja stvari i mašinskog je u tome. Često se dolazi do situacija da je ljudsko posmatranje prilično različito od mašinskog. Najvažniji cilj za ljudski vid je prepoznavanje okruženja. Fokus naučnih i tehničkih aplikacija u mašinskoj viziji je više baziran na kvantitativnim nego na kvalitativnim informacijama. Međutim, značajan napredak se svakako ostvaruje u predstavljanju kvalitativnih informacija i rasuđivanjem putem mašinskog vizuelnog sistema. Ljudski vizuelni sistem nikada neće biti sposoban za obavljanje određenih procesuiranih zadataka za obradu slike sa tačnošću i izdržljivošću kao mašinski vizuelni sistem. Međutim, mašinski sistem do sada ne može za svaku situaciju da ima sposobnost ljudskog vizuelnog procesa da se adaptira brzo na različite zadatke vezane za obradu slike, da reši različite probleme vezane za prepoznavanje i klasifikaciju i da razvije samostalno određena znanja iz opaženih scena [96].

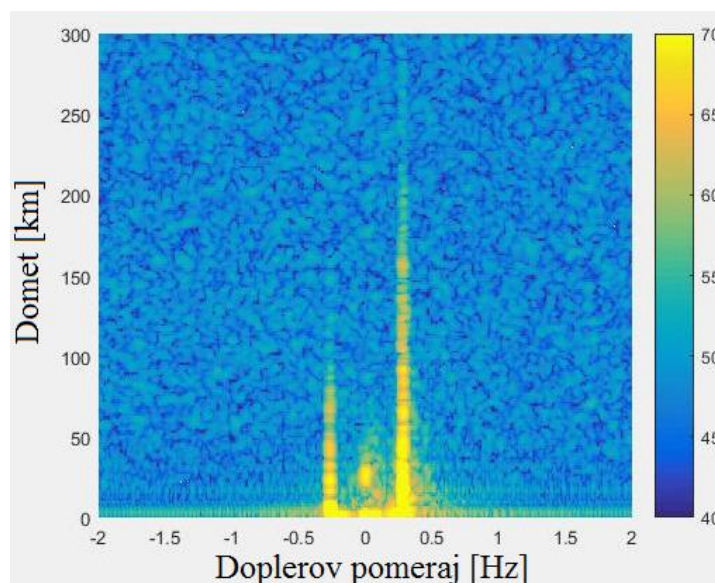
8.1 Predlog algoritma za mitigaciju LED šuma

Slika 8.1 prikazuje predlog algoritma za umanjeње LED šuma. Algoritam za mitigaciju LED šuma je podeljen na osam faza.



Slika 8.1 Predlog algoritma za mitigaciju LED šuma

U fazi 1, kao što se može videti, ulaz u ovaj algoritam predstavlja RD slika. RD slika se može definisati kao dvodimenzionalna funkcija $f(x,y)$, gde x i y predstavljaju planarne koordinate, a amplituda funkcije f bilo kog para koordinati (x, y) se zove intenzitet slike u toj tački. U ovom slučaju, kada su vrednosti x i y , kao i amplituda funkcije f konačne, onda se to može nazvati digitalna slika. Digitalna slika se sastoji od konačnog broja elemenata, od kojih svaki ima određenu lokaciju i vrednost. Ovi elementi se označavaju kao elementi slike ili pikseli. Bitno je napomenuti da različite vrednosti piksela označavaju prijemni signal RD slike u intervalu od 40 do 70 dB, što Slika 8.2 i prikazuje. U istraživanjima u ovoj disertaciji, baziranim na velikom broju analiziranih slika prikupljenih sa operative radarske lokacije utvrđeno je da se sa ovim intervalom najbolje mogu uočiti prisutne smetnje na RD slici. Slika 8.2 prikazuje primer jedne RD slike koja ulazi u algoritam, a dominantan šum potiče jedino od LED panela.



Slika 8.2 Ulazna RD slika koju koristi predloženi algoritam

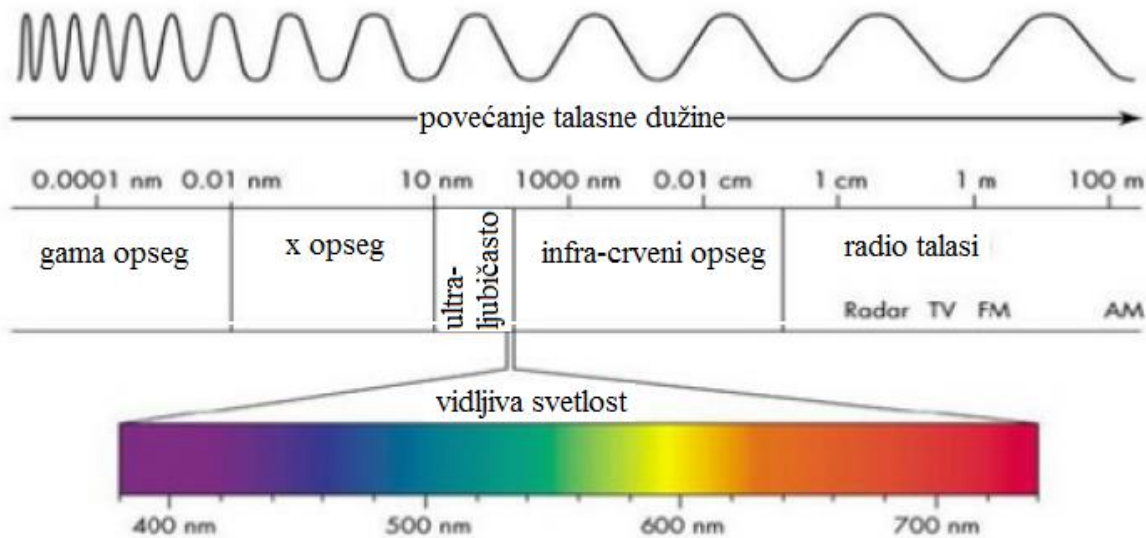
Postoji više kolor modela, ali u ovoj disertaciji istraživanja su fokusirana na RGB kolor model preko koga će se analizirati i procesuirati RD slika. Kolor model je specifikacija koordinatnog sistema i podprostora unutar sistema gde je svaka boja predstavljena pojedinačnom tačkom. Najčešći model je RGB (*Red, Green, Blue*) i zbog toga je on upravo izabran, međutim postoje i drugi modeli, kao što su CMY (*Cyan, Magenta, Yellow*) koji se najčešće koristi za uređaje za štampanje, zatim HSI (*Hue, Saturation, Intensity*), kao i YCbCr i tako dalje, međutim oni neće biti razmatrani u ovoj disertaciji.

Usled različitih apsorpcionih karakteristika ljudskog oka, boje se mogu videti kao različite kombinacije takozvanih primarnih boja: crvene (R), zelene (G) i plave (B). Zbog standardizacije, međunarodna komisija za osvetljenje CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage – International Commision on Illumination*) je 1931. godine definisala specifične talasne dužine primarnih boja. Tabela 8.1 predstavlja talasne dužine ovih boja [97].

Tabela 8.1 Definisane talasne dužine za RGB boje [97]

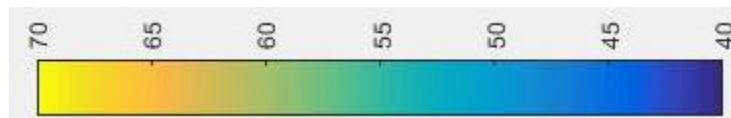
Boja	Talasna dužina prema CIE [nm]
Crvena	700
Zelena	546,1
Plava	435,8

Ono što je bitno napomenuti, jeste da su ovo primarne boje. Usled različitih apsorpcionih karakteristika ljudskog oka, druge boje se mogu dobiti kao različite kombinacije primarnih boja. Slika 8.3 prikazuje boje za vidljivi deo elektromagnetnog spektra prema njihovim talasnim dužinama za hromatske boje⁶.



Slika 8.3 Talasne dužine vidljivog opsega elektromagnetnog spektra [98]

Ukoliko se analiziraju talasne dužine boja koje se prikazuju na RD slici, može se primetiti da su one u opsegu od 400 nm do 600 nm (Slika 8.4).



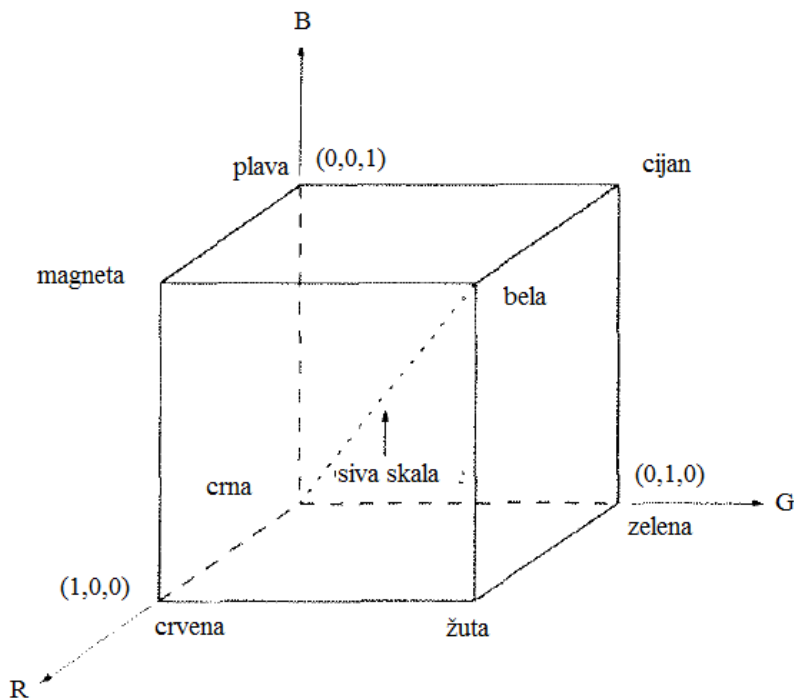
Slika 8.4 Legenda RD slike

Generalne karakteristike po kojima se razlikuju boje jedna od druge su vrsta boje (*hue*), saturacija boje (*saturation*) i sjajnost (*lightness*). Vrsta boje definiše samu boju i predstavlja atribut dodeljen dominantnoj talasnoj dužini u mešavini svetlosnih talasa. Vrsta boje predstavlja dominantnu boju kako je opaža posmatrač. Stoga, kada neko nazove objekat da je crven, narandžast ili žut, specificira ga sa vrstom boje. Saturacija boje se odnosi na relativnu čistoću ili nivo bele svetlosti pomešan sa vrstom boje. Čist spektar boja je potpuno zasićen. Može se takođe definisati i koliko se vrsta boje razlikuje od neutralno sivog, u meri od 0 do 100 %. Blede boje imaju malu saturaciju, kao na primer pink, a jarke veliku saturaciju, kao na primer crvena boja. Sjajnost predstavlja nivo osvetljenosti i omogućava vizuelne gradacije od tamnijeg ka svetlijem (0 - 100%). Nivo crvene, zelene i plave boje koje su potrebne da bi se formirala neka boja se zovu tristimulusne vrednosti.

Faza dva predloženog algoritma razdvaja originalnu RD sliku na tri kanala, R, G i B kanal. U RGB kolor modelu svaka boja se pojavljuje u kombinaciji primarnih spektralnih komponenata, odnosno

⁶ Boje se mogu podeliti na hromatske i ahromatske (neutralne). Hromatske boje su sve one koje se nalaze unutar sunčevog spektra, a ahromatskim pripadaju crna, bela i sive.

crvene, zelene i plave. Generalno, RGB model je baziran na Kartezijevom koordinatnom sistemu. Slika 8.5 prikazuje šemu RGB kolor kocke. Tačke duž glavne dijagonale imaju sive vrednosti od crne na početku do bele na tački (1,1,1).



Slika 8.5 Šema RGB kolor kocke [97]

Tabela 8.2 daje prikaz vrednostima kocke za određene boje.

Tabela 8.2 Vrednosti uglova RGB kolor kocke [97]

Boja	Vrednost
Crvena	(1,0,0)
Zelena	(0,1,0)
Plava	(0,0,1)
Cijan	(0,1,1)
Bela	(1,1,1)
Magenta	(1,0,1)
Crna	(0,0,0)
Žuta	(1,1,0)

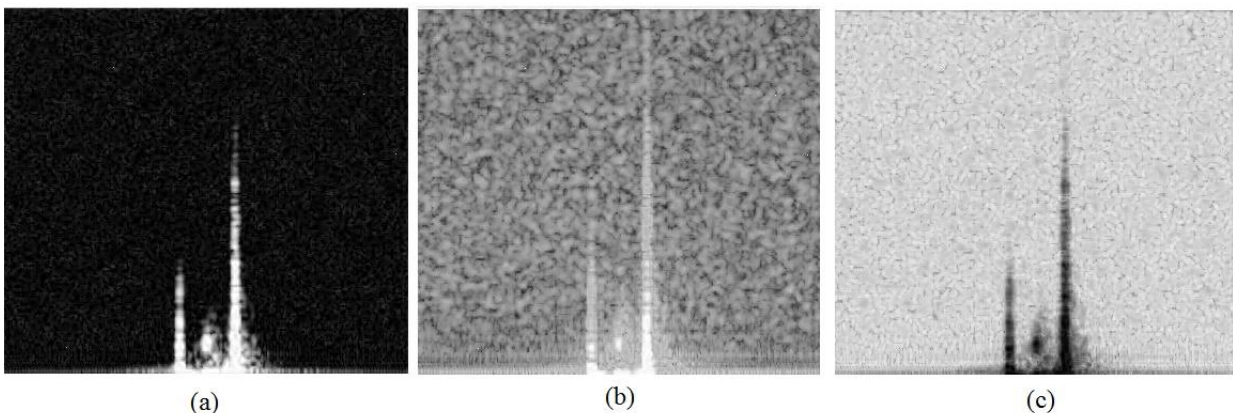
Tabela 8.2 se takođe može predstaviti i na drugi način (Slika 8.6).



Slika 8.6 Prikaz osnovnih boja RGB modela i rezultata njihovog mešanja, odnosno način dobijanja sekundarnih boja [99]

Boja podsistema od interesa je u RGB kolor kocki, gde su RGB vrednosti u tri ugla: cijan, magenta i žuta. Crna boja se nalazi na početnoj tački, dok je bela boja u uglu najdalje od početka. U ovom modelu siva skala ide od crne do bele duž dijagonale koja spaja ove dve tačke. Različite boje u ovom modelu su tačke unutar kocke i imaju definisane vektore koji počinju od početka, odnosno od crne boje.

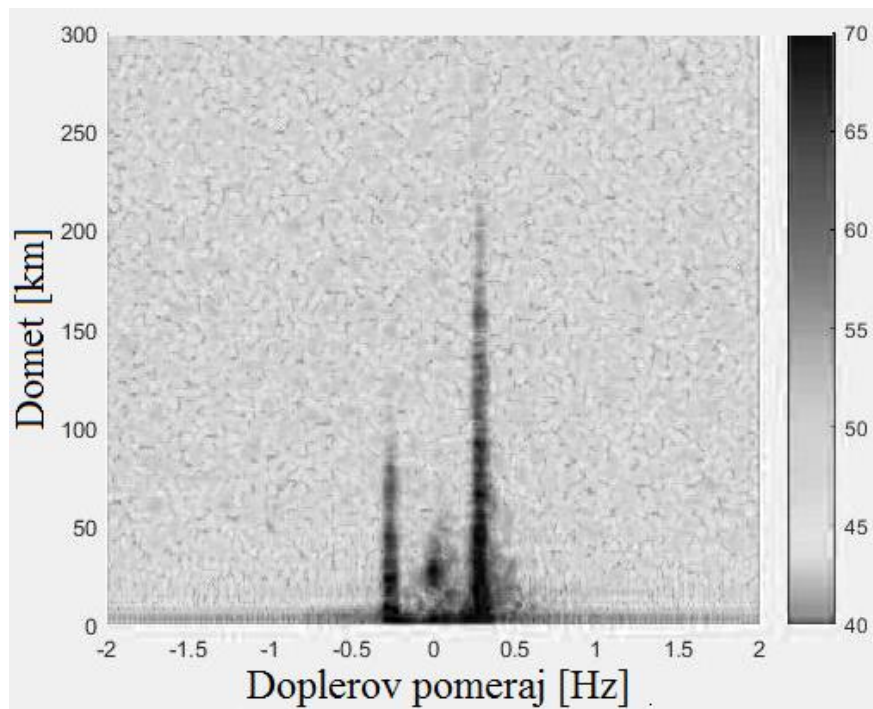
Slike koje se predstavljaju RGB kolor modelom se sastoje od određenih vrednosti tri komponente. Ukoliko se posmatra RGB slika gde je svaka komponenta 8-bitna, kao što je to slučaj kod analizirane RD slike u ovoj disertaciji, to znači da RGB slika ima 24 bita za sve ravni. Termin „potpuno u boji” slika često označava 24-bitne RGB slike. Ukupan broj boja 24-bitne RGB slike je $(2^8)^3$ što čini 16.777.216 boja. Dobar način da bi se videle ove boje jeste da se generišu ravni boja (lica ili poprečni presek ravni). Ovo se postiže jednostavno sa fiksiranjem jedne od tri boje i onda se dozvoljava ostalim primarnim bojama da variraju. Na primer, poprečni presek ravni kroz centar kocke i paralelan sa GB ravni je ravan $(127, G, B)$. Ovde vrednosti G i B mogu menjati vrednosti od 0 do 255 [97]. Slika 8.7 prikazuje R, G i B komponente originalne RD slike.



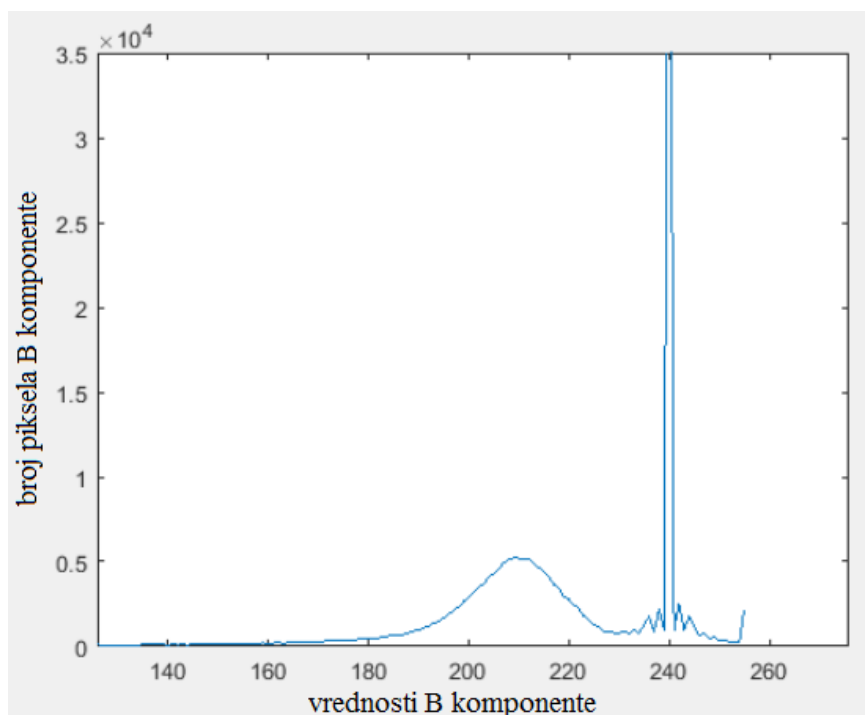
Slika 8.7 RGB komponente originalne RD slike; (a) R komponenta, (b) G komponenta, (c) B komponenta

Faza 3 predloženog algoritma analizira B komponentu RD slike. Eksperimentalna istraživanja su pokazala da je optimalno uzeti u obzir B komponentu, zato što se LED šum javlja najviše u prvih 10-15 dB na RD slici, a tu je u najvećoj meri zastupljena B komponenta u legendi boja.

Kada se odabere B komponenta, analizira se njen histogram. Slika 8.8 prikazuje B komponentu RD slike sa legendom, a Slika 8.9 prikazuje njen histogram. RD slike koje su ugrožene LED šumom generalno imaju ovakav histogram, sa manjim varijacijama.



Slika 8.8 B komponenta RD slike sa legendom boja

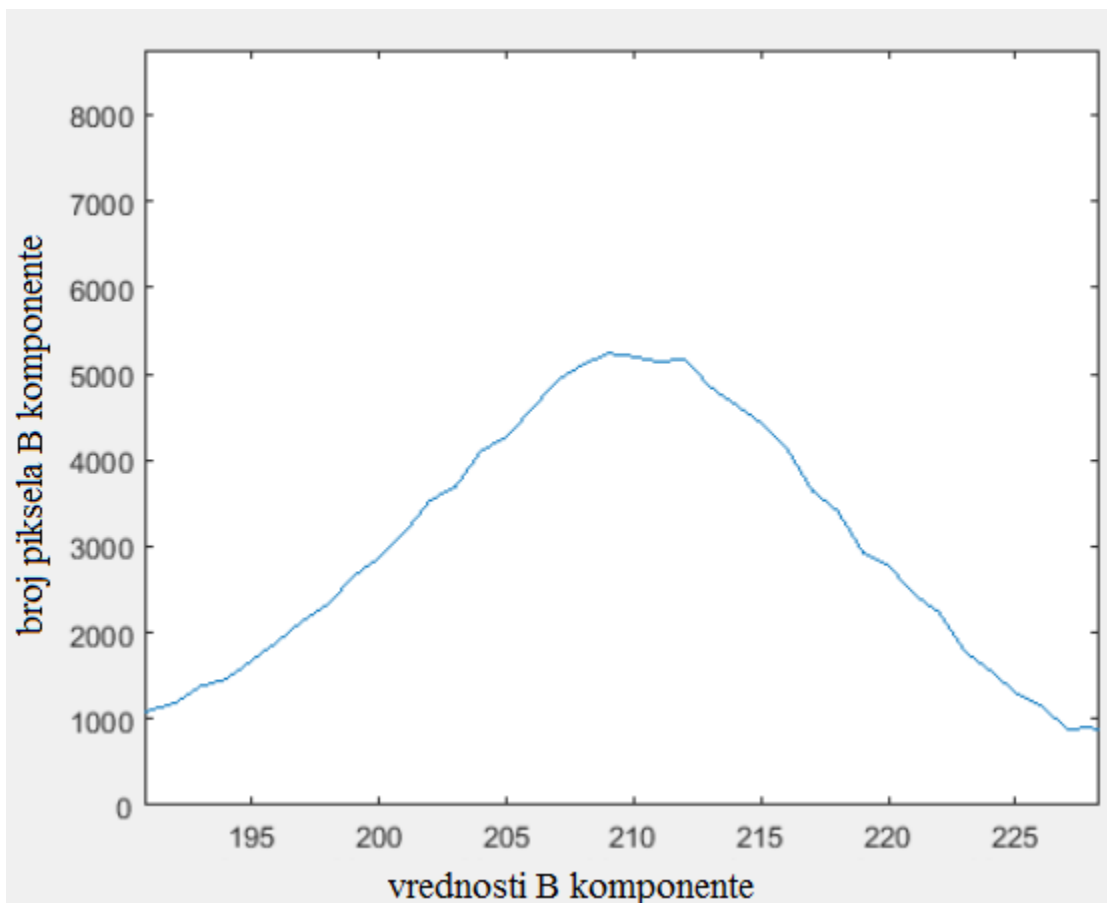


Slika 8.9 Histogram B komponente

Eksperimentalnim istraživanjem i analiziranjem velikog broja RD slika pokazalo se da se sa histograma može odrediti koji pikseli su ugroženi LED šumom, a koji ne. Ovaj korak predstavlja jedan od najbitnijih koraka koji utiču na dalji ishod rezultata, a to je određivanje praga na osnovu koga se odlučuje šta je šum, a šta korisna informacija na RD slici. Ova operacija, koja za ljude može biti jednostavna, za mašine nije.

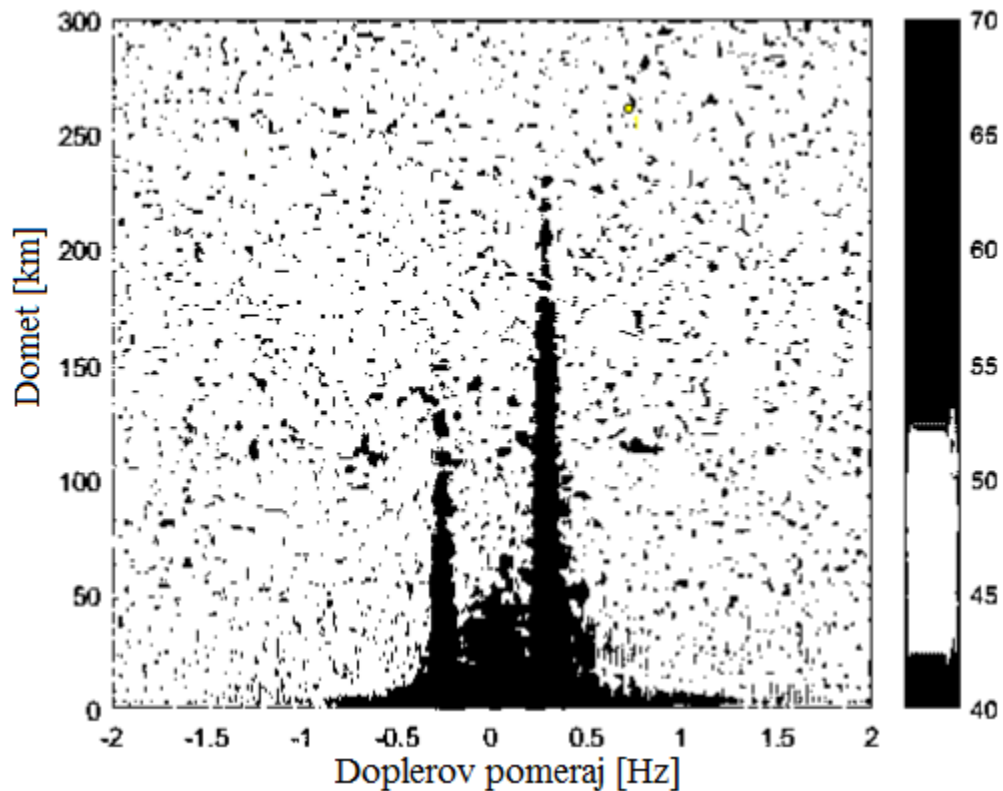
Histogram B komponente RD slike predstavlja vektor koji ima isti broj odabiraka kao i broj boja B komponente, odnosno ukupno 256. Vrednost koja se dodeljuje svakoj komponenti (takozvani bin) histograma h_i označava koliko piksela ima određenu vrednost boje i . Dakle, suma svih vrednosti histograma je jednaka ukupnom broju piksela slike B komponente RD slike. Definisanjem praga odlučivanja iznad određene vrednosti može se odrediti koji pikseli su ugroženi LED šumom. Nivo B boja predstavlja jednodimenzionalni vektor, za razliku od RGB boja koji predstavlja trodimenzionalni vektor.

Istraživanja su pokazala da LED šum pripada grupi binova piksela između 180 i 230. Međutim, da bi se detaljnije utvrdio ovaj opseg, definiše se prag broja piksela koji je u ovoj disertaciji 1000. Svi binovi koji imaju broj piksela veći od 1000 smatraju se da su ugroženi LED šumom. Izuzetak od ovog pravila su binovi veći od 230. Ovi binovi pripadaju području oko centralne RD slike, a to su nazivi apscise i ordinate kao i legenda boja. Nivo piksela za ove binove je uvek konstantan i ovi binovi ne treba da se uzimaju u obzir. Slika se svakako može modifikovati tako što će centralni deo RD slike biti izdvojen, gde nisu date apscisa, ordinate i legenda boja, ali zamisao jeste da se RD slika kakvu generiše radar u originalnom obliku dalje procesuiru predloženim algoritmom. Vrednost ovih piksela je uvek konstantna i predloženi algoritam svakako radi apsolutno zadovoljavajuće i sa ovim dodatim vrednostima apscise, ordinate i legende boja. Slika 8.10 prikazuje detaljnije binove histograma koji su ugroženi LED šumom, odnosno čiji prag prelazi 1000 piksela od interesa.



Slika 8.10 Pikseli koji su ugroženi LED šumom

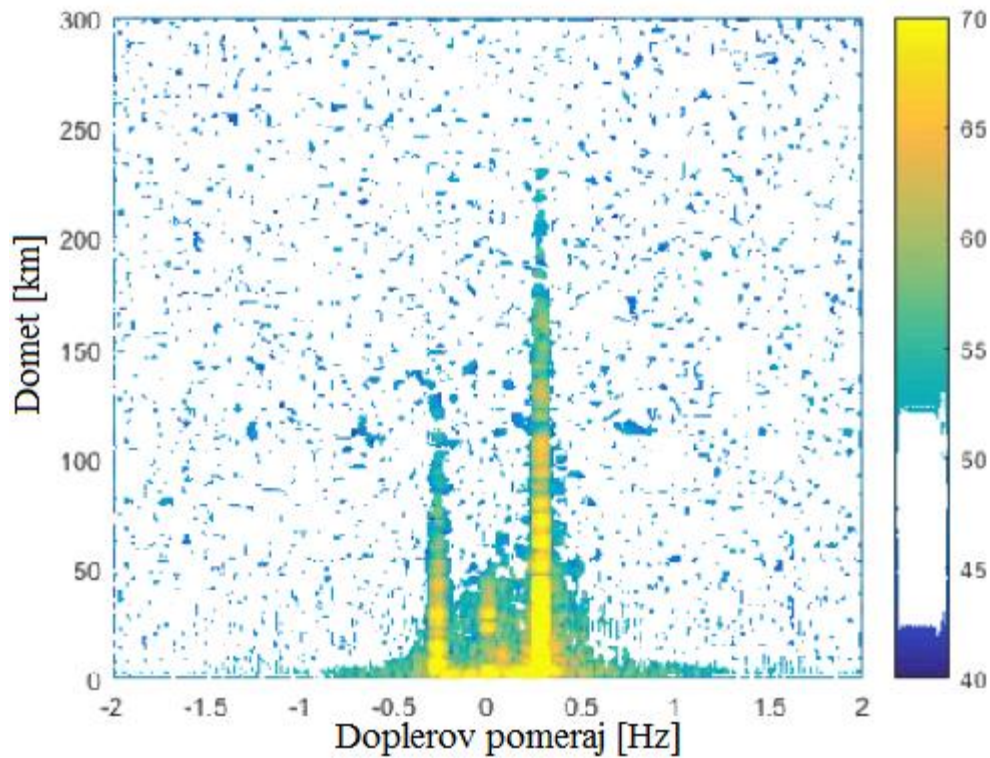
U fazi 4, svi pikseli koji su ugroženi LED šumom, koji su definisani preko histograma kao ugroženi, se označavaju belom bojom, odnosno vrednošću 255, dok se sve korisne informacije sa RD slike označavaju crnom bojom, odnosno vrednošću 0. Ovo je takozvana binarizacija (Slika 8.11).



Slika 8.11 Binarizacija B kanala prema pragu odlučivanja definisanim histogramom

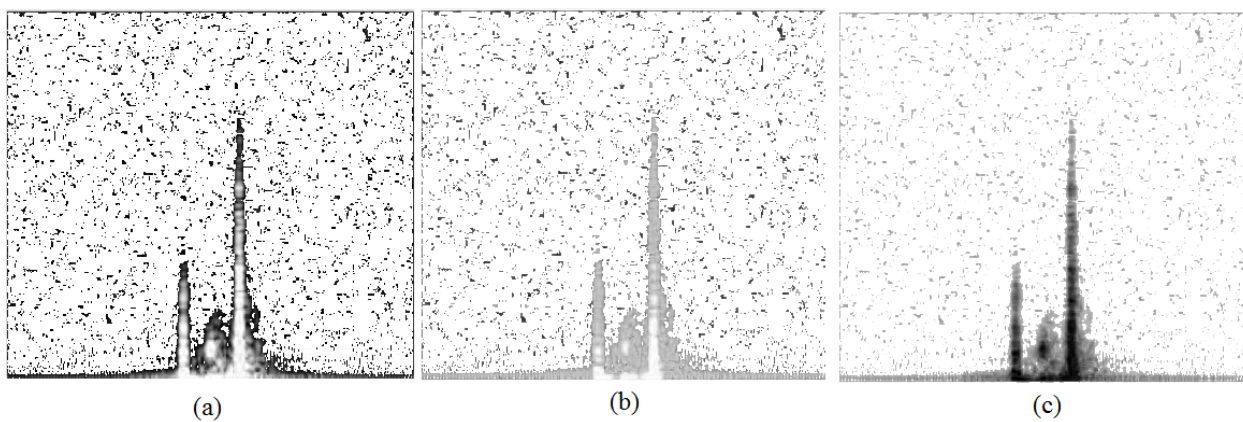
Kada se definiše prag, sa crnom bojom (0) se označavaju objekti koji su korisne informacije, kao što su Bragove linije, brodovi i slično, odnosno sve ono što nije LED šum, dok se sa belom bojom teži da označi LED šum. Dakle, ovde je potrebno segmentisati sliku na dve grupe – područja ugrožena LED šumom koja je potrebno eliminisati, odnosno modifikovati, i druga grupa – područja koja je potrebno ostaviti jer sadrže korisne informacije, odnosno informacije od interesa. Binarne slike takođe imaju prednosti i u manjem zauzimanju memorije i bržem vremenu obrađivanja informacija. Ono što se takođe može primetiti na legendi boja (Slika 8.11) jeste da je LED šum proglašen od oko 42 do oko 53 dB. Ukoliko se ovo uporedi sa rezultatima dobijenim iz anehoične sobe i činjenicom da je radna frekvencija ovog radara 6,7 MHz (u anehoičnoj sobi je utvrđeno da za frekvenciju 6,720023 MHz nivo LED šuma ima vrednost 10,0286926 dB) dolazi se do zaključka da je prag odlučivanja o pikselima LED šuma proglašen zadovoljavajućim. Svakako, odavde se takođe može videti da ovaj algoritam nije savršen, ali na velikom broju realnih analiziranih RD slika prikupljenih sa operative radarske lokacije sa afričkog kontinenta došlo se do zaključka da ovaj pristup daje jako dobre rezultate.

Nakon određivanja područja ugroženih LED šumom, na originalnoj RD slici se belom bojom označavaju ta područja, dok su sve ostale korisne informacije ostale nepromenjene. Ovo predstavlja fazu 5 predloženog algoritma. Slika 8.12 prikazuje RD sliku nakon označenih područja LED šuma belom bojom, odnosno tačnije vrednostima RGB komponente (255,255,255).



Slika 8.12 Originalna RD slika sa zamenjenim ugroženim pikselima zbog LED šuma belom bojom

Sledeći korak je zamena piksela bele boje sa pikselima koji bi bili da LED šum nije prisutan. U slučaju analizirane slike to predstavljaju pikseli koji odgovaraju bojama označenim 40 dB na legendi boja. Međutim, da bi se ovo ostvarilo, potrebno je ponovo razložiti sliku na RGB komponente, kako bi se manipuliralo sa ovim pikselima. Ovo predstavlja fazu 6. Slika 8.13 prikazuje kako izgledaju R, G i B komponenta RD slike iz faze 5 kada se razlože.



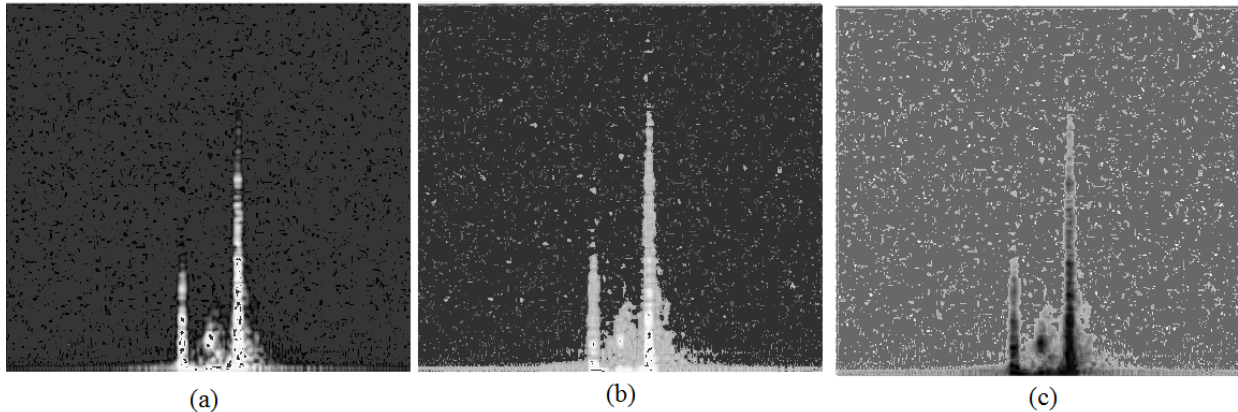
Slika 8.13 Komponente RD slike gde je zamenjen LED šum belom bojom: (a) R komponenta, (b) G komponenta, (c) B komponenta

S obzirom na to da su sada u sve tri komponente belom bojom označene vrednosti LED šuma, zbog dalje obrade signala potrebno je da se šum okruženja postavi da bude minimalan, odnosno tačnije da bude onakav kakav bi izgledao kao da LED šum nije prisutan. U ovom slučaju to konkretno znači da bi šum okruženja RD slike trebalo da bude 40 dB. Da bi šum okruženja imao ovakvu vrednost, Tabela 8.3 prikazuje potrebne vrednosti za sva tri RGB kanala.

Tabela 8.3 Vrednosti svih kanala za belu boju potrebne za mitigaciju LED šuma u fazi 6

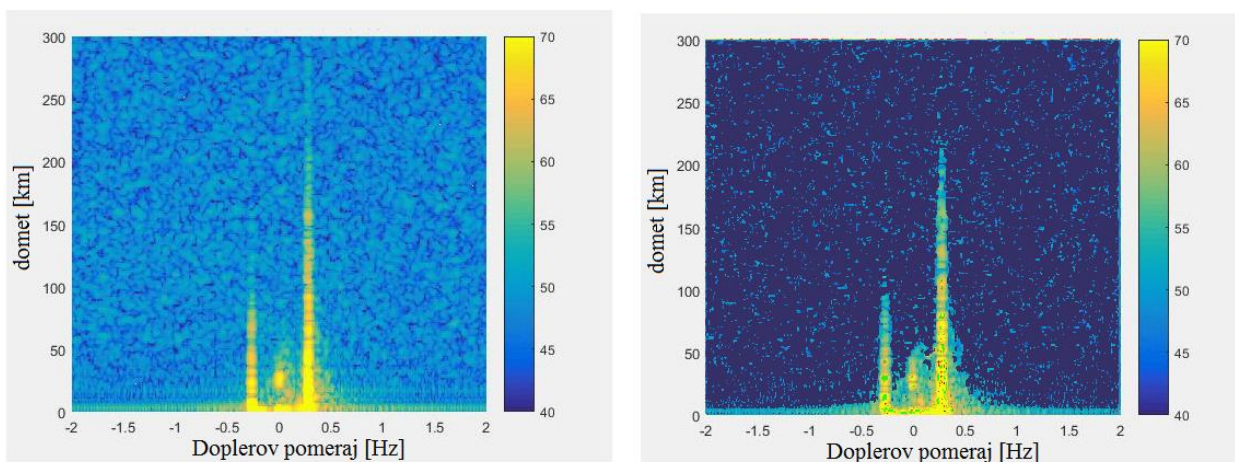
Komponenta RGB	Bela (stara) vrednost - faza 6	Preporučena (nova) vrednost – faza 7
R	255	53
G	255	48
B	255	104

Slika 8.14 prikazuje kako izgledaju R, G i B kanali kada se zamene vrednosti 255 sa odgovarajućim vrednostima iz prethodne tabele - faza 7.



Slika 8.14 R, G i B kanali RD slike sa umanjenim LED šumom

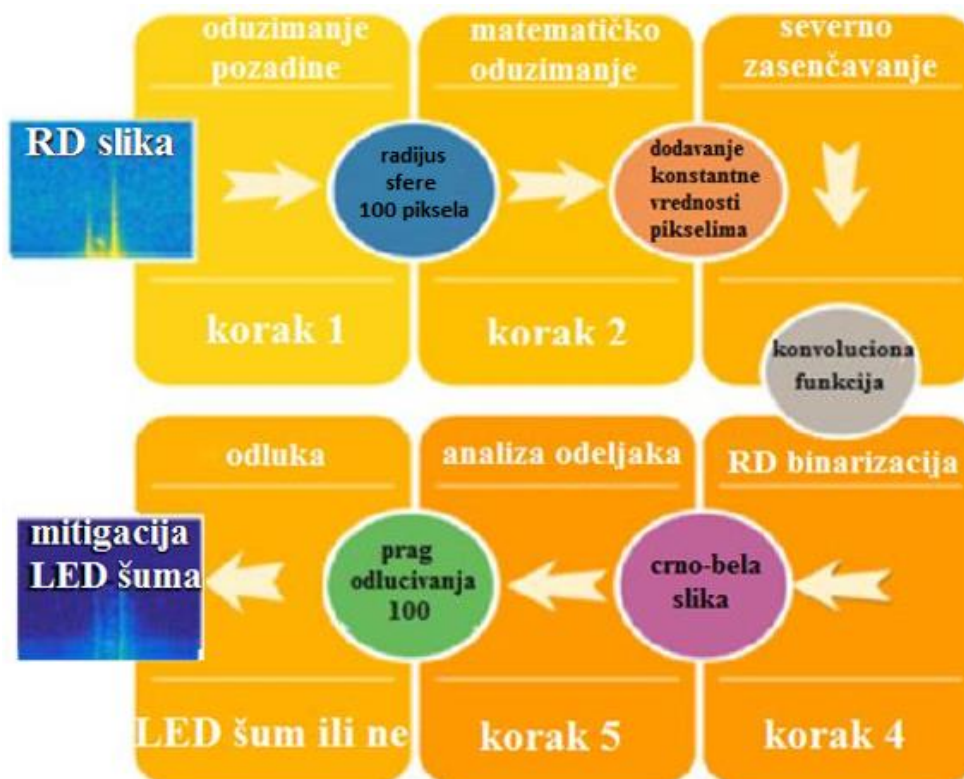
Konačno, Slika 8.15 prikazuje RD sliku gde je umanjen LED šum kada se spoje malopre pomenuta tri kanala sa zamenjenim vrednostima iz faze 7 (desno na slici), kao i početnu sliku gde je bio prisutan LED šum, pre mitigacije (levo). Odavde se može primetiti da je nivo okolnog šuma manji za oko 10 dB, što odgovara mernim rezultatima LED šuma koji su dobijeni u laboratoriji za elektromagnetnu kompatibilnost. Ovaj korak predstavlja poslednju fazu 8 i dobijanje konačne RD slike gde je umanjen LED šum.



Slika 8.15 Mitigacija LED šuma na RD slici koristeći predložen algoritam; levo - stara RD slika sa LED šumom, desno - RD slika nakon mitigacije LED šuma

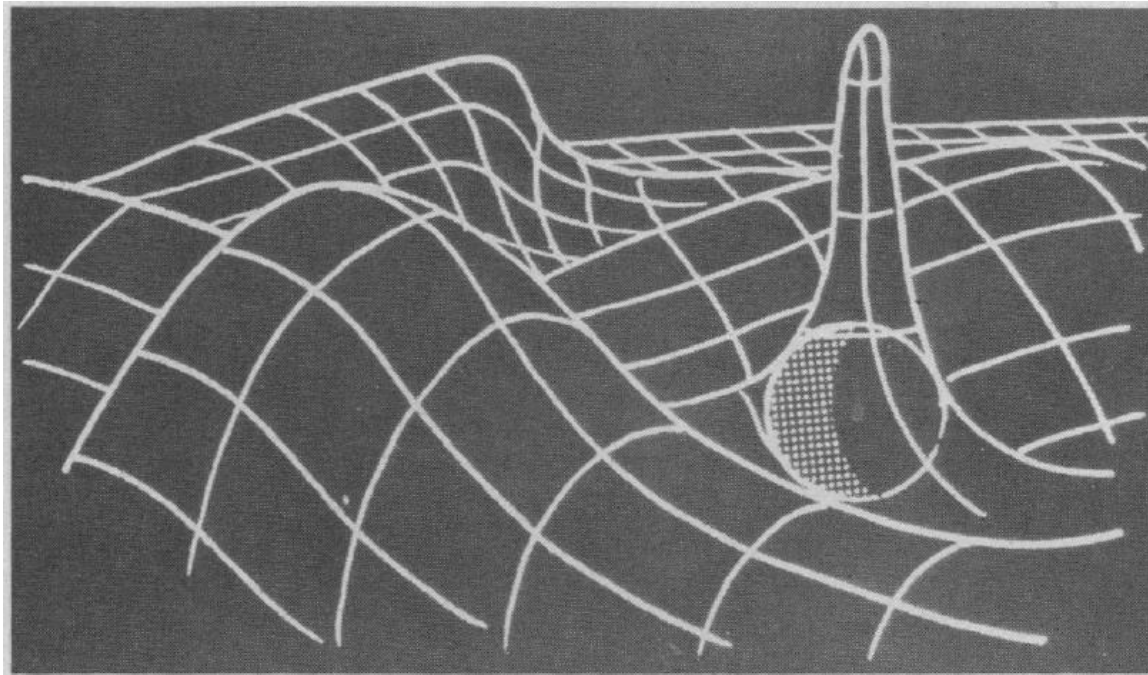
8.2 Predlog algoritma za detekciju LED šuma

Slika 8.16 daje prikaz predloga algoritma za detekciju LED šuma. Kao što se može videti, ulaz u ovaj algoritam je RD slika. U ovom slučaju to može biti RD slika gde može biti dominantan LED šum, ali i ne mora biti. Cilj algoritma je odrediti da li je na RD slici prisutan LED šum ili ne.



Slika 8.16 Algoritam za detekciju LED šuma na RD slici [41]

Algoritam je podeljen na šest koraka. Svakako, pre početka obrade slike, potrebno je učitati ciljanu RD sliku za koju se želi saznati da li je ugrožena LED šumom ili ne. Prvi korak procesuiranja ove RD slike predstavlja oduzimanje pozadine. Ova radnja se obavlja tako što se primenjuje algoritam „rolling bar” koji je opisan u radu [100], čime se ujednačava pozadina tako što ispravlja njeno neravnomerno osvetljenje.



Slika 8.17 Princip oduzimanja pozadine primenom „rolling bar” algoritma [100]

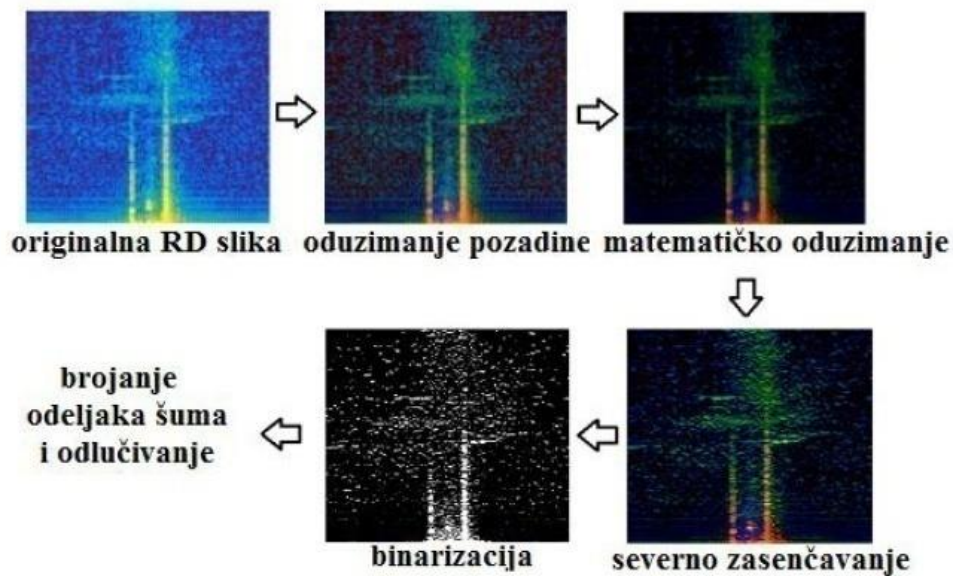
Slika 8.17 prikazuje način funkcionisanja algoritma koji se primenjuje u prvom koraku i zahvaljujući kome se oduzima pozadina. Ovde se može vizualizovati određena čvrsta sfera, koja, uz pogodan izbor radijusa sfere prebrisava pozadinu koja nije od interesa. Međutim, glavni cilj je prebrisavati pozadinu koja predstavlja informacije koje nisu od interesa za predloženi algoritam, ali ne i korisne informacije. Kao što se može videti na Slici 8.17, ova lopta prelazi preko „glatke” površine, ali ne i preko mesta sa pikovima. Prečnik sfere se mora izabrati pažljivo da prati i prebrisava isključivo ove glatke površine, kako se ne bi degradirao sadržaj od interesa. Naravno, ukoliko se izabere dovoljno veliki radijus lopte, prebrisaće se i pikovi koji su neophodni za dalje procesuiranje, što se treba izbeći. Autori algoritma opisanog u radu [100] su inicijalno primenu za ovaj algoritam pronašli u biomedicini, međutim autor ove disertacije je uočio da se ovaj pristup može koristiti i u oduzimanju pozadine koja nije od interesa na RD slici kratkotalasnog radara, što predstavlja prvi korak za detekciju LED šuma. Zahvaljujući ovom algoritmu refleksije od mora, odnosno brodova ili određene smetnje, kao što je LED smetnja, ostaju prisutne. Eksperimentalnom analizom izvršenom nad velikim brojem RD slika došlo se do zaključka da je optimalna vrednost radijusa sfere 100 piksela. Pikseli koji su ispod praga ove sfere se ujednačavaju, što se proglašava za pozadinu i ovi pikseli se označavaju crnom bojom.

Drugi korak u predloženom algoritmu je matematička manipulacija nad preostalim pikselima koji ne čine crnu boju. Ovaj korak se naziva matematičko oduzimanje. Ovde, svakom pikselu se dodaje

negativna konstanta i time se smanjuje intenzitet piksela za vrednost te konstante. Ovo ima za cilj da se preostali sadržaj sa RD slike koji je preostao nakon prvog koraka dodatno produbi kako bi se akcenat stavio na LED smetnje. U ovim istraživanjima utvrđeno je da je najbolje koristiti konstantu 50 matematičkog oduzimanja za sve RGB komponente.

Kada se vrednosti svih piksela RGB komponenti smanji, sledeći odnosno treći korak je takozvano „severno” zasenčavanje. Ova tehnika obrade RD slike proizvodi efekat „senke“, a osvetljavaju se objekti, odnosno u ovom slučaju objekti od interesa na RD slici sa severne strane. Razlog zašto baš sa severne strane je opisan u nastavku teksta. Kako je cilj da se analizira LED šum, on se prvenstveno nalazi u gornjem i srednjem delu slike, a najmanje u donjem, jer su u tom delu slike najizraženije bliske refleksije elektromagnetnih talasa od, na primer, morskih talasa odnosno Bragove linije koje su najizraženije u donjem delu RD slike, a tu se mogu naći i izražene refleksije od drugih objekata u blizini i to ima daleko veći intenzitet od LED smetnji. Primenom ove tehnike, uočljivije se mogu videti smetnje koje potiču od LED osvetljenja, koje bi inače ostale skrivene i neuočljive u crnoj boji da se ovaj korak nije sproveo.

Četvrti korak predloženog algoritma za detekciju LED šuma predstavlja binarizaciju do tada procesuirane RD slike, što ima za posledicu da se sav sadržaj RD slike prikaže u crnoj i beloj boji. Nakon primene binarizacije, mogu se primetiti objekti od interesa koji su označeni belom bojom. Ovi objekti se prebrojavaju i mere. Međutim, ne uzimaju se svi objekti u obzir i posmatraju se objekti određene veličine. Ovo se postiže definisanjem takozvane „veličine odeljaka” koja se postavlja da bude više od pet kvadratnih piksela. Sa ovim se samo intenzivne smetnje analiziraju, a objekti koji su veličine ispod pet piksela se smatraju zanemarivog intenziteta za predloženi proces detekcije LED šuma. Na kraju se preostali objekti prebrojavaju i definiše se prag. Analiziranjem velikog broja RD slika utvrđeno je da ukoliko ima objekata manje od 100, na RD slici je prisutan LED šum. Slika 8.18 prikazuje kako se menja RD slika u skladu sa definisanim koracima predloženog algoritma za detekciju. Veliki broj RD slika je podvrgnut predloženom algoritmu i njegova uspešnost na 91% slučajeva je verifikovana. U procesu ove verifikacije korišćen je veliki broj RD slika, tačnije oko 1500. Ove slike su napravljene u različito doba dana i noći, kao i u različito doba godine, gde je cilj bio dobijanje reprezentativnog uzorka.

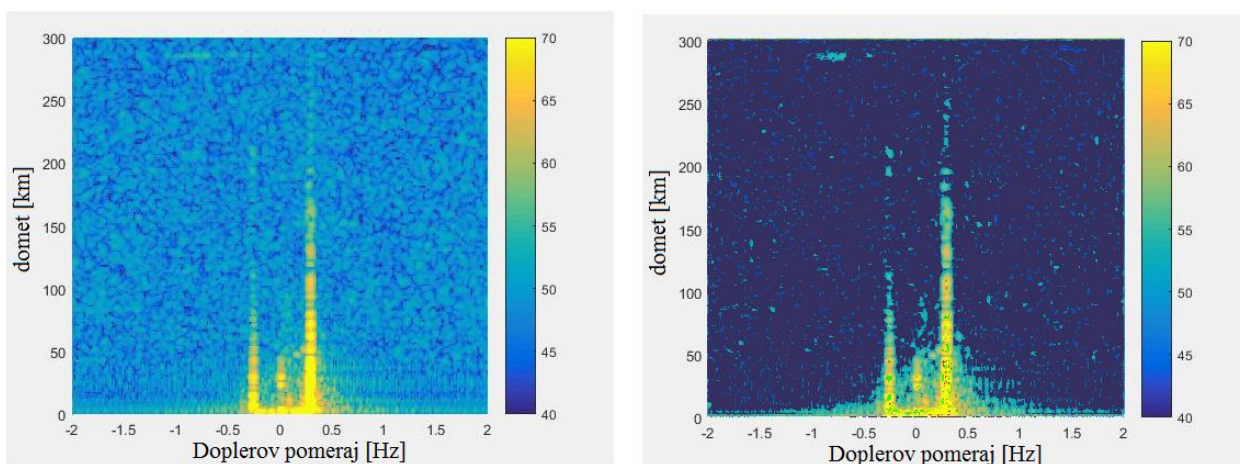


Slika 8.18 Promena originalne RD slike tokom različitih koraka predloženog algoritma za detekciju LED šuma [41]

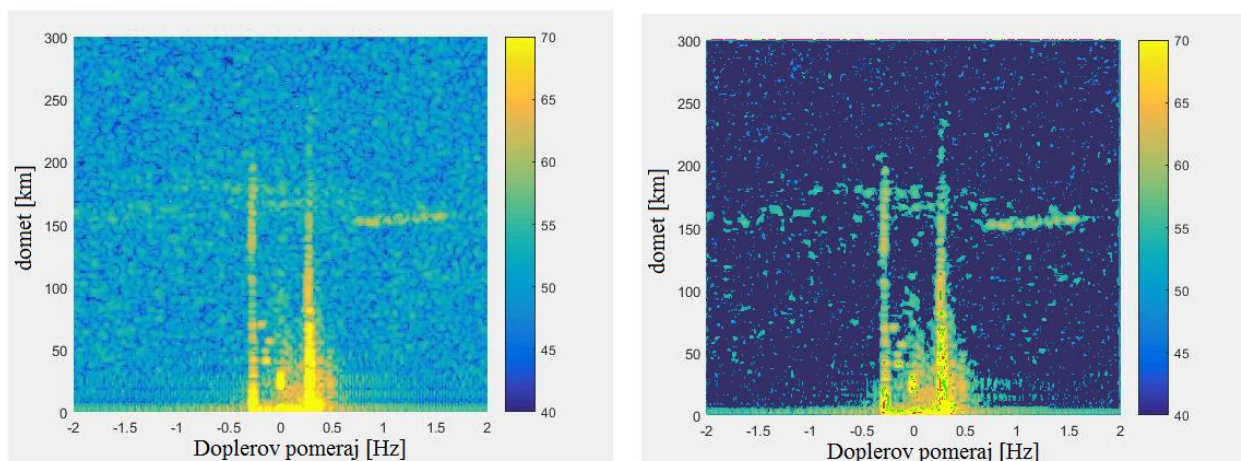
Ovaj algoritam daje binaran odgovor na pitanje da li je dominantan eksterni šum prisutan zahvaljujući LED osvetljenju ili ne. Metode obrade slike koje su opisane u predloženim algoritmima se mogu izvršiti korišćenjem softverskog paketa za obradu slike *FiJi* [101]. Problem kod dobijenih rezultata nakon primenjenog algoritma može nastati ukoliko je u isto vreme prisutan veći broj veoma intenzivnih smetnji, kao što su na primer intenzivne jonosferske smetnje ili neke druge eksterne smetnje, pa će ovaj algoritam proglasiti da na RD slici nije dominantan LED šum, što je i tačno, međutim on je zapravo takođe prisutan. Intenzivne eksterne smetnje nisu česte, međutim one mogu da se dese i smanjuju procenat uspešnosti algoritma.

8.3 Diskusija rezultata

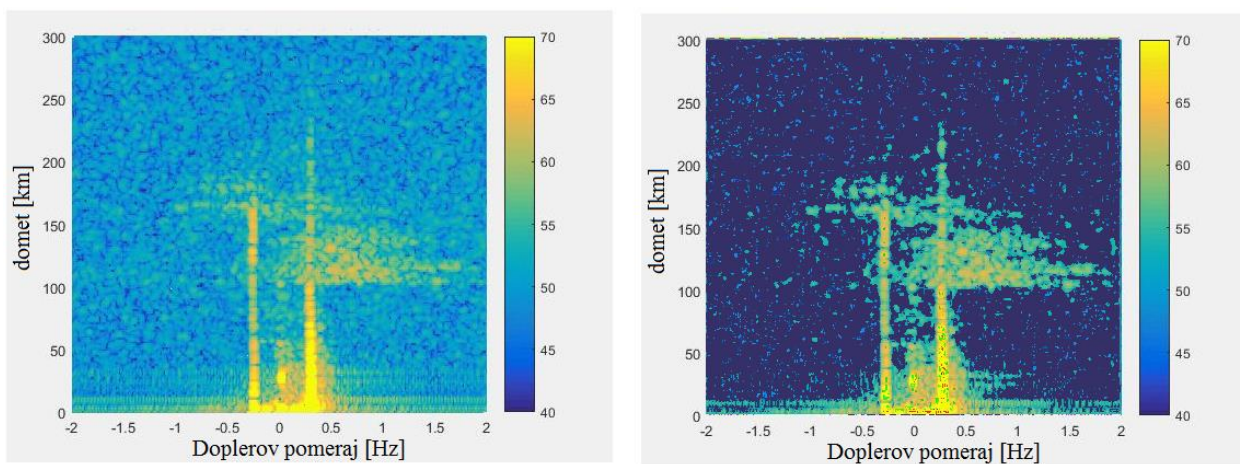
U realnosti, u isto vreme se može javiti više različitih izvora smetnji, kod kratkotalasnih radara najčešće je to jonosferski šum. Slika 8.19, Slika 8.20 i Slika 8.21 prikazuju kako izgledaju RD slike kada je prisutan jonosferski šum različitih intenziteta. Nažalost, predloženi algoritam za mitigaciju neće umanjiti jonosferski šum, već će ga prikazati i dalje procesuirati.



Slika 8.19 Prisutan slab jonoferski šum tokom mitigacije LED šuma na RD slici (levo - RD slika pre mitigacije, desno – RD slika posle mitigacije LED šuma korišćenjem predloženog algoritma)

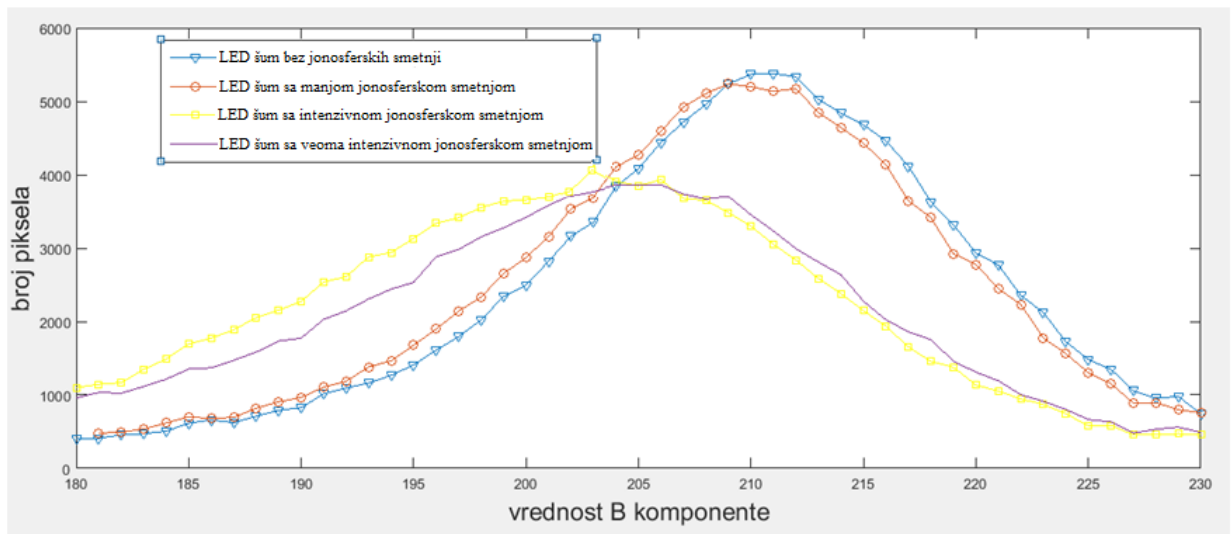


Slika 8.20 Prisutan intenzivni jonoferski šum tokom mitigacije LED šuma na RD slici (levo - RD slika pre mitigacije, desno – RD slika posle mitigacije LED šuma korišćenjem predloženog algoritma) [102]



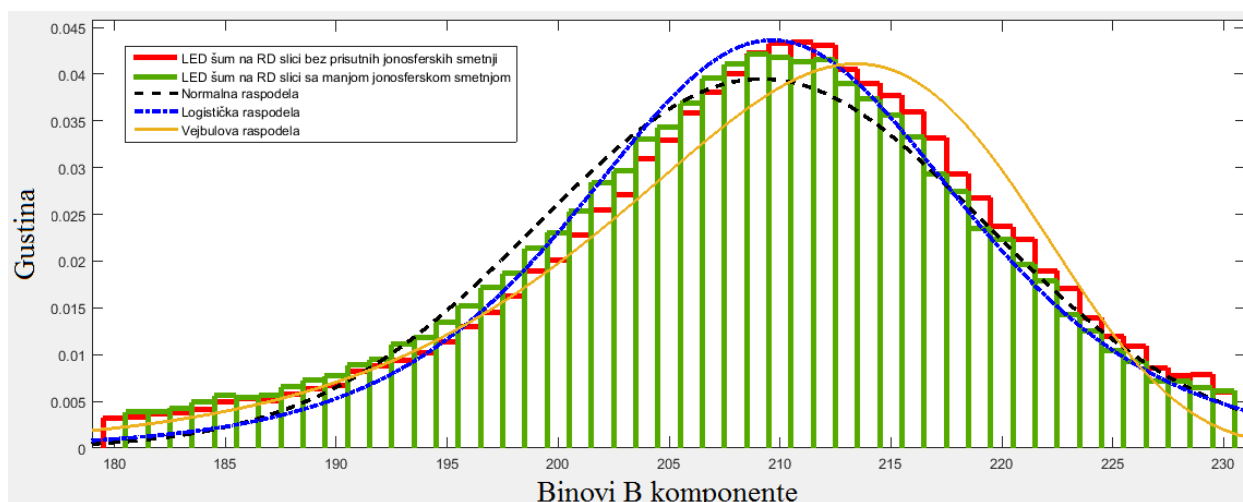
Slika 8.21 Prisutan veoma intenzivan jonoferski šum tokom mitigacije LED šuma na RD slici (levo - RD slika pre mitigacije, desno – RD slika posle mitigacije LED šuma korišćenjem predloženog algoritma)

Prethodno uvedena Slika 8.15, zatim Slika 8.19, Slika 8.20 i Slika 8.21 je prikupljena sistemom za daljinski nadzor i upravljanje kratkotalasnim radarom [103] i ove su prikazani primeri RD slika kada je prisutan LED šum, a jonosferski šum postepeno raste, respektivno. Kao što je već rečeno, kada se analizira histogram ovih slika, najugroženija područja pripadaju binovima vrednosti između 180 i 230. Slika 8.22 prikazuje histograme za prethodno pomenute četiri slike koje su degradirane LED šumom.

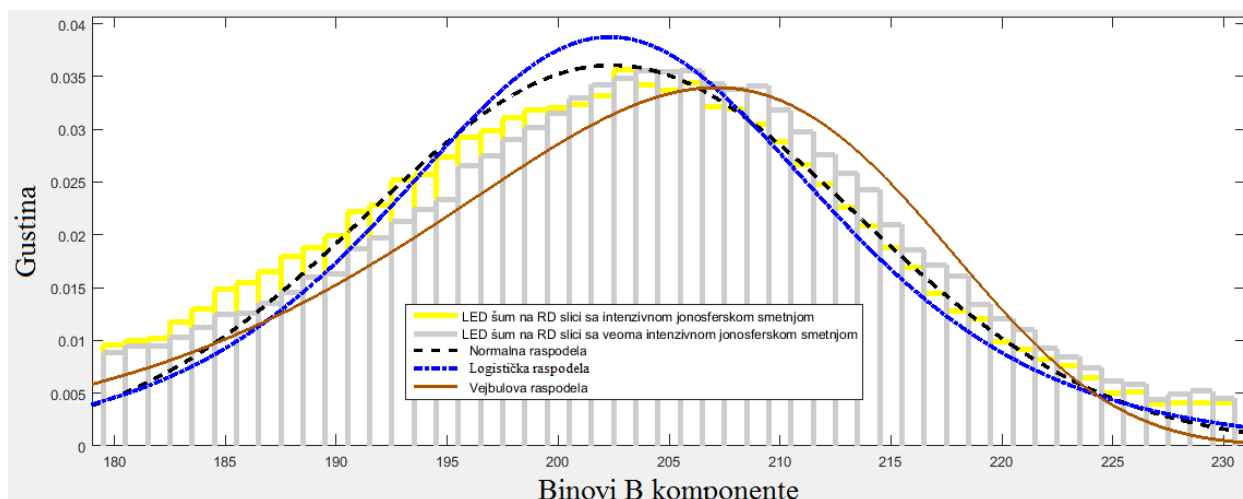


Slika 8.22 Histograme različitih RD slika degradiranih LED šumom sa različitim jonosferskim smetnjama

Kada se analizira Slika 8.22, može se primetiti da za veće intenzitete drugih smetnji, amplituda histograma opada. Generalno najbitniji korak u odlučivanju praga detektovanja LED šuma, odnosno definisanja šta pripada LED ugroženim područjima, a šta ne se postiže zahvaljujući histogramu, gde se u ovim istraživanjima prvenstveno analizira B komponenta. Kada se posmatra Slika 8.22 RD slike se grubo mogu podeliti na dva tipa, gde su prvi tip RD slike sa malo ili jako slabim jonosferskim smetnjama i drugi tip RD slike sa intenzivnim jonosferskim smetnjama. I u jednom i u drugom slučaju LED šum je prisutan. Ukoliko se ovi binovi žele analizirati preko funkcije gustine raspodele, Slika 8.23 prikazuje prvi tip a Slika 8.24 prikazuje drugi tip.



Slika 8.23 Histogram B komponente ugroženih binova LED šumom na RD slici uz dodatni slab ili nimalo prisutan jonosferski šum



Slika 8.24 Histogram B komponente ugroženih binova LED šumom na RD slici uz dodatno prisustvo intenzivnog jonosferskog šuma

Kao što se može primetiti, tri raspodele su uzete u obzir. Za slučajnu promenljivu se uzimaju binovi B komponente i vrednosti koje su od interesa su u opsegu između 180 i 230. Cilj je opisati slučajnu promenljivu sa određenom funkcijom gustine raspodele, usled očitavanja vrednosti ovih binova kod mogućih realizacija na terenu.

Gausova raspodela se definiše funkcijom gustine verovatnoće, koja je prikazana formulom (8.1), dok je odgovarajuća funkcija raspodele prikazana formulom (8.2) [104]:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, -\infty < x < \infty \quad (8.1)$$

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(u-\mu)^2}{2\sigma^2}} du \quad (8.2)$$

U ovim formulama, μ predstavlja srednju vrednost, a σ^2 predstavlja varijansu, odnosno srednje kvadratno odstupanje od srednje vrednosti, dok veličina σ označava standardnu devijaciju.

Kada se govori o funkciji gustine verovatnoće dvoparametarske Weibulove raspodele ona se može definisati formulom (8.3), dok je njena odgovarajuća funkcija raspodele prikazana formulom (8.4) [104]:

$$f(x) = \frac{a}{b} \left(\frac{x}{b}\right)^{a-1} e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^a}, \quad x > 0 \quad (8.3)$$

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^a} \quad (8.4)$$

U jednačinama (8.3) i (8.4), a označava parametar oblika, dok b predstavlja parametar skaliranja.

U slučaju logističke raspodele, funkcija gustine verovatnoće se može definisati formulom (8.5), dok je njena odgovarajuća funkcija raspodele prikazana formulom (8.6) [104]:

$$f(x) = \frac{e^{-\frac{x-\mu}{s}}}{s \left(1 + e^{-\frac{x-\mu}{s}}\right)^2}, \quad -\infty < x < \infty \quad (8.5)$$

$$F(x) = \frac{1}{1 + e^{-\frac{x-\mu}{s}}}, \quad -\infty < x < \infty \quad (8.6)$$

U jednačinama (8.5) i (8.6), parametar μ predstavlja srednju vrednost, dok se varijansa može dobiti formulom (8.7), koristeći parametar s iz formule (8.6) [104]:

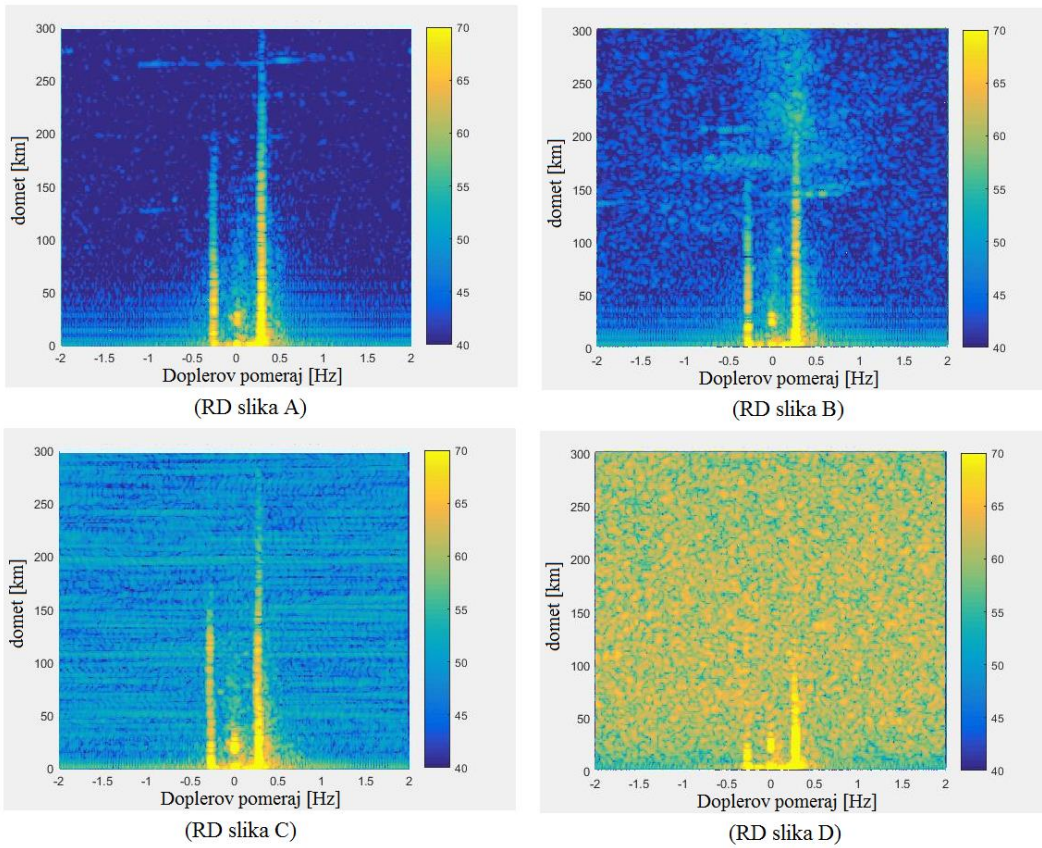
$$\sigma^2 = \frac{s^2 \pi^2}{3} \quad (8.7)$$

Slika 8.23 i Slika 8.24 prikazuju različite raspodele za dva slučaja, dok Tabela 8.4 prikazuje vrednosti parametara tih raspodela koje se najbolje poklapaju za prikupljene uzorke sa terena. Može se primetiti da u slučaju 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.

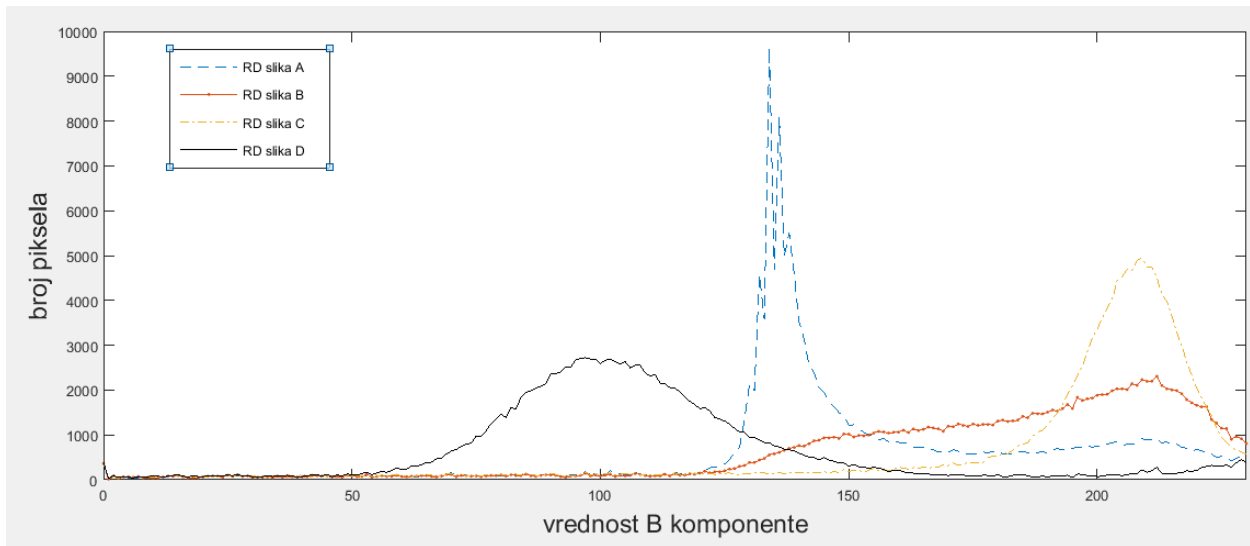
Tabela 8.4 Vrednosti parametara različitih raspodela za različite slučajeve RD slika u prisustvu LED šuma

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

Dakle, histogram za LED šum je prikazan i poznato izgleda, kao što je poznato da je najintenzivniji i samim tim najugroženiji deo vrednosti binova između 180 i 230 za B komponentu. Međutim, može se postaviti pitanje koje glasi kako izgleda histogram kada LED šum nije prisutan, za različite slučajeve RD slike, odnosno u prisustvu različitih eksternih smetnji. Slika 8.25 daje prikaz nekoliko različitih reprezentativnih slučajeva kada LED šum nije prisutan, dok Slika 8.26 prikazuje histograme za pomenute slučajeve.

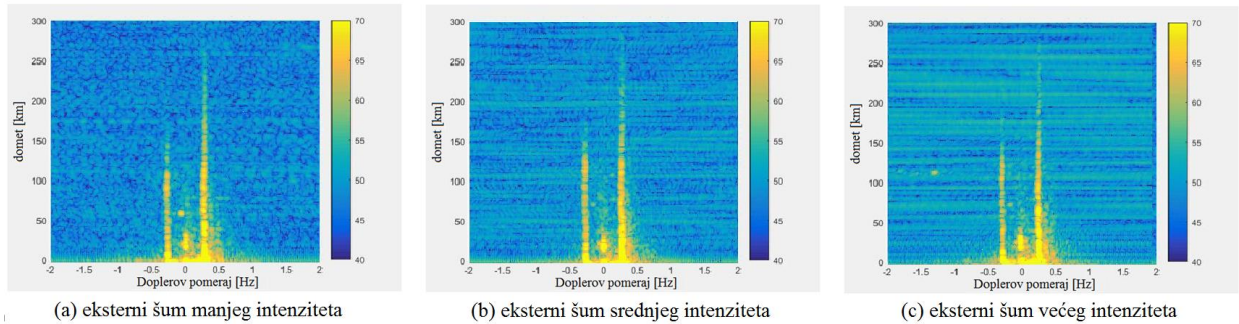


Slika 8.25 Primeri RD slika bez prisustva LED šuma, ali degradirane nekim drugim šumom: A – slabija jonosferska smetnja, B – intenzivnija jonosferska smetnja, C – intenzivnija eksterna nepoznata smetnja, D – veoma intenzivna eksterna nepoznata smetnja

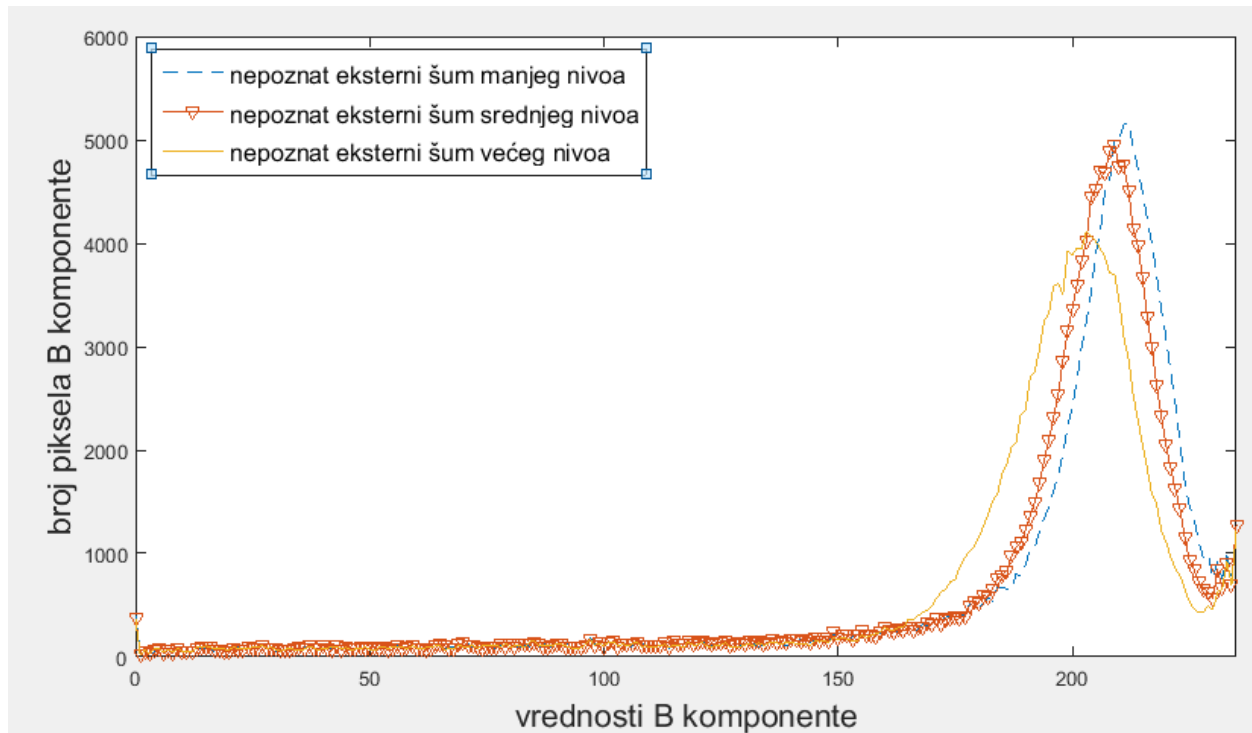


Slika 8.26 Poređenje histograma B komponente za različite RD slike kada nije prisutan LED šum, ali je prisutan neki drugi eksterni šum

Dakle, može se jasno razlikovati LED šum za većinu eksternih smetnji, osim u slučaju C, kada je nepoznat tip eksternih smetnji prisutan. Bitno je pomenuti da tip RD slika C i RD slika D definitivno nisu od istog izvora, međutim tip C je najzanimljiviji jer najviše podseća na LED šum. Kao i svaki tip smetnji, i ovaj tip može biti manjeg, srednjeg ili većeg intenziteta. Slika 8.27 prikazuje ova tri različita slučaja tipa C, dok Slika 8.28 prikazuje histograme B komponente za ova tri slučaja.

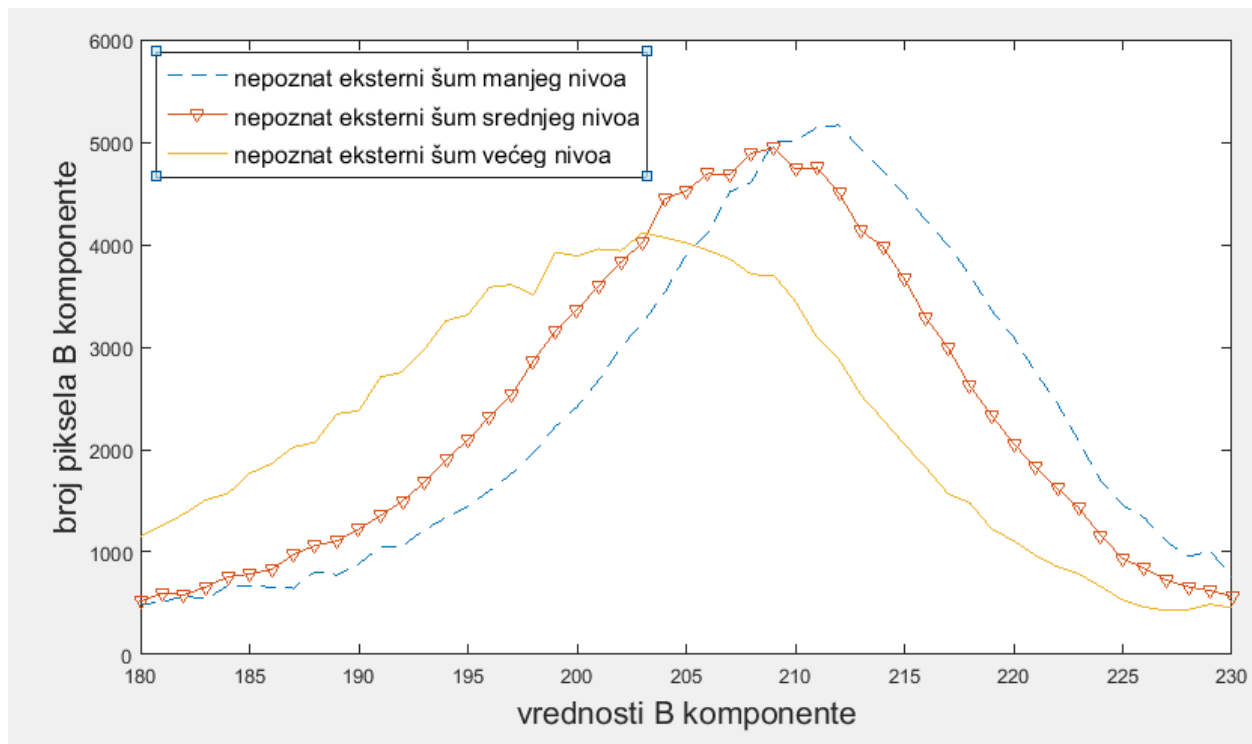


Slika 8.27 RD slika bez prisustva LED šuma, ali uz prisustvo nepoznatog eksternog šuma različitog intenziteta



Slika 8.28 Histogram B komponente eksternog šuma različitog intenziteta

Histogram kod ovog slučaja zaista dosta podseća na prisustvo LED šuma. Ukoliko se analiziraju definisani ugroženi binovi kod LED šuma za ovaj eksterni šum različitih intenziteta (Slika 8.29), zaista se može doći do pogrešnog zaključka da ovaj tip smetnji potiče od LED šuma. Zbog toga je potrebno razviti algoritam, gde je predlog jednog takvog algoritma dat u poglavlju 8.2, koji će preciznije detektovati da li šum potiče od LED osvetljenja ili ne, kako bi se kasnije uspešnije izvršila mitigacija ovog šuma na RD slici uz pomoć predloženog algoritma za mitigaciju LED šuma, opisanog u poglavlju 8.1. Algoritmi za detekciju i mitigaciju LED šuma opisani u ovim poglavljima sa zadovoljavajućim uspehom detektuju i umanjuju LED šum, a za verifikovanje ovih rezultata korišćene su RD slike koje su sakupljene sa operative radarske lokacije koja je instalirana na zapadnoj obali afričkog kontinenta. Svakako, kao što je već pomenuto, u malom procentu slučajeva može se desiti da algoritam za detekciju proglaši da je LED šum prisutan, iako nije. Ovo se može desiti u slučaju veoma intenzivne eksterne smetnje koja se retko javlja. Ukoliko se pak na ovakvu RD sliku dalje primeni predloženi algoritam za mitigaciju LED šuma, deo tog nepoznatog eksternog šuma će biti umanjen, ali ne toliko dobro kao što bi se umanjio LED šum. Svakako, ovo je očekivano, jer algoritam za mitigaciju se bazira na specifičnom potpisu LED šuma na RD slici, pa shodno tome i njegovom umanjenju. Ali benefit algoritma za mitigaciju čak i u ovakvom scenariju svakako postoji, jer se makar deo tog eksternog šuma umanjio, čime se povećava verovatnoća detekcije brodova od interesa, a smanjuje verovatnoća generisanja lažnog alarma.



Slika 8.29 Prikaz kritičnih binova uz prisustvo samo nepoznatog eksternog šuma istog tipa

9 ZAKLJUČAK

Na telekomunikacione sisteme negativno utiče elektromagnetski šum koji se može pridružiti korisnom signalu i ovim se informacioni sadržaj korisnog signala može maskirati. U ovoj disertaciji je razmatran eksterni tip šuma koji potiče od LED osvetljenja radijacionim putem i analiziran je uticaj ovog šuma na kratkotalasni radar koji je namenjen prvenstveno za detekciju brodova na moru i koristi površinske elektromagnetne talase.

LED osvetljenje u novije vreme dobija veliku popularnost i često se koristi i u rezidencijalnim i poslovnim postrojenjima. Nesvesno se, veoma često, ovi tipovi osvetljenja stavljaju u blizinu raznih telekomunikacionih uređaja, čime se degradiraju njihove performanse. Ljudi se uglavnom odlučuju za LED tip osvetljenja jer se on karakteriše sa znatno nižom potrošnjom struje, manjom veličinom i dužim radnim vekom. Problem koji se javlja jeste to što oni imaju prekidački izvor napajanja, takozvane drajvere, zahvaljujući kojima se emituju značajne elektromagnetne smetnje i za posledicu postoje negativni uticaji na performanse rada kratkotalasnog radara.

Kratkotalasni tip radara analiziran u ovoj disertaciji ostvaruje velike zone pokrivanja i na njegove performanse mogu uticati brojni faktori, kao što su električna svojstva morske vode, visine talasa na moru, odnosno okeanu, i naravno elektromagnetne smetnje. Kod kratkotalasnih radara se može javiti i interni i eksterni šum, međutim kod ovog radara eksterni šum ima daleko veći uticaj na ispravnu detekciju ciljeva od interesa. Različiti izvori smetnji mogu biti, kao što su jonosferski šum, interferencije od drugih korisnika radio-spektra, šum izazvan čovekovim uticajem i slično. Nekada se može desiti da čak bude prisutno više smetnji simultano. Ovde je akcenat stavljen na smetnjama koje potiču od LED osvetljenja, jer je ovo nedovoljno istražena oblast na HF opsegu i ne postoje istraživanja (koliko je nama poznato), osim koje je sproveo i publikovao autor ove disertacije, kako se LED šum manifestuje kod kratkotalasnog radara. Vezano za frekvencijske opsege iznad 30 MHz postoje brojna istraživanja, stoga ovi frekvencijski opsezi nisu dalje analizirani. Razne reference analiziraju kako eliminisati eksterne smetnje koje utiču na radar, međutim u ovoj disertaciji odlučeno je da se primene tehnike obrade RD slike, kako bi se eliminisao LED šum i dalje procesuirala slika, u cilju ekstrahovanja radarskih ciljeva. RD slika daje prezentaciju spektralne gustine snage radarskog eha i po jednoj osi označava Doplerovu frekvenciju, dok po drugoj označava rastojanje radarskog cilja od kratkotalasnog radara. Radarski eho, kao i druge detekcije ili smetnje se na RD slici označavaju određenom bojom. LED šum značajno može degradirati performanse i to se vidno može primetiti analizirajući RD sliku.

Predmet istraživanja koja su sprovedena u ovoj disertacije su već pomenuti tip radijacionog LED šuma i uticaj ovog šuma na kratkotalasni radar. Kako je oblast radijacionih LED smetnji na HF opsegu nedovoljno istražena, prvo su sprovedena merenja u polu-anehoičnoj sobi, a zatim i u realnim uslovima na terenu.

U Vojno-tehničkom institutu u Beogradu, u laboratoriji za elektromagnetnu kompatibilnost izvršena su eksperimentalna istraživanja za različite tipove LED panela i sijalica i od različitih proizvođača koji imaju različite karakteristike i dobijeni su reprezentativni rezultati odakle se mogu dobiti zaključci u kojim opsezima se javljaju intenzivne smetnje i u kom nivou. Na ovaj način se merenja mogu ponoviti i nijedan drugi tip interferencije nije prisutan, čime se dobijaju pravi merni podaci koji potiču isključivo od LED osvetljenja. Merenja su vršena sa veoma kvalitetnom mernom opremom i u skladu sa međunarodnim standardima. Pokazano je da se na nekim frekvencijskim opsezima unutar HF opsega, sa 6 W LED panelom šum može podići čak i do 40 dB. Rezultati su pokazali takođe i koji frekvencijski opsezi su ugroženi LED šumom, a koji ne.

Nakon laboratorijskih ispitivanja, merenja su obavljena na operativnoj radarskoj lokaciji na zapadnoj obali afričkog kontinenta za jedan LED panel od 6 W koji je identičan LED panelu za koja su testiranja vršena u polu-anehoičnoj sobi. Potvrđeni su rezultati dobijeni u laboratorijskim uslovima i prikupljen je veliki broj uzoraka, u različito doba dana i godišnjih doba u vidu RD slike, nad kojima su se sprovele tehnike obrade slike.

Predloženi model je testiran nad sakupljenim realnim uzorcima i opisuje na koji način se mogu eliminisati smetnje na RD slici koje potiču od LED panela i koji panel konkretno na oko 6,7 MHz podiže nivo šuma za oko 10 dB. Nakon toga, dat je predlog još jednog algoritma za detekciju LED šuma, koji može dati odgovor na to da li dominantni izvor šuma potiče od LED panela ili ne. Ovaj algoritam takođe koristi tehnike obrade RD slike. Ovo predstavlja bitan korak jer je veliki izazov tačno odrediti šta zapravo emituje elektromagnetne smetnje. Algoritam za mitigaciju ima za cilj umanjeno LED šuma, čime se mogu povećati sposobnosti detekcije kratkotalasnog radara. U sklopu ovog algoritma za mitigaciju, histogrami boja se analiziraju, vrši se razdvajanje slike na razne komponente, kao i binarizacija slike, sve u cilju boljeg dobijanja odnosa signal-šum i kvalitetnijem radu radara. Algoritam za mitigaciju veoma uspešno umanjuje LED šum na RD slici, a da se pri tom radarski ciljevi ne ugroze, čime se pospešuju detekciona svojstva radara. Kolor model korišćen u ovim istraživanjima je RGB model. Veliki broj RD slika je uspešno procesuiran, a prikazani su i slučajevi kako izgleda kada se simultano javi više tipova smetnji. Istraživanja su sprovedena koristeći softverske alate *Matlab* i *FiJi*, koji su se pokazali kao podobni alati za obradu RD slike.

Najznačajni naučni doprinosi u okviru ove disertacije su sledeći:

- Analiziran je LED šum na HF frekvencijskom opsegu. Prisustvo LED šuma na ovom frekvencijskom opsegu je nedovoljno istraženo i sa rezultatima dobijenim u laboratorijski kontrolisanim uslovima i sa različitim proizvođačima LED panela i sijalica može se steći predstava koji frekvencijski opsezi su ugroženi LED šumom i u kojoj meri. Ovo može biti polazna tačka za definisanje radne frekvencije bilo kog telekomunikacionog uređaja.
- Analiziran je uticaj radijacionog LED šuma na kratkotalasni radar, što je u potpunosti neistražena oblast.
- Dat je predlog algoritama koji umanjuju LED šum, koristeći metode obrade LED slike. Ovaj algoritam je primenjen nad realnim podacima koji su sakupljeni sa operativne radarske lokacije. Podaci su prikupljeni u različito doba dana i noći, kao i u različito doba godine i algoritam daje zadovoljavajuće rezultate kada se primeni nad prikupljenim RD slikama.
- Predložen je algoritam za detekciju LED šuma, čime se može zaključiti da li je dominantan šum na RD slici uzrokovan LED smetnjama ili ne. Ovaj algoritam se takođe bazira na metodama obrade slike. Slično kao i u prethodnom algoritmu, RD slike za testiranje ovog algoritma su takođe prikupljene sa operativne radarske lokacije i za različita doba dana, noći, odnosno godišnjih doba.

Mogućnosti za dalja unapređenja i buduća istraživanja su višestruke. Kao što je već pomenuto, akcent u ovoj disertaciji je stavljen na LED smetnjama. Međutim, LED šum nije jedini tip smetnji koji se može javiti. U dobijenim uzorcima sa terena prikazano je da se jonoferski šum takođe može simultano javiti, kao i nepoznati eksterni šumovi, najverovatnije uzrokovani zahvaljujući drugim korisnicima radio-spektra, ili pak atmosferskim pražnjenjima. Predloženi algoritam ne umanjuje uspešno ove smetnje, a te smetnje takođe degradiraju performanse radara. Buduća istraživanja bi mogla da se fokusiraju na simultanoj mitigaciji LED šuma, kao i drugih tipova smetnji, na primer jonoferskog šuma. Takođe, najbitniji korak u algoritmu za mitigaciju šuma je određivanje praga, odnosno definisanje koji pikseli RD slike su ugroženi LED šumom a koji ne. Predloženi prag daje jako dobre rezultate, ali buduća

istraživanja mogu malo detaljnije analizirati na koje vrednosti treba definisati prag, koji možda čak može biti i adaptivan u zavisnosti od realnih uslova. Takođe, istraživanja se mogu sprovesti i nad konačnim brojem detektovanih brodova na izlazu CFAR algoritma nakon primene predloženih metoda mitigacije šuma iz ove disertacije. Detaljnije analiziranje efektivne površine brodova takođe može biti uključeno u ovu problematiku. Takođe, detaljnija statistička istraživanja se mogu sprovesti nad histogramom boja RD slika koje su ugrožene LED šumom. Konduktivne smetnje koje generiše LED osvetljenje se takođe mogu analizirati za pomenutu problematiku.

LITERATURA

- [1] International agreement, "United Nations Convention on the Law of the Sea", Third United Nations Conference on the Law of the Sea, Montego Bay, Jamaica, 1982.
- [2] F. Wan, H. Cao, S. An, C. Feng, G. Hu, J. Ge, "Characterization of Electromagnetic Interference from LED", *Electronics Letters*, pp. 143-144, 2016.
- [3] A. Đuretić, "Elektromagnetska kompatibilnost LED svetiljki", *Osvetljenje 2016*, Zlatar, str. 1-17, 2016.
- [4] "Pravilnik o elektromagnetskoj kompatibilnosti", *Službeni glasnik Republike Srbije*, br. 13/2010, str. 1-15, 2010.
- [5] Privredna Komora Srbije. <http://www.pks.rs/CEznak.aspx?ID=1909>, [pristup novembar 2018.]
- [6] Y. Matsumoto, I. Wu, K. Gotoh, S. Ishigami, "Measurement and Modelling of Electromagnetic Noise from LED Light Bulbs", *IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine*, pp. 58-66, 2013.
- [7] I. Setiawan, C. Keyer, M. Azpurua, F. Silva, F. Leferink, "Time-Domain Measurement Technique to Analyze Cyclic Short Time Interference in Power Supply Networks", *Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility (APEMC)*, Shenzhen, China, pp. 279-282, 2016.
- [8] I. Wu, S. Ishigami, Y. Matsumoto, "A Method to Identify the Noise from LED Light bulbs by Comparing the Time Domain Characteristics of Impulsive Electromagnetic Noise and Light Emission", *IEICE Communication Express*, vol. 1, no. 5, pp. 184-189, 2012.
- [9] I. Wu, S. Ishigami, Y. Matsumoto, "Evaluation of Distribution of Switching Noise Generated by LED Lamp on Lighting Duct Rail", *IEICE Communications Express*, vol. 2, no. 11, pp. 478-483, 2013.
- [10] I. Wu, S. Ishigami, Y. Matsumoto, "Evaluation of Radiation Mechanism of LED Noise and its Impact on Communication Quality of Digital Terrestrial Television Broadcasting", *IEEE Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Taipei, Taiwan, pp. 128-131, 2015.
- [11] I. Wu, H. Ohta, K. Gotoh, S. Ishigami, Y. Matsumoto, "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.
- [12] I. Wu, H. Ohta, K. Gotoh, S. Ishigami, Y. Matsumoto, "Characteristics of Radiation Noise from an LED Lamp and its Effect on the BER Performance of an OFDM System for DTTB", *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 56, no. 1, pp. 132-142, Februar 2013.
- [13] K. Ishida, T. Yoshida, S. Arie, M. Matsuzuku, E. Hanada, M. Hirose, "Study of Electromagnetic Noise Radiated Led Shadowless Lighting and its Effect on Surgical Navigation System", *International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Netherlands, pp. 866-869, 2018.
- [14] K. Ishida, K. Suzuki, E. Hanada, M. Hirose, "EMC of Wireless Medical Telemeters and Noise Radiated from Light Emitting Diode Lamps", *International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Angers, France, 2017.

- [15] K. Ishida, S. Arie, I. Wu, K. Gotoh, Y. Matsumoto, "Impact of LED Lamp Noise on Receiver Sensitivity of Wireless Medical Telemetry System", *IEICE Communications Express*, vol. 1, pp. 1-6, September 2018.
- [16] K. Ishida, S. Arie, K. Gotoh, E. Hanada, M. Hirose, Y. Matsumoto, "Electromagnetic Compatibility of Wireless Medical Telemetry Systems and Light-Emitting Diode (LED) Lamps", *Przegląd Elektrotechniczny*, pp. 25-28, February 2018.
- [17] K. Ishida, K. Gotoh et al. "Electromagnetic Compatibility of Light-Emitting Diode (LED) Lamps and Wireless Medical Telemeters", *International Conference on Electromagnetic Disturbances*, Białystok, Poland, pp. 43-46, 2017.
- [18] ITU-R, "Radio noise", *P Series Radiowave propagation P.372-13*, September 2016.
- [19] ITU-R, "Methods for measurements of radio noise", *SM Series Spectrum management SM.1753-2*, September 2012.
- [20] ITU-R, "Man-made noise measurements in the HF range", *SM Series Spectrum management SM.2155*, September 2009.
- [21] International Electrotechnical Commission standard CISPR, "Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of electrical lighting and similar equipment", *International Electrotechnical Commission*, Geneva, Switzerland, 2018.
- [22] S. Braun, "Spectrum Analysis and EMI measurements Based on Time-Domain Methods", *Conference on Microwave Techniques COMITE 2010*, Brno, Czech Republic, 2010.
- [23] T. Karaca, B. Deutschmann, G. Winkler, "EMI-Receiver Simulation Model with Quasi-Peak Detector", *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC)*, Dresden, Germany, pp. 891-896, 2015.
- [24] F. Krug, S. Braun, Y. Kishida, P. Russer, "A novel Digital Quasi-Peak Detector for Time Domain Measurements", *European Microwave Conference*, Munich, Germany, pp. 1027-1030, 2003.
- [25] Andreja Samčović, „Geografski informacioni sistemi”, *Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet*, str. 115, 2019.
- [26] L. Bruno, P. Braca, J. Horstmann, M. Vespe, "Experimental Evaluation of the Range-Doppler Coupling on HF Surface Wave Radars", *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 10, no. 4, pp. 850-854, 2013.
- [27] 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.
- [28] B. Džolić, D. Nikolić, N. Tošić, V. Orlić, B. Todorović, "System for Remote Monitoring and Control of HF-OTH Radar", *International Scientific Conference on Defensive Technologies OTEH*, Belgrade, Serbia, pp. 710-714, 2016.
- [29] S. Maresca, P. Braca, J. Horstmann, R. Grasso, "Maritime Surveillance Using Multiple High-Frequency Surface-Wave Radars", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 52, no. 8, pp. 5056-5071, 2014.

- [30] S. Anderson, "Monitoring The Marginal Ice Zone with HF radar", IEEE Radar Conference, Seattle, WA, USA, pp. 289-293, 2017.
- [31] S. Anderson, "HF Radar Signatures of Ocean Surface Geometry and Dynamics Arising from Localized Disturbances", IEEE Radar Conference, Arlington, VA, USA, pp. 1361-1364, 2015.
- [32] A. Dzvonkovskaya, D. Nikolić, V. Orlić, M. Perić, N. Tošić, "Remote Observation of a Small Meteotsunami in the Bight of Benin Using HF Radar Operating in Lower HF Band", IEEE Access, pp. 88601-88608, 2019.
- [33] Merrill Skolnik, Radar handbook, third edition, USA: McGraww-Hill, 2008.
- [34] N. Tošić, B. Džolić, D. Nikolić, N. Lekić, B. Todorović, „Izazovi pri projektovanju HFSW radara”, Konferencija za elektroniku, telekomunikacije, računarstvo, automatiku i nuklearnu tehniku ETRAN, Zlatibor, Srbija, str. TE2.1.1-TE2.1.5, Jun 2016.
- [35] T. Helzel, M. Kniephoff, L. Petersen, "WERA: Remote Ocean Sensing for Current, Wave and Wind Direction", IEEE US/EU Baltic International Symposium, Klaipeda, Lithuania, 2006.
- [36] D. Nikolić, N. Stojković, Z. Popović, N. Tošić, N. Lekić, Z. Stanković, N. Dončov, "Maritime Over the Horizon Sensor Integration: HFSWR Data Fusion Algorithm", Remote Sensing, vol. 11, no. 7, April 2019.
- [37] C. Yang, E. Blasch, "Estimating Target Range-Doppler Image Slope for Maneuver Indication", SPIE Defense and Security Symposium, Orlando, Florida, USA, pp. 696808:1-696808:12., 2008.
- [38] D. Nikolić, B. Džolić, N. Tošić, V. Orlić, B. Todorović, "HFSW Radar Design: Tactical, Technological and Environmental Challenges", International Scientific Conference on Defensive Technologies OTEH, Belgrade, Serbia, pp. 349-354, 2016.
- [39] A. Dzvonkoskaya, 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, 2007.
- [40] K.W. Gurgel, T. Schlick, "Remarks on Signal Processing in HF Radars Using FMCW Modulation", University of Hamburg, Hamburg, Germany, 2010.
- [41] 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.
- [42] S. Anderson, "OTH Radar Phenomenology: Signal Interpretation and Target Characterization at HF", IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, vol. 32, no. 12, pp. 4-16, 2017.
- [43] 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.
- [44] G. H. Brown, R. F. Lewis, J. Epstein, "Ground Systems as a Factor in Antenna Efficiency", Proceeding of the Institute of Radio Engineers, vol. 25, no. 6, pp. 753-787, 1937.
- [45] J. Belrose, "Vertical Monopoles with Elevated Radials: An Up-Date", International Conference on Antennas and Propagation, Edinburgh, UK, pp. 1190-1195, 1997.

- [46] D. Nikolić, N. Stojković, P. Petrović, N. Tošić, N. Lekić, Z. Stanković, "The High Frequency Surface Wave Radar Solution for Vessel Tracking Beyond the Horizon", *Facta Universitatis*, vol. 33, pp. 37-59, 2019.
- [47] Ratel, "Upustvo o merenjima tehničkih i drugih parametara baznih stanica mobilne telefonije", Beograd, 2013.
- [48] Anshu Gupta, "Theory and Measurement Validation of Novel HF SWR Receiver Architecture: Antenna Design, Clutter Suppression and Detection", Doctoral Dissertation: Department of Electrical Engineering, Helmut Schmidt University, Hamburg, Germany, 2015.
- [49] A. Dzvonkovskaya, K. W. Gurgel, H. Rohling, T. Schick, "Low Power High Frequency Surface Wave Radar Application for Ship Detection and Tracking", *International Conference on Radar*, Adelaide, SA, Australia, pp. 627-632, 2008.
- [50] K. W. Gurgel, H. Essen, T. Schlick, "The University of Hamburg WERA HF Radar - Theory and Solutions", *First International Radiowave Oceanography Workshop ROW 2001 Proceedings*, USA, pp. 1-7, 2001.
- [51] R. A. Monzingo, R. L. Haupt, T. W. Miller, "Introduction to Adaptive Arrays", Scitech Publishing, USA, 2011.
- [52] Y. Huang, P. V. Brennan et al., "FMCW Based MIMO Imaging Radar for Marine Navigation", *Progress in Electromagnetics Research*, vol. 115, pp. 327-342, 2011.
- [53] N. Stojković, D. Nikolić, P. Petrović, N. Tošić, I. Gluvačević, N. Stojiljković, "An Implementation of DBF and CFAR Models in OTHR Signal Processing", *IEEE International Colloquium on Signal Processing and its Applications*, Penang, Malezia, pp. 7-11, 2019.
- [54] N. Stojković, D. Nikolić, B. Džolić, N. Tošić, V. Orlić, N. Lekić, B. Todorović, "An Implementation of Tracking Algorithm for Over-The-Horizon Surface Wave Radar", *Telecommunications Forum Telfor*, Belgrade, Serbia, pp. 459-462, 2016.
- [55] D. D. Crombie, "Doppler Spectrum of Sea Echo at 13.56 Mc./s.", *International Journal of Science Nature*, no. 175, pp. 681-682, 1955.
- [56] S. Grosdidier, A. Baussard, A. Khenchaf, "HFSW Radar Model: Simulation and Measurement", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 48, no. 9, pp. 3539-3549, September 2010.
- [57] Y. Li, M. K. He, N. Zhang, "An Ionospheric Clutter Recognition Method Based on Machine Learning", *IEEE International Symposium on Antennas and Propagation*, San Diego, CA, USA, pp. 1637-1638, 2017.
- [58] H. Gao, G. Li, Y. Li, Z. Yang, X. Wu, "Ionospheric Effect of HF Surface Wave Over-the-Horizon Radar", *Radio Science*, vol. 41, no. 06, 2006.
- [59] R. Deming, J. Schindler, L. Perlovsky, "Multi-Target/Multi-Sensor Tracking Using Only Range and Doppler Measurements", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 45, no. 2, pp. 593-611, April 2009.

- [60] W. Xianrong, C. Feng, K. Hengyu, "Experimental Trials on Ionospheric Clutter Suppression for High-Frequency Surface Wave Radar", *IEE Proceedings-Radar Sonar Navigation*, vol. 153, no. 1, pp. 23-29, February 2006.
- [61] S. Grosdidier, A. Baussard, "Ship Detection Based on Morphological Component Analysis of High-Frequency Surface Wave Radar Images", *IET Radar Sonar Navigation*, vol. 6, no. 9, pp. 813-821, April 2012.
- [62] Y. Li, W. Zeng, N. Zhang, W. Tang "Gabor Feature Based Ionospheric Clutter Region Extraction in Range-Doppler Map", *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, Memphis, TN, USA, pp. 267-270, 2014.
- [63] D. Yulian, R. Hidayat, H. A. Nugroho, A. A. Lestari, F. Prasaja, "Automated Ship Detection With Image Enhancement and Feature Extraction in FMCW Marine Radars", *International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics and Telecommunications*, Jakarta, Indonesia, pp. 58-63, 2017.
- [64] D. Feng, S. Wu, G. Wei, "Multi-Targets Miss Distance Measurement Using Sequential Range-Doppler image", *IEEE International Conference on Signal Processing*, Beijing, China, pp. 1839-1842, 2012.
- [65] Y. Ji, J. Zhang, Y. Wang, X. Chu, "Vessel Target Detection Based on Fusion Range-Doppler Image for Dual-Frequency High-Frequency Surface Wave Radar", *IET Radar, Sonar and Navigation*, vol. 10, no. 2, pp. 333-340, 2016.
- [66] D. Jingwei, W. Xiaowei, L. Huile, L. Juyan, "Processing Method of Marine Radar Image Based on Wavelet Transform", *IEEE International Conference on Electronic Measurement and Instruments*, Harbin, China, pp. 704-707, 2013.
- [67] W. Wang, L. R. Wyatt, "Radio Frequency Interference Cancellation for Sea-State Remote Sensing by High-Frequency Radar", *IET Radar, Sonar and Navigation*, vol. 5, no. 4, pp. 405-415, 2010.
- [68] Z. Chen, F. Xie, C. Zhao, C. He, "Radio Frequency Interference Mitigation in High-Frequency Surface Wave Radar Based on CEMD", *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 14, no. 5, pp. 764-768, 2017.
- [69] Y. Li, Q. Yang, N. Zhang, "Ship Detection with Adaptive Parameter Based on Detection Background Analysis", *International Conference on Microwave Technology and Computational Electromagnetism*, Beijing, China, pp. 486-489, 2009.
- [70] F. Uysa, "Synchronous and Asynchronous Radar Interference Mitigation", *IEEE Access*, vol. 7, pp. 5846-5852, 2018.
- [71] 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.
- [72] 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.

- [73] L. Zhang, M. Li, J. Niu, Y. Ji, "Ionospheric Clutter Extraction in HFSWR Based on Range-Doppler Spectral Image Processing", IEEE International Conference On Communication Problem-Solving, Beijing, China, pp. 615-618, 2014.
- [74] F. Nai, R. Palmer, S. Torres, "Range-Doppler Domain Signal Processing to Mitigate Wind Turbine Clutter", IEEE RadarCon, Kansas City, MO, USA, pp. 841-845, 2011.
- [75] L. Sergey, O. Hubbard, Z. Ding, H. Ghadaki, J. Wang, T. Ponsford, "Advanced Mitigating Techniques to Remove the Effects of Wind Turbines and Wind Farms on Primary Surveillance Radars", IEEE Radar Conference, Rome, Italy, pp. 1-6, 2008.
- [76] J. Yi, X. Wan, F. Cheng, Z. Gong, "Computationally Efficient RF Interference Suppression Method with Closed-Form Maximum Likelihood Estimator for HF Surface Wave Over-The-Horizon Radars", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 51, no. 4, pp. 2361-2372, 2013.
- [77] 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.
- [78] A. Dzvonkovskaya, K. W. Gurgel, H. Rohling, T. Schlick, "Low Power High Frequency Surface Wave Radar Application for Ship Detection and Tracking", Radar 2008 Conference, Adelaide, Australia, pp. 627-632, 2008.
- [79] C. Yi, Z. Ji, T. Kirubarajan, J. Xie, B. Hu, "An Improved Oblique Projection Method for Sea Clutter Suppression in Shipborne HFSWR", IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 13, no. 8, pp. 1089-1093, 2016.
- [80] A. A. Kolosov, Over The Horizon Radar. Norwood, MA, USA: Artech House, 1987.
- [81] ITU, "World distribution and characteristics of atmospheric radio noise", Geneva, Switzerland, report 322, 1963.
- [82] Službeni glasnik Republike Srbije, „ Zakon o trgovačkom brodarstvu Republike Srbije”, br. 96/2015 i 113/2017, jun 2016.
- [83] Ship illustration, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lod_Schema.png [pristup novembar 2019.]
- [84] D. Kreculj, V. Čolić, Plovna sredstva, Saobraćajni fakultet, Beograd, Srbija, 2006.
- [85] K. Sun, B. Wen, R. Wang, "Analysis of Ship RCS Detected by Multifrequency HFGWR", International Journal of Antennas and Propagation, vol. 2017, pp. 1-5, ID 4964267, 2017
- [86] A. M. Ponsford, J. Wang, "A Review of High Frequency Surface Wave Radar for Detection and Tracking of Ships", Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences, vol. 18, no. 3, pp. 409-428, 2010.
- [87] MarineTraffic
https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:561503/mmsi:413398000/imo:8908222/vessel:TIAN_SHENG_16 [pristup novembar 2019.]

- [88] S. K. Podilchak, H. Leong, R. Solomon, Y. M. M. Antar, "Radar Cross-Section Modeling of Marine Vessels in Practical Oceanic Environments for High-Frequency Surface-Wave Radar", IEEE Radar Conference, Pasadena, CA, USA, 2009.
- [89] H. Wilsoong, H. Leong, "An Estimation and Verification of Vessel Radar-Cross-Sections for HF Surface Wave Radar", Proceedings of the International Conference on Radar, Adelaide, SA, Australia, pp. 710-716, 2003.
- [90] G. Cakir, L. Sevgi, "Radar Cross-Section (RCS) Analysis of High Frequency Surface Wave Radar Targets", Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences, vol. 18, no. 3, pp. 457-467, 2010.
- [91] A. H. Systems. Antenna SAS-550-1B, https://www.ahsystems.com/datasheets/SAS-550-1B_Active_Monopole_Antenna_Datasheet.pdf [pristup novembar 2019.]
- [92] W. Winter, Z. Wood, "Time Domain Analysis for High Frequency Applications in the Field of EMC Compliance Measurements: Novel Method to Trace Transient RF Disturbances", IEEE Proceedings of 21st International Conference Radioelektronika, Brno, Czech Republic, 2011.
- [93] M. Kuisma, P. Silventoinen, "Using Spectrograms in EMI-analysis - An Overview", Twentieth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, Austin, TX, USA, pp. 1953-1958, 2005.
- [94] B. Audone, R. Colombo, I. Marziali, O. Losito, "The Short Time Fourier Transform and the Spectrograms to Characterize EMI Emissions", International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Wroclaw, Poland, pp. 882-888, September 2016.
- [95] N. Tošić, A. Samčović, N. Lekić, B. Todorović, S. Janković, S. Mladenović, „Analiza interferencije u HF opsegu uzrokovane LED reflektorom korišćenjem slike spektrograma”, Telecommunications Forum TELFOR, Beograd, Srbija, sekcija za multimediju 8.5, 2018.
- [96] Bernd Jahne, Image processing for scientific and technical applications, CRC Press ed. Heidelberg, Germany: University of Heidelberg, 2004.
- [97] R. C. Gonzales, R. E. Woods, Digital image processing, Second edition ed. New Jersey, USA: Prentice Hall, 2002.
- [98] Andreja Samčović, „Multimedijalne komunikacije”, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, str. 39, 2015.
- [99] Olivera Klisurić, „Aberacije oka i njihov uticaj na kvalitet lika”, Novi Sad, Srbija: stručni rad, 2015.
- [100] S. R. Sternberg, "Biomedical Image Processing", Computer, vol. 16, no. 1, pp. 22-34, January 1983.
- [101] J. Schindelin et al, "Fiji: An Open-Source Platform for Biological-Image Analysis", Nature Methods, vol. 9, no. 7, pp. 676-682, 2012.
- [102] A. Samčović, N. Tošić, „Detekcija i umanjenje LED šuma kod HF radara metodama obrade RD slike“, 37. Simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju PosTel, Beograd, Srbija, str. 246-256, decembar 2019.

[103] N. Stojković, D. Nikolić, B. Džolić, N. Tošić, V. Orlić, N. Lekić: Sistem za daljinski nadzor i upravljanje OTH radarom, Vlatacom Institut visokih tehnologija d. o. o., Beograd, Srbija, 2017.

[104] S. C. Gupta, V. K. Kapoor, Fundamentals of mathematical statistics, 10th ed. New Delhi, India: Sultan Chand and Sons, 2000.

BIOGRAFIJA

Nikola Tošić je rođen 5. oktobra 1990. godine u Valjevu. Osnovnu školu „Zdravko Jovanović” u Brezovicama (Poćuti) kod Valjeva završio je 2005. godine, a Valjevsku gimnaziju završio je 2009. godine.

Saobraćajni fakultet u Beogradu upisao je školske 2009/2010. na modulu za Telekomunikacioni saobraćaj i mreže, a 28.10.2013. završio je osnovne akademske studije, prvog stepena, obima 240 (dvesta četrdeset) ESP bodova, sa prosečnom ocenom 8,52 (osam i 52/100). Završni rad na temu „Radio-amaterske komunikacije” odbranio je sa ocenom 10 (deset). Za potrebe završnog rada postao je član radio-amaterskog kluba „Mihailo Pupin” u Beogradu, položio je stručni ispit za radio-amatera prve klase pred ispitnom komisijom Saveza radio-amatera Srbije i dobio licencu za rad izdatu od strane RATEL-a na radio-amaterskim frekvencijama, sa jedinstvenim međunarodnim identifikacionim radio-amaterskim znakom YU1NTB.

Master akademske studije, drugog stepena, obima 60 (šezdeset) ESP bodova, na modulu za Telekomunikacioni saobraćaj i mreže upisao je školske 2013/2014. godine i završio 20.10.2014. godine, sa prosečnom ocenom u toku studija 9,83. Master rad sa temom „Sistemi zaštite i bezbednosti informacija u bežičnim lokalnim mrežama” odbranio je sa ocenom 10 (deset).

Doktorske akademske studije je upisao školske 2014/2015. na Saobraćajnom fakultetu u Beogradu, studijski program Saobraćaj i položio sve ispite. Za vreme doktorskih akademskih studija, kao autor i koautor, napisao je 14 naučnih i stručnih radova, od kojih su dva objavljena u međunarodnim časopisima sa SCI liste u kategoriji M21 i jednog tehničkog rešenja.

Prisustvovao je brojnim konferencijama i seminarima u Srbiji, Bosni i Hercegovini i Nemačkoj. Član je stručnih asocijacija IEEE, kao i IEICE u Japanu. Trenutno je zaposlen u Vlatacom institutu visokih tehnologija u Beogradu.

Govori tečno engleski jezik a poseduje i osnovno znanje francuskog jezika.

Tokom 2014. godine, radio je u kompaniji Srpske kablovske mreže - SBB. Radio je sa kablovskom i internet-protokol televizijom (IPTV), kao i sa ADSL internetom. Nakon nepunih godinu dana rada u SBB kompaniji prelazi da radi u Vlatacom institut visokih tehnologija. Prilikom rada u Vlatacom-u prošao je obuke za razne telekomunikacione sisteme: mikrotalasni radari u Italiji, kao i obuku o kratkotalasnim radarima u Nemačkoj i Danskoj. Instalirao je i održavao brojne telekomunikacione sisteme za potrebe mornarice u Africi, na poziciji sistem inženjera. Neki od telekomunikacionih sistema na kojima ima veliko praktično iskustvo su: radio-sistemi za komunikaciju sa brodovima na veoma visokim frekvencijama, automatski identifikacioni sistemi, mikrotalasni radari za detekciju brodova, kratkotalasni radari dalekog dometa za detekciju brodova, regionalni i glavni vojni kontrolni centri. Tokom preko pet godina rada u Vlatacom-u veliki deo vremena je boravio na afričkom kontinentu. Trenutno radi u sektoru za istraživanje i razvoj, sa fokusom na kratkotalasne radare za detekciju brodova na moru.

IZJAVA O AUTORSTVU

Ime i prezime autora Nikola Tošić
Broj indeksa DS14D002

Izjavljujem

Da je doktorska disertacija pod nazivom:

MITIGACIJA NEGATIVNOG EFEKTA RADIJACIONOG LED ŠUMA NA
KRATKOTALASNI RADAR METODAMA OBRADU RD SLIKE

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada;
- da disertacija u celini ni u delovima nije bila predložena za sticanje druge diplome prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova;
- da su rezultati korektno navedeni i
- da nisam kršio autorska prava i koristio intelektualnu svojinu drugih lica.

Potpis autora

U Beogradu, _____

IZJAVA O ISTOVETNOSTI ŠTAMPANE I ELEKTRONSKE VERZIJE DOKTORSKOG RADA

Ime i prezime autora	Nikola Tošić
Broj indeksa	DS14D002
Studijski program	saobraćaj
Naslov rada	MITIGACIJA NEGATIVNOG EFEKTA RADIJACIONOG LED ŠUMA NA KRATKOTALASNI RADAR METODAMA OBRADE RD SLIKE
Mentor	Dr Andreja Samčović, redovni profesor Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet

Izjavljujem da je štampana verzija mog doktorskog rada istovetna elektronskoj verziji koju sam predao za objavljivanje na portalu **Digitalnog repozitorijuma Univerziteta u Beogradu**.

Dozvoljavam da se objave moji lični podaci vezani za dobijanje akademskog naziva doktora nauka, kao što su ime i prezime, godina, mesto rođenja i datum odbrane rada.

Ovi lični podaci mogu se objaviti na mrežnim stranicama digitalne biblioteke, u elektronskom katalogu i u publikacijama Univerziteta u Beogradu.

Potpis autora

U Beogradu, _____

IZJAVA O KORIŠĆENJU

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku „Svetozar Marković“ da u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu unese moju doktorsku disertaciju pod naslovom:

MITIGACIJA NEGATIVNOG EFEKTA RADIJACIONOG LED ŠUMA NA KRATKOTALASNI RADAR METODAMA OBRADJE RD SLIKE

koja je moje autorsko delo.

Disertaciju sa svim priložima predao sam u elektronskom formatu pogodnom za trajno arhiviranje.

Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu i dostupnu u otvorenom pristupu mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (*Creative Commons*) za koju sam se odlučio.

1. Autorstvo (CC BY)
2. Autorstvo - nekomercionalno (CC BY-NC)
3. Autorstvo - nekomercionalno - bez prerada (CC BY-NC-ND)
4. Autorstvo - nekomercionalno - deliti pod istim uslovima (CC BY-NC-SA)
5. Autorstvo - bez prerada (CC BY-ND)
6. Autorstvo - deliti pod istim uslovima (CC BY-SA)

(Molimo da zaokružite samo jednu od šest ponuđenih licenci.

Kratak opis licenci je sastavni deo ove izjave).

U Beogradu, _____

Potpis autora

1. **Autorstvo.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence, čak i u komercijalne svrhe. Ovo je najslobodnija od svih licenci.

2. **Autorstvo – nekomercijalno.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.

3. **Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela. U odnosu na sve ostale licence, ovom licencom se ograničava najveći obim prava korišćenja dela.

4. **Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada.

5. **Autorstvo – bez prerada.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.

6. **Autorstvo – deliti pod istim uslovima.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada. Slična je softverskim licencama, odnosno licencama otvorenog koda.