

Univerzitet u Beogradu
Elektrotehnički fakultet

Zoran P. Đorđević

**Metod detekcije objekata sa malom
refleksijom i velikom fluktuacijom na
radarskoj slici**

doktorska disertacija

Beograd, 2016.

Komisija za pregled, ocenu i odbranu

Mentor: Prof. dr. Branko Kovačević
Elektrotehnički fakultet, Beograd

članovi komisije: Prof. dr. Stevica Graovac
Elektrotehnički fakultet, Beograd

Prof. dr. Žarko Barbarić
Državni univerzitet, Novi Pazar

Prof. dr. Veljko Papić
Elektrotehnički fakultet, Beograd

Prof. dr. Miljko Erić
Elektrotehnički fakultet, Beograd

Datum odbrane: xx. x. 2016. god.

Predgovor

Ovaj rad je posledica višegodišnjih istraživanja u oblasti obrade slike sa radarskog senzora. Praktični eksperimenti su izvođeni na više lokacija sa različitim radarima i različitim procesorima. Rezultati obrade su integrisani u nekoliko varijanti komandno informacionog sistema.

Navodim imena samo nekih od kolega koji su pomogli da se obave eksperimenti. Iz Mornaričkotehničkog Remontnog Zavoda Sava Kovačević, Aleksandar Jovičić, Rafilović Vidoje, Mitrović Srdjan, Ranko Bjelica, Radojević Živojin, Milorad Jovanović, iz struktura Ratne Mornarice Jovo Grbavac, Nenad Radović, Brčić Ilija, Brzić Mirko, iz struktura Mornaričkotehničke uprave Đorđević Novica, Mićo Kerkez, Milatović Vladimir, Ranko Terzin, celokupna posada OROSt-a Obostnik i Crni Rt iz struktura Centra sa usavršavanje u Libiji Mustafa Mabruk, Mohamed Al Shaafi, Mustafa Shneti, celokupna posada treniing centra Metresa Mtvaia, iz firme ITAS La Specia, Luciano Canese, iz firme MC Company Zemun, Predrag Filipović, iz firme Arsenal REM Kraljevo, Pecić Vasilije.

Posebno mesto zauzimaju profesori sa matematičkog i saobraćajnog fakulteta u Beogradu, Aleksandar Jovanović i Aleksandar Perović kojima dugujem zahvalnost za pritisak da se urade mnogi radovi kao i za kritike.

Profesor Srđan Mitrović sa Vojne Akademije u Beogradu značajno je pomogao u uobličavanju udarnih delova ove teze.

Kolega Aleksandar Jovičić je zaslužan za uvodjenje najnovijih distribuiranih tehnologija zaznovanih na internet-intranet i OPENGIS implementaciji.

Zahvaljujući savetima, kritikama i predlozima mentora profesora Stevice Graovca ovaj rad je doveden u završnu formu.

Moja majka Ružica sa suprugom Petrom dala je moralnu i finansijsku podršku za potrebe pripreme magistarskih sudija i doktorske disertacije.

Članovi moje porodice supruga Marija, ćerka Mila i sin Aleksandar dali su najveću moralnu podršku.

Svim ostalim koje sam nenamerno izostavio a pomogli su u mojim radovima najiskrenije se zahvaljujem...

Sadržaj

Predgovor	iii
Sažetak	vii
Abstract	ix
Uvod	1
1 Detekcija objekata sa malom refleksijom i velikom fluktuacijom	3
1.1 Radarski senzor - principi	5
1.2 Primer parametara pomorskog radara	6
1.3 Osnovni elementi radara	9
1.4 Korišćeni tipovi radarskog senzora	10
1.5 Priprema slike - radna platforma	14
1.6 Rešenje problema identifikacije objekata u pomorstvu - sistem AIS	17
1.7 Integracija Geografskog Informacionog Sistema GIS	21
1.8 Problemi	23
2 Detekcija objekata koji liče na tačke	25
2.1 Klasičan pristup	25
2.2 Savremene tendencije	27
2.3 Alternativni pristup	27
2.4 Metode detekcije malih objekata	28
2.5 Matematička formulacija	29
2.6 Haris-Stivensonova Auto-Korelaciona metoda	32
2.7 Shi-Tomasi Auto-Korelacioni metod	33
2.8 Metoda Normalizovane Kros Korelacije	34

3	Detekcija malih objekata sa velikom fluktuacijom	37
3.1	Uvod	37
3.2	Prag u metodi Haris-Stivens	37
3.3	Prag u metodi Shi-Tomasi	38
3.4	Prag u metodi Normalizovane Kros Korelacije	39
3.5	Predložena procedura preklapanja	39
3.6	Automatizovano određivanje maksimuma funkcije kvaliteta	42
3.7	Eksperimenti	42
3.8	Stvarna slika sa pomorskog radara	43
3.9	Simulacija	47
3.10	Diskusija dobijenih rezultata	48
4	Modeliranje interakcije između GIS baze podataka i pomorskog radara	51
4.1	Problemi	51
4.2	Eliminacija plotova maskiranjem pomoću GIS-a	53
4.3	Maskiranje originalnog signala	54
4.4	Diskusija poglavlja	59
5	Integracija u sistem	61
5.1	Komandno informacioni sistem	61
5.2	Predloženi zadaci za informacioni sistem	63
5.3	Objektni Model	66
5.4	Konkretne realizacije	70
5.5	Fuzija podataka	73
5.6	Primer taktičkog pokazivača	78
5.7	Mreža malih radara	80
5.8	Diskusija poglavlja	84
	Slike	89
	Tabele	93
	Bibliografija	95

**METOD PROCESIRANJA SLIKE SA DETEKCIJOM OBJEKATA
SA MALOM REFLEKSIJOM I VELIKOM FLUKTUACIJOM**

Sažetak

Postoje brojne metode za detekciju objekata koji liče na tačke u bitmapiranim slikama sa nijansama sive boje. Problem definisanja praga prihvatanja ili odbijanja rezultata detekcije je najčešće zanemaren ili je prepušten ekspertima. Detekcija malih objekata sa malom radarskom refleksnom površinom i sa velikom fluktuacijom reflektovanog signala pomoću radarskog senzora predstavlja izazovan inženjerski problem. Takvi objekti su problematični za detekciju i lociranje ako se koriste klasične metode obrade radarske slike. Tokom poslednjih petnaest godina rađena je serija eksperimenata sa raznim tipovima radarskih senzora i nekoliko tipova procesora signala. Pokušano procesiranje slike sa ciljem uspešne detekcije svih tipova objekata na moru. Kao posebna klasa problema identifikovan je problem detekcije malih objekata na morskoj površini - malih plovila.

Na globalnom nivou problem detekcije i identifikacije objekata na moru donekle je rešen uvođenjem Automatskog Identifikacionog Sistema - AIS. Nažalost veliki broj malih plovnih objekata nije opremljen AIS primopredajnicima. Subjekti koji nameravaju da se bave sumnjivim aktivnostima namerno izbegavaju posedovanje AIS primopredajnika. Ratni brodovi nisu u obavezi da koriste sistem AIS.

Prikaz originalnog pristupa u pokušaju da se reši problem detekcije malih objekata iznet je u ovoj disertaciji. Pored učesnika u saobraćaju na moru klasa pomorskih navigacionih radara detektuje i elemente reljefa obale. Često delovi obale liče na male pokretne objekte i operateri na sistemima su u nedoumici kako da klasifikuju uočeni odraz. U ovom radu izneta je ideja kako da se osmisle prostorni filteri kojima se viši odbacivanje neinteresantnih detekcija koje potiču od kopna.

Poslednji deo ukratko prikazuje neke od implementacija u kojima je korišćen predloženi model kao i predlog objektnog modela za implementaciju.

Ključne reči: obrada slike, metode auto-korelacije i korelacije, automatsko određivanje praga , detekcija tačke, Geografski Informacioni Sistem.

Naučna oblast: Elektrotehnika

Uža naučna oblast: Obrada slike

Abstract

There are numerous methods of detection of objects seen like points in 8 bit gray leveled bitmap image. The problem of defining the threshold for accepting or rejecting the results of detection is often neglected or left to the experts. The localization and detection of small objects at sea having small radar reflective surfaces, and with large fluctuations in the reflected signal, which is usual when using a radar sensor, represent a challenging engineering problem. Such objects are difficult to detect and locate when using classical methods of processing radar images. During the last fifteen years, series of experiments with various types of radar sensors and several types of signal processors have been made. The aim of the experiments was to perform successful detection of all types of vessels at sea. As a special class of identified problems, there is the problem of detection of small objects on the sea surface - small boats.

At the global level, the problem of detection and identification of objects at sea is solved by introducing the Automatic Identification System - AIS. Unfortunately, a large number of small vessels are not equipped with AIS transponders. Entities intending to deal with some kind of illegal activity deliberately avoid introduction of AIS transceivers. Warships are not required to use AIS.

This dissertation offers an original approach to the problem of detection of small objects at sea. An attempt to solve the problem of detection of small objects is presented in this dissertation. In addition to the participants in traffic at sea, the class of marine navigation radar detects elements of the coast. Often parts of the coast look like small objects, thus creating a problem to systems' operators with classification of the observed reflection. This paper summarizes the idea of devising new spatial filters that are used for discarding uninteresting detection reflected from the mainland.

The last section summarizes some of the implementations in which the proposed model is used, as well as a proposal for implementation of the object oriented programming model.

Key words: image processing, auto-correlation & correlation methods, template matching, automatic threshold, point detection, Geographic Information System.

Scientific discipline: Electrical engineering

Scientific subdiscipline: Image processing

Uvod

Detekcija malih objekata sa malom radarskom refleksnom površinom i sa velikom fluktuacijom reflektovanog signala pomoću radarskog senzora predstavlja izazovan inženjerski problem. Takvi objekti su problematični za detekciju i lociranje primenom klasičnih metoda obrade radarske slike. Tokom poslednjih petnaest godina urađena je serija eksperimenata sa raznim tipovima radarskih senzora i nekoliko tipova procesora signala, kojim je pokušano procesiranje slike sa ciljem uspešne detekcije svih tipova objekata na moru. Kao posebna klasa problema identifikovan je problem detekcije malih plovila.

Na globalnom nivou problem detekcije i identifikacije objekata na moru donekle je rešen uvođenjem Automatskog Identifikacionog Sistema - AIS. Na žalost veliki broj malih plovnih objekata nije opremljen AIS primopredajnicima. Ko god ima nameru da se bavi sumnjivim aktivnostima namerno izbegava posedovanje AIS primopredajnika. Ratni brodovi nisu u obavezi da koriste sistem AIS.

U praksi se problem kontrole saobraćaja na moru svodi na pokušaj detekcije malih glisera, poluzaronjenih podmornica za ilegalnu trgovinu, jedrilica itd. Piraterija, krijumčarenje ljudi, droge i oružja su dominantni problemi.

Pokušano je da se naglase originalni rezultati postignuti u istraživanju pomenute problematike.

Zbog objektivnih razloga obim korišćenih eksperimentalnih podataka nije velik. Upotrebom odgovarajućih simulacija pokušano je da se prevaziđe ovaj problem.

Date su ideje kako da se dobijeni rezultati integrišu u komandno informacioni sistem.

Glava 1

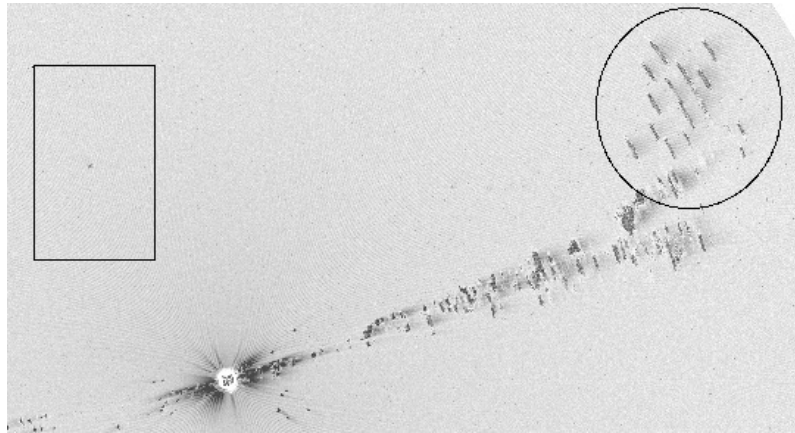
Detekcija objekata sa malom refleksijom i velikom fluktuacijom

Detekcija malih objekata sa malom radarskom refleksnom površinom i sa velikom fluktuacijom reflektovanog signala pomoću radarskog senzora predstavlja izazovan inženjerski problem. Takvi objekti su problematični za detekciju i lociranje ako se koriste klasične metode obrade radarske slike. Poslednjih desetak godina urađena je serija eksperimenata kojim je pokušano procesiranje slike koja je dobijena pomoću radara za osmatranje površine mora.

U praksi se problem kontrole saobraćaja na moru svodi na pokušaj detekcije malih glisera, polu-zaronjenih podmornica za ilegalnu trgovinu, jedrilica itd. Piraterija, krijumčarenje ljudi, droge i oružja su dominantni problemi. Da bi se donekle rešio problem detekcije i identifikacije potencijalno problematičnih struktura na moru pre 15 godina uveden je Automatski Identifikacioni Sistem - AIS. Sistem AIS zahteva da svaki objekat određene kategorije ima ugrađen VHF digitalni primopredajnik, koji po posebno definisanim protokolima javlja informacije o sebi, o namerama putovanja i o elementima vlastitog kretanja.

Deo slike koja se pokazuje na radarskom ekranu prikazan je na slici [1.1](#). Na desnoj strani unutar kruga mogu se uočiti jasni odrazi koji su rezultat velikih plovni objekata ispred ulaza u jednu mediteransku luku. Slika [1.2](#) pokazuje 6 sukcesivnih snimaka objekata koji se nalazi na levoj strani bitmape sa slike [1.1](#) u centru pravougaoika.

Kao alternativa klasičnim metodama detekcije koje su poznate u radarskoj tehnici pokušano je sa metodama za detekciju objekata koji liče na tačke a koriste se u obradi



Slika 1.1: Deo ditmape dobijene sa pomorskog radara

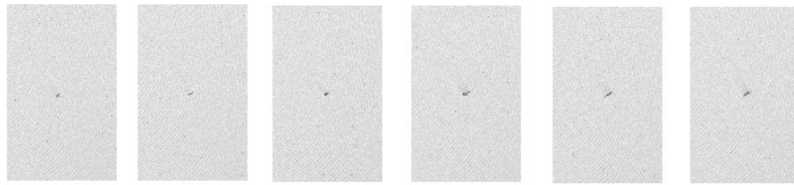
bitmapiranih slika. Postoje brojne metode za detekciju objekata koji liče na tačkaste u bitmapiranim slikama sa nijansama sive boje. Problem definisanja praga za prihvatanje ili odbijanje detekcije najčešće je zanemaren ili je prepušten ekspertima u datoj oblasti.

Udarno pitanje ove teze je da se predloži nova metoda za procenu sub-optimalne vrednosti pragova. Predložena metoda je zasnovana na preklapanju rezultata dve ili više raznorodne metode koje su parametrizovane sa odgovarajućim pragovima. Funkcija procene kvaliteta (dve ili tri promenljive) je definisana. Lokacija (koordinate) maksimuma - globalnog ekstrema te funkcije približno odgovara sub-optimalnim vrednostima pragova korišćenih metoda. Ovaj metod je testiran na nizu radarskih snimaka u formi bitmapa i na simulacionom modelu.

Korišćen radarski senzor u formi impulsnog radara koji radi u Amplitudno Modulisanom (AM) režimu rada i to u obliku pomorskog navigacionog radara. Ovaj tip radara proizvodi sliku koja je kontaminirana raznim tipovima neželjenih informacija. Smetnje od kiše, mora, odrazi od kopna, mala ostrva, hridi su primeri smetnji. Da bi se uradilo delimično filtriranje naveden je predlog integracije sa Geografskim Informacionim Sistemom. Poglavlje 1.1 opisuje principe rada pomorskog radara.

Ukoliko konfiguracija sistema omogućava upotrebu više radara, čiji se reoni osmatranja poklapaju navedeno kako integrisati mrežu radarskih senzora da bi se povećao odnos signal šum.

Na kraju je dat predlog integracije sistema u komandno informacioni sistem.



Slika 1.2: Niz od 6 uzastopnih scena iz dela markiranog pravougaonikom na slici 1.1

Navedena metoda detekcije nije ograničena na radarsku sliku i može se koristiti i za obradu slike sa drugih senzora ako je potrebno detektovati objekte sličnih karakteristika.

1.1 Radarski senzor - principi

Radarski senzor služi za detekciju i lokaciju objekata koji reflektuju elektromagnetnu energiju. Slika broj 1.3 prikazuje principijelnu skicu kako radi pomorski navigacioni radar na brodu, kojim se osmatra obala i druga plovila. Detaljno o radu radara može se videti u knjizi Skolnik [44]. Ovo poglavlje ukratko opisuje principe rada.

Generalno rad rada radara može biti iskazan preko nekoliko ključnih faza:

- Emisija EM energije - Radar emituje elektromagnetnu energiju preko antene u prostor.
- Propagacija EM - Jedan deo elektromagnetne energije dolazi do objekta sa svojom refleksijom, koji se nalazi na nekoj udaljenosti od izvora.
- Refleksija sa propagacijom nazad - Deo energije kojom je obasjan objekat reflektuje se u svim smerovima. Deo reflektovane energije se vraća do prijemne antene
- Obrada u prijemniku - Principijelno posle pojačanja u prijemniku i odgovarajućeg procesiranja signala donosi se odluka na izlazu prijemnika da li primljeni signal potiče od objekta ili ne.
- Merenje parametara - Ukoliko je detekcija pozitivna određuje se lokacija (horizontalni, vertikalni ugao, daljina), radijanska brzina.

Upotreba radara ide od namene za merenje brzine lopte na teniskom terenu pa do radara za merenje interplanetarnih rastojanja čije antene mogu biti dimenzija nekoliko fudbalskih igrališta.

Tipični objekti koji se otkrivaju radarom mogu biti avioni, brodovi i rakete, ali mogu biti i ljudi, ptice, insekti, padavine, turbulencije u vazдушnom prostoru, jonizovan medijum, delovi reljefa (vegetacija, planine, putevi, reke, aerodromi, zgrade, ograde, dalekovodi), more, led, ledeni bregovi, plutače, podzemi objekti, meteori, aurora, letelice iznad vazdušnog omotača i planete.

Pored merenja lokacije objekta (horizontalni i/ili vertikalni ugao, daljina), radarom se mogu meriti i komponente brzine, obradom i upoređivanjem sukcesivnih detekcija, i radijalne brzine ako radar ima doplerovo procesiranje. Prigodno projektovani radari sa procesorima signala mogu odrediti veličinu i oblik objekta, pa čak i da raspoznaju različite klase objekata jedne od drugih.

1.2 Primer parametara pomorskog radara

Civilni pomorski radari za osmatranje površine mora emituju na frekvencijama od 3 GHz i od 9 GHz. Ove frekvencije spadaju u S i u X opseg respektivno. Talasne duzine su oko 10 cm i oko 3 cm. Slika dobijena pomoću radara u S opsegu ima bolje performanse kada se radi o smanjenju smetnji od magle i od kiše. Radari u X opsegu imaju oštriju sliku ali su osetljiviji na smetnje od kiše i magle. Veliki trgovački brodovi obično imaju instalirano oba tipa radara.

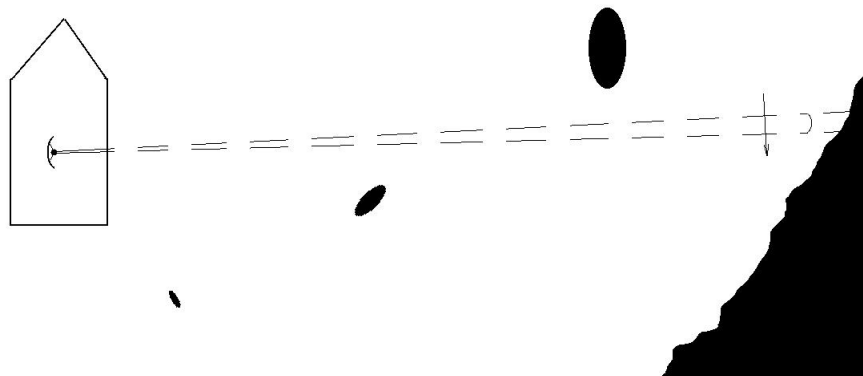
Talasni oblik koji se emituje iz pomorskog radara je niz relativno uskih signala po vremenu sa skoro pravougaonom obvojnicom. Tipičan primer talasnog oblika signal koji se koriste za detekciju objekata na moru je da je širina predajnog impulsa oko 50 ns do jedna mikro sekunde ($1\mu s$). Impulsne frekvencije idu u rasponu od 350 do 3000 Hz (nekad i više). Snaga predajnog impulsa ide od 2kW do 60kW. Srednja snaga koja se emituje je od oko 2W do 60W.

Tabela 1.1 pokazuje zahteve internacionalne pomorske organizacije (International Maritime Organization - IMO). Mnogo detaljnije o parametrima pomorskih radara

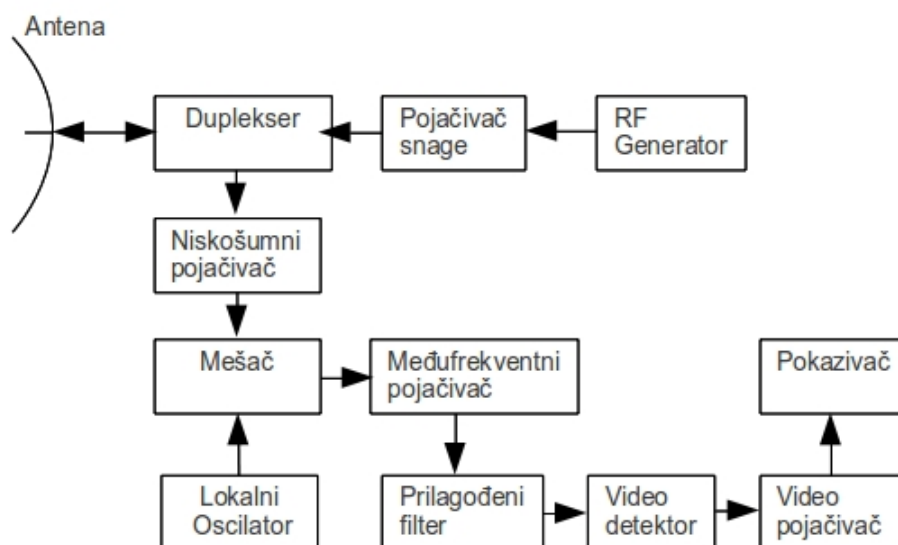
Tabela 1.1: Tabela prikazuje zahtevane karakteristike radara od strane Internacionalne Pomorske Organizacije (International Maritime Organization IMO) u uslovima jasne vidljivosti

Opis objekta	Visina iznad mora u metrima	Domet u Naut.	Domet u Naut.	Tip objekta
		Miljama NM za radar koji radi na frekv. 9GHz	Miljama NM za radar koji radi na frekv. 3GHz	
Obalna linija	do 60m	20	20	distribuirani
Obalna linija	do 6m	8	8	distribuirani
Obalna linija	do 3m	6	6	distribuirani
brodovi po SOLAS > 5000 brt	10	11	11	kompleksan
brodovi po SOLAS > 500 brt	5	8	8	kompleksan
mali brodovi sa radarskim reflektorom	4	5 (7.5m ²)	3.7 (0.5m ²)	tačkasti
mali brodovi dužine do 10m bez radarskog reflektora	2	3.4 (2.5m ²)	3.0 (0.5m ²)	kompleksan liči na tačkasti
navigaciona bova	3.5	4.6 (5m ²)	3.0 (0.5m ²)	liči na tačkasti
navigaciona bova sa ugaonim reflektorom	3.5	4.9 (10 m ²)	3.6 (1.0m ²)	tačkasti
navigacioni marker za saobraćaj u kanalim	1	2.0 (1 m ²)	1.0 (0.1m ²)	liči na tačkasti

može se videti u tehničkim odnosno servisnim uputstvima komercijalnih sistema, a sistematizovani opis dat je u Skolnik [44] (poglavlje 22).



Slika 1.3: Ckica principa rada navigacionog radara na brodu, kojim se osmatra obala i druga plovila



Slika 1.4: Blok šema podsistema koji se mogu naći u radaru.

1.3 Osnovni elementi radara

Na slici 1.4 vide se elementarni blokovi podsistema koji se mogu naći u radaru. Predajnik radara u prikazanom modelu sastoji se od pojačivača snage i generatora radiofrekventnog signala. Srednja predajna snaga može biti reda veličine od 1 mW pa do 1MW. Većina radara koristi predajni signal u obliku pravougaono modulisanog kratkog impulsa, u tom slučaju se ista antena koristi i kao prijemna i predajna. Funkcija dupleksera je da omogući da se ista antena koristi i za prijem i za predaju. Pomoću dupleksera se postiže zaštita prijemnika i sprečava se njegovo oštećenje za vreme emitovanja predajnog impulsa. Antena je uređaj kojim se omogućava da se predajna energija prenese u prostor, a da zatim prikupi reflektovanu energiju i preusmeri u prijemnik. Antena je skoro uvek realizovana u obliku usmerene antene kojom se usmerava elektromagnetna RF energija u uzak snop. Ovo se radi da bi se koncentrisala energija a i odredile ugaone koordinate sa boljom ugaonom rezolucijom. Ovako projektovana antena služi kao prostorni filter. Prijemnik radara obično počinje sa niskošumnim mikrotalasnim pojačivačem. Zadatak ovog tipa pojačivača je da veoma slab reflektovani signal koji je došao do prijemne antene dovoljno pojača po nivou da bi se mogao detektovati na sledećim sklopovima prijemnika. Kritičan fenomen u sklopovima prijemnika je minimiziranje vlastitog šuma prijemnika. Često se kao ovakav pojačivač koristi cev sa progresivnim talasom (TWT, LBV), a u novije vreme i postoje i poluprovodničke verzije. Za mnoge radarske sisteme veliki uticaj imaju i neželjeni odrazi od okoline. Signali sa pokretnih objekata koji su od interesa su jako mali. Da bi se uspešno nosilo sa ovim problemom potrebno je da prijemnik poseduje relativno velik dinamički opseg. Tako se izbegava da prijemnik usled neželjenih smetnji (odraza) od okoline dospe u zasićenje i samim tim onemogući prijem malih signala od interesa. Ovo se često postiže uvođenjem namerne nelinearnosti prijemnika.

Mešanjem signala Lokalnog oscilatora i RF signala sa direktne prijemne grane u mikseru dobija se međufrekventni signal (MF) reda veličine 30-70MHz. Od formiranja međufrekventnog signala pa nadalje pripadajući blokovi često se zovu blokovi signal procesora. Deo međufrekventnog pojačivača ujedno sadrži i prilagođeni filter, kojim se maksimizira odnos signal / šum. U ovom delu se u nekim radarima vrši doplerovo procesiranje da bi se maksimalno pojačao signal od pokretnih objekata koji imaju komponentu radijalne brzine različitu od nule. Signali koji potiču od objekata sa malom radijalnom brznom maksimalno se atenuiraju.

Video detektorom se detektuje obvojnica MF signala koja se dalje pojačava i dovodi u pogodnu formu za prikaz na pokazivaču. Video signal se upoređuje sa unapred definisanim pragom detekcije nakon koga se donosi odluka da li signal pripada objektu od interesa ili smetnji. Prag detekcije može biti fiksni, unapred zadan ili ga je moguće dinamički određivati.

1.4 Korišćeni tipovi radarskog senzora

Razne metode obrade signala isprobane su je na više tipova radara. Predloženi metod obrade prikazan u ovom radu isproban na nekim od pomenutih modela.

- Mornarički brodski Radar MR-302 dometa do 300km noseće frekvencije oko 3GHz impulsne frekvencije 500Hz – radar je sovjetskog porekla. Ovaj radar se nalazi na vrhu jarbola brodova klase KONI i RF33 slike [5.6](#) i [5.7](#).
- Mornarički radar za osmatranje obale 9KR409 dometa do 120km noseće frekvencije oko 9GHz impulsne frekvencije 1200Hz – radar je proizveden u Švedskoj. Primopredajnik je prikazan na slici [1.5c](#).
- Radar P-15 dometa do 300km noseće frekvencije oko 750MHz impulsne frekvencije 500Hz – radar je sovjetskog porekla
- Mornarički navigacioni Radar DECCA 1216 i DECCA 1226 noseće frekvencije oko 9GHz impulsne frekvencije 800Hz – radari su proizvedeni u Engleskoj – snage u impulsu od 12 ili 25 kW. Radar je prikazan na slici [1.5a](#). Eksperimentalna instalacija je prikazana na slici [1.5d](#).
- Mornarički radar za osmatranje obale HARPUN dometa do 120km noseće frekvencije oko 9GHz impulsne frekvencije 1200Hz – radar je proizveden u Sovjetskom savezu
- Radar za osmatranje vazdušnog dometa Markoni S600 dometa do 300km noseće frekvencije oko 3.5GHz impulsne frekvencije 300Hz – radar je proizveden u Engleskoj

- Mornarički brodski radar za osmatranje mora 11L/X dometa do 120km noseće frekvencije oko 9GHz impulsne frekvencije 800Hz – radar je proizveden u Italiji. Radar je prikazan na slici 1.5b. Primopredajnik je prikazan na slici 1.5e.
- Mornarički brodski radar za osmatranje mora TRITON dometa do 120km noseće frekvencije oko 4GHz impulsne frekvencije 300-3000Hz – radar je proizveden u Francuskoj. Radar je prikazan na slici 1.5f.
- Mornarički radar za osmatranje obale MYS dometa do 300km noseće frekvencije oko 9GHz impulsne frekvencije 500Hz – radar je proizveden u Sovjetskom savezu. Radar je prikazan na slici 1.6.
- Primopredajnik sa antenom za navigacioni radar ONWA KR1338C noseće frekvencije 9.41GHz impulsne frekvencije 600,1200 i 2100Hz – radar je proizveden u Kini. Radar je prikazan na slici 5.17 na krovu vozila.
- Brodski borbeni sistem Švedskog porekla 9LV202 koji se sastoji od osmatračkog radara sa dva predajna magnetrona (frekventno agilana u opsegu fekvencija 8.5 do 9.5 GHz i impulsnom frekvencijomo 2000 - 3000 Hz) i nišanskog radara u obliku monoimpulsnog radara sa casegray antenom na frekvenciji 16GHz i impulsnom frekvencijom od 2000Hz takodje frekventno agilnim. Ova dva radara daju potrebene podatke za navodjenje topova na brodovima u konkretnom sluchaju Bofors 57 mm i AK630 30mm (5000 granata u minutu domet do 8000m)

Na prvi pogled vidi se da se radi o radarima raznih proizvođaća i prva je pomisao da je jako teško uraditi inferfejs prema svakom od njih zasebno. Dubljom analizom svakog radara pojedinačno i upoređivanjem detalja može se doći do zaključka da svi radari na neki način moraju dati informaciju o uglu antene, sinhronizacionom signalu i samom video signalu. Minoran problem je usklađivanje naponskih nivoa ili konverzija formata tipa sinhro transformator (selsin/resolver), paralelni, serijski.

Principi rada radara generalno govoreći ostali su isti dugi niz godina. Radarski sistemi pored senzorskog dela imaju specijalne tipove pokazivača, sistema za analognu obradu signala, interfejs za komunikaciju sa operaterom, interfejs prema specifičnim računarskim sistemima za potrebe sistema raketa, torpeda i artiljerije.

Za radarske sisteme starije generacije mora se pomenuti da su okarakterisani sledećim osobinama:



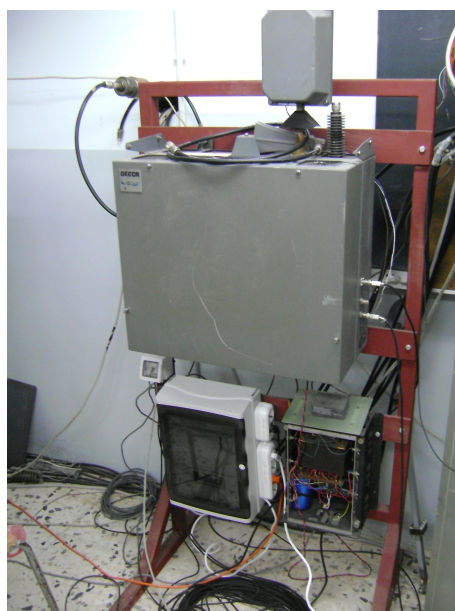
(a) Antena radara DECCA 1226



(b) Antena radara 11L/X



(c) Blok primopredajnika na radaru 9kr409



(d) Blok primopredajnika radara DECCA 1226



(e) Primopredajnik X opsega za radar 11L/X



(f) Antena radara TRITON SBC6713

Slika 1.5: Različite platforme na kojima je testiran model procesiranja radarske slike



Slika 1.6: Izgled obalske radarske osmatračke stanice MYS

- tehnološki su zastareli (problem rezervnih delova)
- potencijalno nepouzdana - malo srednje vreme između dva otkaza,
- za rad je potrebno mnogo usko specijalizovanih operatera,
- operateri su u sredstvu za vreme rada,
- potrebna je velika koordinacija i uvežbanost.

Praksa pokazuje da je dobro zadržati osnovni senzor sa minornim izmenama ali da se izbacе steri elementi računara i pokazivača zasnovani na tehnologiji elektromehaničkih računara ili digitalnih sa skromnim procesorima ili čak i bez procesora sa potpunom realizacijom u digitalnoj tehnici. Suština modifikacije - modernizacije radarskog senzora je da se omogući:

- potpuna daljinska kontrola uključenja, isključenja i podešavanja svih parametara i modova rada
- digitalizacija rezultata osmatranja formiranjem bitmape
- detekcija na lokalnom nivou tačkastih objekata,
- određivanje elemenata kretanja pokretnih objekata,
- detekcija prirodnih i meteoroloških objekata i pojava u lokalnu

Ukoliko prilika omogućava može se krenuti i u drugom pravcu a to je distribucija dobijene bitmape ako se poseduju dovoljni kapaciteti veza. Na taj način moguće je ostvariti fuziju podataka u hijerarhijski predpostavljenim centrima.

Koju obradu raditi na kojem nivou predstavlja izbor projektanta i često je skup različitih kompromisa.

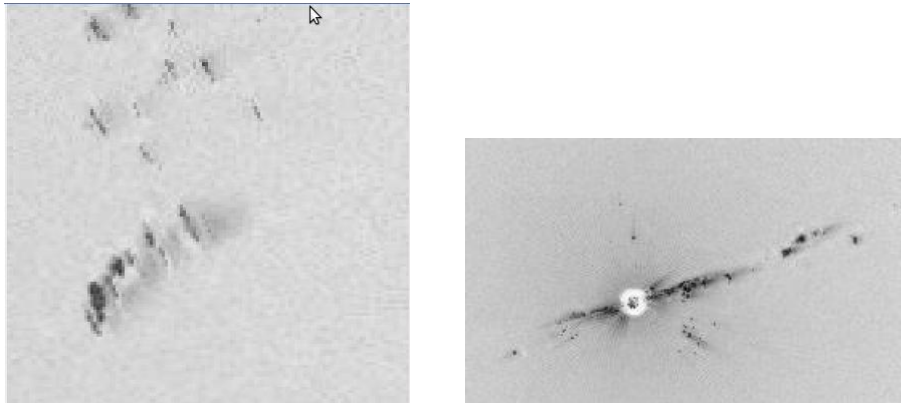
Metode koje su primenjene uz vlastite adaptacije, kombinacije i poboljšanja nad bitmapom odnose se na:

- Detekciju obeležja koja se mogu dobro pratiti (koja korelišu sa malim objektima od interesa) (novi originalni pristup)
- Detekciju objekata koji liče na tačkaste
- Detekcija geografskih oblika (obalnog ruba, rečnog korita, oblika planina)
- Detekcija atmosferskih oblika (kiša, oblaci, stanje mora)
- Korelacija pokretnih detektovanih objekata koji menjaju poziciju tokom više uzastopnih sekvenci osmatrajna poboljšanje slike metodama pojačanja kontrasta, pojačanja intenziteta prelaznih ivica

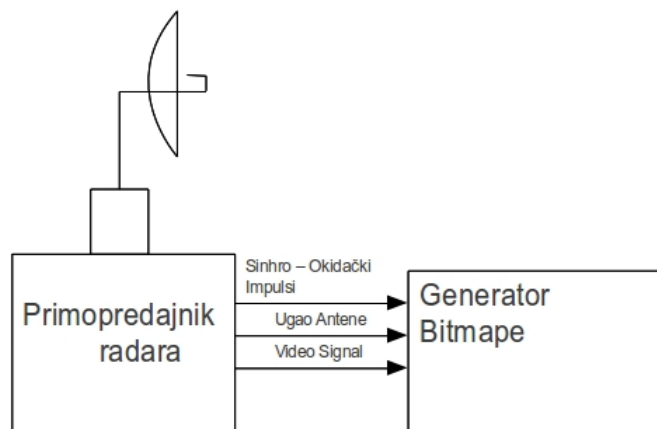
Slika 1.9 prikazuje blok šemu generatora bitmape. Ovaj deo je moguće realizovati softverski ili hardverski odnosno primenom FPGA tehnologije.

1.5 Priprema slike - radna platforma

U ovoj tezi koristi se model formiranja radarske slike u obliku bitmapirane slike kao što je prikazano na slici 1.8. Namenski projektovana platforma za eksperimentalnu upotrebu sastoji se od komercijalnog pomorskog radara – primopredajnika sa antenom i originalno projektovanog modula kojim se formira bitmapa kao ekvivalent radarskog displeja. Ovakva bitmapa predstavlja 2D matricu intenziteta odraza nakon procesiranja u prijemniku. Kao generator bitmape koristi se namenski hardver zasnovan na komercijalnom PC računaru sa FPGA baziranom karticom sa brzim A/D konverterom koji sinhrono procesira video signal sa izlaza video pojačivača prijemnika radara. Ključni signali za rad ovog sklopa su sinhron signal radara (trigger), ugao antene i video izlaz u formi naponske veličine sa linearnog ili logaritamskog pojačala prijemnika. Poseban



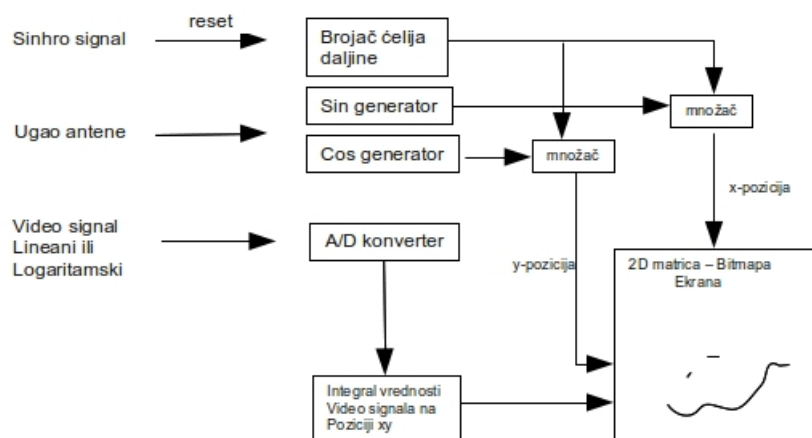
Slika 1.7: Primer bitmape dobijene pomoću radarskog sistema prikazanog na slici 1.8. Levo - izgled luke jednog mediteranskog grada sa brodovima ispred luke i u luci, kao i nekoliko objekata (silosi). Desno izgled blizu radarskog senzora sa refleksijama od obalnog ruba (strma kamenita obala) verovatno dva objekta na moru i nekoliko objekata na kopnu.



Slika 1.8: Pricipijelna blok šemu platforme na kojoj su vršeni experimenti pomenuti u ovoj tezi

pravac rada je uzimanje signala sa fazno osetljivih ispravljača da bi se uradilo doplerovo procesiranje za izdvajanje pokretnih objekata, precizno radarsko mapiranje terena, precizno određivanje pozicije u prostoru pomoću monoimpulsnog radara. Ova oblast nije pokrivena u ovoj disertaciji.

Elektronski moduli koji su korišćeni u eksperimentima bazirani su na proizvodima dve firme Innovative Integration (<http://innovative-dsp.com>) i Trenz Electronic (<http://www.trenz-electronic.de>). Blok dijagrami nekih od modula dati su na slikama 1.10a, 1.10b i 1.11a, 1.11b. Modul SBC6713 zasnovan je na procesoru specijalizovanom



Slika 1.9: Blok shema prikazuje u blok dijagramu kako radi generator bitmape koji je prikazan na slici 1.8 Ovaj algoritam se može uraditi softverski ili hardverski.

za obradu signala firme Texas Instruments TMS320C6713. Za AD konverziju koriste se dodatni moduli sa AD konverterima i FIFO baferima kao što su AIX20 i RF (videti na sajtu firme). Posle AD konverzije signal se predprocesira i rezultat se u formi bitmape smešta u lokalnoj memoriji. Rezultati se šalju preko posojećeg ethernet mrežnog kontrolera. Za mrežnu komunikaciju zadužen je dodatni komunikacioni procesor. Model modula x3-m25 je u formatu interne ili eksterne kartice za PC. Razmena podataka je preko PCI ekspres protokola. Glavna komponenta je FPGA integralno kolo firme XILINX. FPGA je skraćena od Field Programmable Gate Arrays, odnosno, u bukvalnom prevodu, gejtovska polja koja se programiraju "na terenu", tj. od strane krajnjeg korisnika. Inicijalizacija FPGA komponente vrši se preko PCI ekspres komunikacije. Moduli firme TRENZ čije su blok šeme date u slikama 1.11a, 1.11b nemaju ugrađene analogno digitalne konvertere nego se to dodaje kao posebna periferija. Modul TE0320 komunicira sa PC računarem preko USB porta, a modul TE0600 preko ethernet porta sa brzinama od 10,100 ili 1000 Mb zavisno od radarskog senzora. Konfiguracija XILINX okruženja obavlja se preko lokalne FLESH memorije.

Dok je u modulu SBC6713 bitmapa formirana u akvizicionom modulu, pomoću ostalih moduala PC računaru je ostavljen zadatak formiranja bitmape.

Bitmapa se može formirati pomoću softvera ili hardvera kao na slici 1.8 ili se za to može koristiti sistem biblioteka OPENGL za brzu manipulaciju uz pomoć grafičkog procesora. Zbog opsežnosti pomenute problematike u ovom radu nije posvećena veća pažnja tehnikama formiranja bitmape.

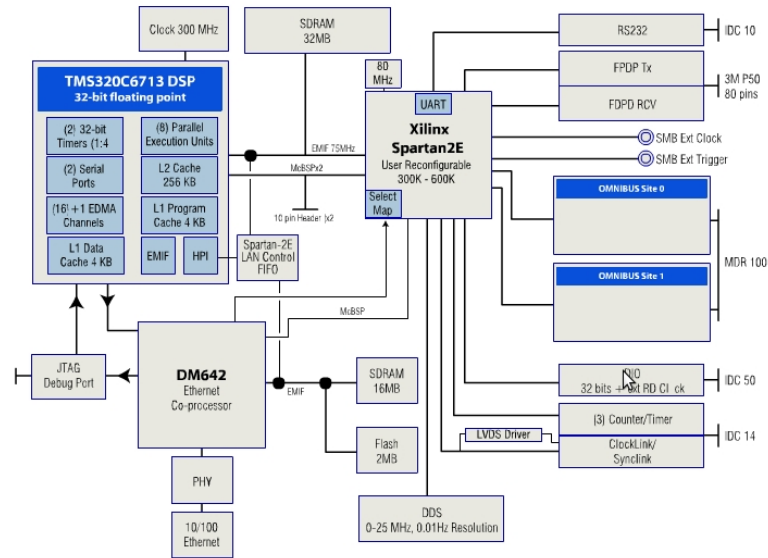
Dobijena bitmapa u formatu 2D matrice u memoriji PC računara je pogodna za primenu brojnih matematičkih metoda. Na slici 1.7 prikazan je izgled dobijenih bitmapa nad kojima je moguće vršiti dalju obradu.

1.6 Rešenje problema identifikacije objekata u pomorstvu - sistem AIS

Problem kod upotrebe radarskih senzora je identifikacija osmotrenog objekta. I pored pokušaja u automatizaciji prepoznavanja kontura i oblika osmotrenih objekata na moru i u vazduhu i dalje se ne vlada toliko dobrim i pouzdanim matematičkim i tehnološkim rešenjima da bi identifikacija bila sigurna i pouzdana. Detektovani objekti liče na nepravilne pretežno tačkaste mrlje, čiji oblik fluktuiru u vremenu. U slučajevima kontrole plovidbe na pomorskim rutama gde se dešava da u posmatranom prostoru bude i po nekoliko stotina brodova zadatak automatske identifikacije samo pomoću radarskih senzora nije rešen. Tu se kao pomoćna sredstva koristi video oprema sa velikim stepenom uveličanja. I pored takvih sistema prepoznavanje je problematično jer postoji fluktuacija u atmosferi iznad morske površine pa dolazi do distorzije slike.

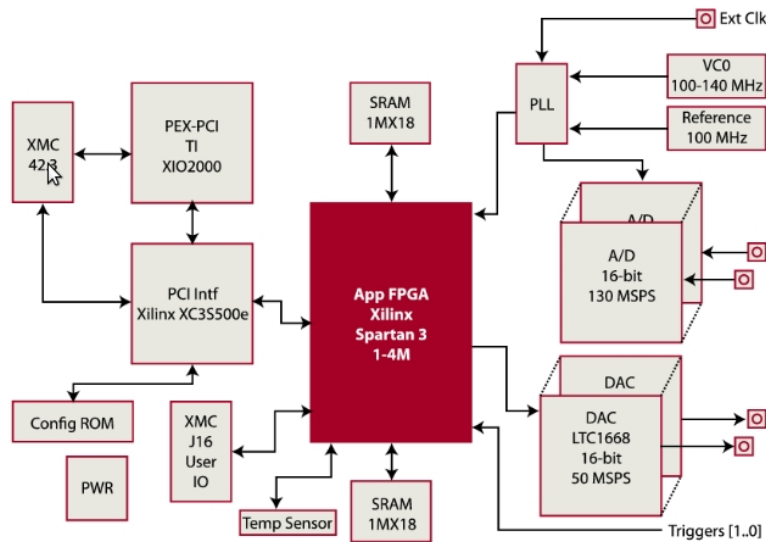
Na slici 1.12 može se videti pomorska situacija u rejonu oko luke Amsterdam, gde je na udaljenosti od oko 120NM identifikovano 2267 objekata na moru. Slika je snimljena sredinom maja 2012-te godine pomoću servera za nadzor pomorskog saobraćaja www.aishub.net. Pomenuti sistem se primenjuje poslednjih desetak godina i u pomorstvu je zaživeo pod nazivom Automatski Identifikacioni Sistem AIS. AIS sistem je nastao po uzoru na sličan sistem koji se koristi u kontroli vazdušnog prostora. Sistem je tehničko tehnološki potpuno standardizovan. Kao kičma AIS sistema koristi se mreža digitalnih radio primopredajnika koji rade na dve frekvencije 161.975MHz i 162.025MHz. Digitalni podaci se prenose brzinom od 9600 bps a koristi se Gaussian Minimum Shift Keying GMSK modulacija preko kanala propusnog opsega od 25KHz ili 12.5 KHz i sa protokolom koji ima High level Data Link Control HDLC paketsku kontrolu. Učešće

SBC6713e



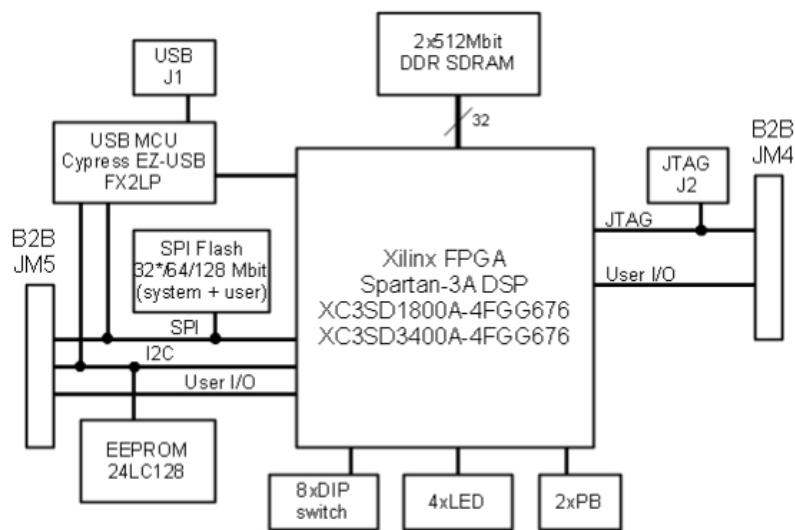
(a) Modul Innovative Integration SBC6713

X3-25M



(b) Modul Innovative Integration X3-25M

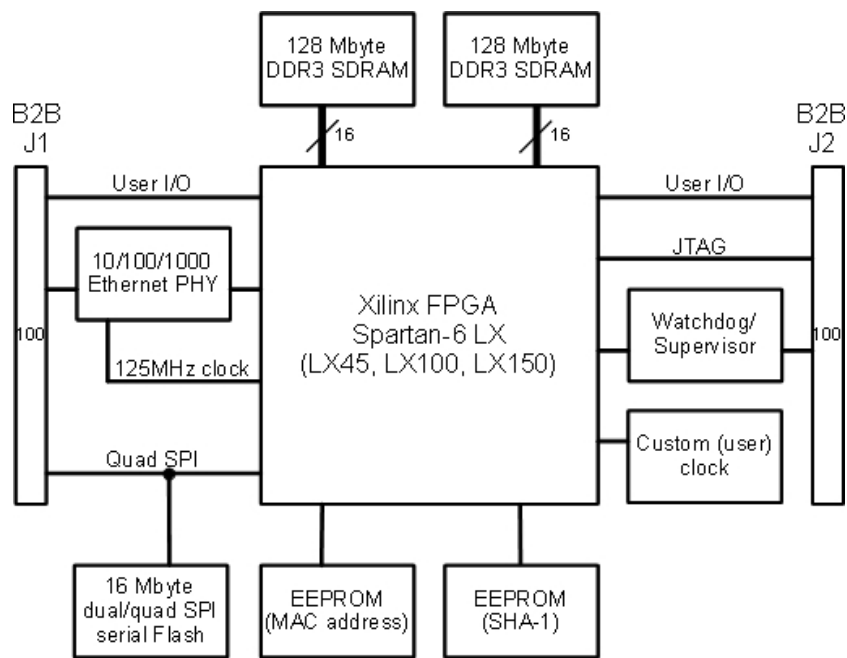
Slika 1.10: Blok šeme modula koji su korišćeni prilikom formiranja bitmape proizvedeni od firme Innovative Integration



* Default Flash option

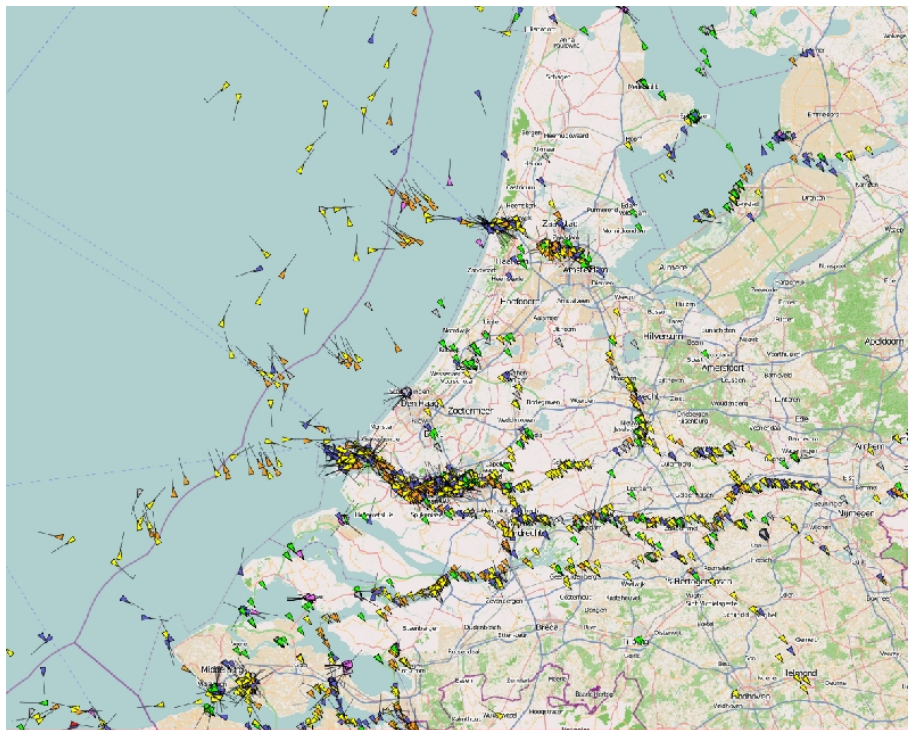
TE0320 block diagram

(a) Modul Trenz Electronic TE0320 luku



(b) Modul Trenz Electronic TE0600

Slika 1.11: Blok šeme modula koji su korišćeni prilikom formiranja bitmape proizvedeni od firme Trenz Electronic GmbH



Slika 1.12: Slika pomorskog saobraćaja u rejonu Amsterdama sa 2267 objekata koji su identifikovani AIS sistemom

više učesnika istovremeno omogućava se STDMA tehnologijom multipleksiranja (Self Organized Time Division Multiple Access). Informacije koje dolaze sa AIS sistema su u obliku vektora ASCII karaktera i relativno jednostavno se obrađuju pomoću savremenih računara. Kao rezultat u memoriji računara formira se tabela plovila sa statičkim, dinamičkim i podacima vezanim za konkretno putovanje. Odgovarajućim simbolima se pokazuje tako primljena pozicija preko ekrana sa elektronskom pomorskom kartom ili preko bitmape dobijene pomoću radara. Čest je prikaz radarske slike, elemenata Geografskog Informacionog Sistema GIS i podataka dobijenog sa sistema AIS istovremeno. Između navedenih sistema najčešće ne postoji nikakva interakcija - koristi se obično preklapanje. Operater – čovek odlučuje da li će pridružiti mrlju plovila – objekta dobijenu radarom i simbol dobijen sa AIS-a ili da mrlja dobijena sa radara pripada nekoj formaciji na kopnu. Korišćenjem AIS tehnologije problem identifikacije objekata je dobrim delom rešen. Na žalost, nemoguće je opremiti sve čamce i plovila ovim sistemom. Po sadašnjim regulativima samo brodovi preko 300 brt obavezni su da poseduju AIS primopredajnik. Brodovi koji pripadaju ratnim mornaricama po vlastitoj želji uključuju ili isključuju identifikaciju. Plovila sa lošim namerama izbegavaju samoidentifikaciju pomoću AIS sistema, čak pokušavaju da smanje svoj radarski odraz, pa se prave u obliku mini podmornica ili objekata koji plove u poluzaronjenom stanju – kod takvih objekata jedino viri cev za usis vazduha. Brzi gliseri pomoću kojih se vrše piratski napadi na trgovačke brodove takođe ne poseduju AIS primopredajnike i predstavljaju male – često puta zanemarivane odraze od strane automatskih procesora radara zato što se kreću jako brzo i njihov odraz nije postojan, ima veliku fluktuaciju. U slučaju kada odraz piratskog glisera na radaru postane dobro uočljiv tada je već kasno za posadu ciljanog broda.

1.7 Integracija Geografskog Informacionog Sistema GIS

Svedoci smo da skoro svi pokazivači modernih pomorskih radara imaju opciju da prikažu integrisani Geografski Informacioni Sistem (GIS) [44][3]. Informacije GIS-a su obično smeštene na nekom od memorijskih medijuma u formatu bitape, linija vektora, zatvorenim poligonalnima, karakterističnim tačkama itd. U radarskim implementacijama sa GIS opcijom obično je moguće da se selektivno prikaže ponuđeni GIS sadržaj preko radarske slike kao što je detaljnije objašnjeno u [7][16][13]. Obično nema nikakve

interakcije između sistema GIS i slike koja se dobija pomoću radarskog senzora. Slika na displeju se dobija običnim preklapanjem preprocesirane radarske slike i slike zasnovane na željenom GIS sadržaju.

GIS slika se formira na osnovu selektovanih objekata iz baze podataka uzimajući u obzir trenutnu poziciju na kojoj se nalazi radarski senzor i ugao referentnog smera antene u odnosu na sever. U poglavlju 4.1 uveden je određeni nivo interakcije između između sirovog radarskog signala i baze podataka GIS-a, sa posebnom željom da to radi u realnom vremenu. Kod komercijalnih pomorskih radara rezultujuća slika je vrlo izobličena u odnosu na realno okruženje u prirodi.

Pri projektovanju sistema na kojem se prikazuju podaci sa GIS-a, radarske slike u formi bitmape i podataka sa AIS-a, potrebno je voditi računa da se izbegnu moguće greške zanemarivanja projekcije prikaza. Pomorske karte se obično prikazuju u nekoj od projekcija – Gaus Krigerova, Merkatorova. Radarski senzor meri kosu daljinu do objekta u sfernom koordinatnom sistemu a kod pomorskih radara shodno dijagramu zračenja antene i kružnom pretraživanju površine mora radarom dobijena merenja mogu se aproksimativno prikazati polarnim koordinatnim sistemom koji se transformiše na Dekartov pravougli koordinatni sistem. Prilikom projektovanja pomorskog komandno informacionog sistema HORIZONT [34] [1] [11] [26], kompromis je napravljen u izboru metoda usklađivanja koordinata radi smanjenja greške prikaza. Podaci GIS-a smešteni su u bazu podataka u geografskim koordinatama (geografska širina, dužina), a odabran je referentni elipsoid WGS-84. Podaci primljeni sa sistema AIS, koji se odnose na poziciju takođe su referencirani u odnosu na WGS-84 sistem. Podaci sa radara dolaze u formi vektora 8 ili 16 bitnih vrednosti koje predstavljaju intenzitet refleksije na određenoj daljini. Kod 2D pomorskih radara svaki takav vektor je orjentisan u odnosu na pravac severa po uglu. Poseban matematički blok (softver ili FPGA hardver), realizuje konverziju ovog vektora na pravougli koordinatni sistem uz funkciju integraljenja (da bi se refleksija smatrala odrazom potrebno je da nekoliko susednih ćelija na istoj jedinici daljine bude iznad nekog fiksnog ili promenljivog praga). U radovima [41] [?] može se videti primena inteligentnih metoda na niskom nivou u samoj obradi signala i spektara. Pored klasičnih senzora u obliku radara, sonara i video kamera, kao i njihovih mreža, sistema AIS u pomorstvu i SSR radara sa transponderima u letelicama, koriste se i brojne baze podataka plovila odnosno vazduhoplova. Oba sistema identifikacije u pomorskom i avio saobraćaju karakterišu se kao sistemi za davanje tačnih podataka (identifikacija,

pozicija, elementi kretanja) o sopstvenom objektu. Poslednjih godina u tehnologiji SSR radara u kontroli avio saobraćaja sve više se koristi takozvani mod S koji omogućuje davanje sličnih informacija kao AIS sistem u pomorstvu.

1.8 Problemi

Piraterija, krijumčarenje ljudi, droge i oružja je dominantan problem u kontroli saobraćaja na moru. Činjenica je da svi objekti koji saobraćaju na moru nemaju ugrađen AIS primopredajnik. Sa druge strane neki objekti namerno izbegavaju da se identifikuju, pa se na taj način namerno pokušavaju provući nopaženo kroz osmatračku mrežu. Najverovatnije je da su takva plovila napravljena da smanje verovatnoću otkrivanja i lokalizacije pomoću nekog od senzora (radarskog, podvodnog, video u vidljivom i IC delu spektra). Brzina kojom se kreću sumnjivi objekti zna da bude ispod 5 čvorova što ih čini teško uočljivim čak i pomoću radara sa Doplerovim procesiranjem signala. Trgovački brodovi su opremljeni klasičnim pomorskim navigacionim radarima, koji najčešće nemaju nikakav oblik doplerovog procesiranja. Čoveku operateru ostavljeno je da podesi ručno ili uz male automatizovane modove rada podešavanjem parametra kao što su: pojačanje video signala, jačina ovetljenja, nivo uticaja filtra za smanjivanje smetnji od visine talasa na moru, nivo uticaja filtra za smanjivanje smetnji od kiše, fino podešavanje frekvencije lokalnog oscilatora, bez ikakve garancije da će sumnjivi objekti biti detektovani.

Glava 2

Detekcija objekata koji liče na tačke

2.1 Klasičan pristup

Postoje brojne metode za procesiranje radarske slike i detekciju objekata i mnoge su prikazane u [47]. Rezultat detekcije objekata su tačke određene u vremenskim i prostornim koordinatama i obično se nazivaju plotovi. Plotovi predstavljaju detekciju objekta, koja može da potiče od lažne detekcije, može da potiče od stvarnog objekta koji se prvi put detektuje ili da pripada novom merenju pozicije objekta koji je već osmotren i njegovi parametri se računaju - osvežavaju nakon svakog obrtaja antene osmatračkog radara. Kod radara sa digitalnim procesiranjem video signal je diskretizovan po uglu i daljini.

U svakoj ćeliji vrednosti signala se porede sa na neki način definisanom veličinom koja se naziva prag. Na osnovu praga formira se binarna slika koja ako je vrednost video signala na posmatranoj ćeliji manja ima vrednost 0 odnosno 1 ako je vrednost veća od praga.

Prag se može u nekim slučajevima postaviti da bude konstanta za celu sliku. Ovakav pristup se koristi kod jeftinijih malih brodskih navigacionih radara. Malo bolje verzije imaju mogućnost definisanja kružnih odsečaka unutar koji se dozvoljava detekcija plotova kao i korelisanje sa prethodnim rezultatima procesiranja.

Pored fiksni vrednosti pragova mogu biti promenljive. Jedna od široko korišćenih metoda je za određivanje promenljive vrednosti praga je metoda konstantnog odnosa lažnog alarma (Constant False Alarm Rate CFAR). Ovo je jedna od najstarijih i najšire

rasprostranjenih metoda koja je masovno implementirana u obliku hardverske implementacije poznate kao CFAR procesor. Poznat problem ove metode je neodređenost rezultata u rubnim područjima kao ko pomorskih radara u oblasti prelaza kopno more.

Pored metode CFAR koriste se i metode Automatskog ili ručnog mapiranja smetnji - Automatic Cluter Mapper. Ovim pristupom određuju se područja na radarskoj slici gde se podiže vrednost praga prihvatanja rezultata odnosno čak se i zabranjuje detekovanje plotova.

Nakon formiranja binarne slike pokušava se grupiranje i procena dali na lokacijama gde postoje detekcije može da se donese odluka o generisanju informacije da plot postoji.

Najčešće korišćene procedure za detekciju plotova koriste tehniku pokretnog prozora. Procesni sistem broji broj susednih ćelija. Broj tako izbrojanih ćelija se poredi sa drugim pragom da bi se donela odluka dali postoji detekcija i shodno tome da se odluči da li tu detekciju proglasiti potencijalnim objektom koji će se pratiti - plot.

Za tačkasti objekat broj detekcija u susednim ćelijama po uglu je funkcija širine horizontalnog dijagrama zračenja antene, impulsne frekvencije, ugaone brzine rotacije antene, a po daljini je funkcija širine impulsa.

Postoji i metoda pokretnih kapija za detekciju GATING (područja definisanih u delu gde se očekuje objekat odnosno plotovi od istog pa se tamo smanjuje prag prihvatanja rezultata odnosno pretvaranja u binarnu sliku).

Zajednička osobina svih pomenutih metoda je da se male informacije zanemaruju i odbacuju. Stariji iskusni operatori na radarima često iskućuju CFAR procesore i zahtevaju od operatera da namerno pojaćaju osetljivost prijernika da bi se videli mali objekti. Takodje se u uslovima malih objekata (sa malom radaskom refleksnom površinom i velikom fluktuacijom) pokušava da operater manuelno pomogne detekciju ili koriguje sa vremena na vreme.

Moderni komercijalni pomorski radari prikazuju radarsku sliku u binarnoj formi uz mogućnost prikaza elektronske navigacione karte u vektorskom obliku preko korisnih informacija bez ikakve interakcije. Operateru je ostavljena mogućnost izbora velićine pojaćanja signala na izlazu iz sklopa međufrekventnog pojaćala i sistema filtera za otklanjanje smetnji od mora ili od kiše. U rezultujućoj slici dobija se informacija samo

ima nema i ukoliko operater želi da vidi male objekte sa velikim nivoom premene signala najčešće se dolazi do kontaminacije slike neželjenim informacijama.

2.2 Savremene tendencije

Pored klasičnog pristupa postoje brojni noviji radovi koji se bave metodama poboljšanja slike u formi redukcije smetnji (klatera). Analiza različitih metoda redukcije smetnji može se videti u radovima Ellis i Dix [19, 20]. Ove metode se koriste zato što se metode linearnog procesiranja signala ne mogu koristiti. Najveći problem je da je dinamika morskog klatera vrlo nelinearna. Samim tim spektar signala objekata na moru i spektar signala klatera međusobno se preklapaju. Ako se proba doplerovo procesiranje signala sa radara korisne informacije sa objekata na moru su pomešane sa signalima od klatera. Ovaj problem navodi da je potrebno koristiti nelinearne metode procesiranja. Generalno nove metode se mogu podeliti u tri kategorije zavisno od matematičkog modela:

- na metodama procesiranja slike
- na upotrebi statističkih metoda u obradi slike kao metoda CFAR Gosh i ostali [21] i Verma i ostali [51] .
- na veštačkim neuro mrežama Vicen-Bueno i ostali, [52, 53] koje su novijeg datuma.

Zajednička osobina koja karakteriše nove pomenute metode poboljšanja slike je da se njihovom upotrebom brišu objekti sa malim refleksijama i velikom fluktuacijom signala.

2.3 Alternativni pristup

Nivo refleksije elektromagnetne energije od malih objekata je vrlo mali i ima veliku fluktuaciju u intenzitetu i distribuciji oko objekta. Ovaj fenomen vodi u situaciju da su mali objekti teški za detekciju sa klasičnim metodama. Najčešće takvi objekti neće biti detektovani i proglašeni plotovima.

Poboljšana metoda detekcije malih objekata koji liče na tačkaste u bitmapi sa nijansama sive boje predmet je ove teze. Pomenuta bitmapa se dobija pomoću originalnog konvertora radarske slike u bitmapu koji je ugrubo opisan u poglavlju 1.5.

Pristup u ovom radu različit i pokušano je da se detektuju željene informacije o problematičnim objektima iz sirove slike bez bilo kakvog prethodnog filtriranja.

2.4 Metode detekcije malih objekata

Problem detekcije objekata koji liče na tačkaste na slikama bitmapiranog tipa, spada u klasu fundamentalnih problema sistema kompjuterske vizije. Kasnih osamdesetih godina dvadesetog veka pojavila se je posebna grupa metoda koja je bila zasnovana na analizi optičkog toka. U radovima Kearney i ostali [27] ukazano je na nekoliko kategorija pristupa tom problemu. Jedna kategorija je zasnovana na metodama analize gradijenata, kojima se analizira promena intenziteta elemenata rezolucije (pixela). Druga kategorija uključuje metode zasnovane na procedurama traženje po nekom šablonu. Vremenom se pojavila i treća metoda kojom se pokušava identifikacija strukturnih tipova formacija, koje liče na linije, krugove, elipse a sve su one zasnovane na različitim implementacijama Houghove transformacije [45].

Metode zasnovne na analizi raspodele intenziteta na slici često se nazivaju autokorelacione metode. One su predložene od strane Harris i Stephens u [22], u Noble [38], Shi i Tomasi [43], Kenney i ostali [28]. U seriji radova Kenney i ostali [28][29][55] detaljna komparativna analiza autokorelacionih metoda je urađena.

U radu Kenney, C.S., Zuliani, M., Manjunath [29] urađen je aksiomatski prilaz na nekoliko metoda detekcije zasnovanih na autokorelaciji. Originalni doprinos je napravljen u poređenju metoda za detekciju karakterističnih tačaka - ćoškova. Metode kao što su Harris-Stephens, Forster, Shi - Thomasi, Rohr su generalizovane na taj način da podaci mogu biti prikazani u jednoj, dve ili N dimenzija po poziciji, a po intenzitetu od 1 do M dimenzija.

Rad Barnea i ostalih [2] predstavlja primer korišćenja normalizovane kros korelacije u problemima identifikacije i registracije slika. Brunelli i Poggio [5] uporedili su druge

metode traženja po šablonu na slici i identifikovali su metod lokalizacije karakterističnih tačaka u zadacima prepoznavanja ljudskog lica.

Primer novijeg rada koje koristi takve metode prikazan je u radu Lamberti i ostali [31].

Pomenuta metoda Shi i Tomasi [43] dalje je razvijana na način pokazan u radovima Tomasi i Kanade [50] i u Lukas i Kanade [32]. Ovako razvijena metoda je opšte prihvaćena i često se pominje pod imenom KLT (Kanade, Lukas, Tomasi). Jedan od primera praktične implementacije ove metode dat je u okviru biblioteke za računarsku viziju pod trgovačkim imenom OPEN CV (Open Computer Vision). Projekat je sponzorisan od strane firme INTEL i dostupan je u izvornom kodu. U okviru navedene programerske biblioteke dat je izveštaj od Bouguet [4], gde je detaljno opisana implementacija Shi i Tomasi metoda u detekciji objekata koji liče na tačkaste i njihovo praćenje korišćenjem piramidalne dekompozicije slike po metodi Lukas i Kanade [32]. Aktuelnost ovih metoda se potvrđuje skorim implementacijama i unapređenjima u radu na procesorima opšte namene, na mreži digitalnih procesora signala DSP, FPGA implementacijama i implementacijama na grafičkim procesorskim jedinicama (GPU) kao što su NVIDIA sa CUDA aplikacionim okruženjima [40][30][54][23][24].

Sve metode detekcije u nekom delu imaju neki parametar čiju veličinu treba odrediti sa ciljem da se rezultat prihvati ili odbaci.

2.5 Matematička formulacija

U ovom poglavlju pokazan je izvod metode kojom se detektuju dobri elementi za praćenje na jednoj slici.

Posmatraju se dve uzastopne slike sa nekim detaljem koji je pomeren u na drugoj slici u odnosu na prvu. Slike su prikazane u matričnom obliku A i B (bitmape sa vrednostima piksela koje predstavljaju intenzitet sive boje). Formira se podmatrica matrice A dimenzija $(2\omega_x + 1, 2\omega_y + 1)$ (fizički odgovara maloj sličici unutar slike A) sa centrom u (x, y) . Na isti način formira se i podmatrica matrice B istih dimenzija sa centrom u $(x + v_x, y + v_y)$. Dvostruka suma kvadrata razlike $\varepsilon(v_x, v_y)$ 2.1 predstavlja grešku – neslaganje između posmatranih sličica unutar slika A i B. Pomeranjem (v_x, v_y) u okolini

(x, y) i proračunom sume kada se dobije najmanja vrednost $\varepsilon(v_x, v_y)$, tada je pronađena pozicija pomeraja objekta koji se prati. Taj pomak može se označiti $\bar{v} = [v_x \ v_y]$

$$\varepsilon(\bar{v}) = \varepsilon(v_x, v_y) = \sum_{x=p_x-\omega_x}^{x=p_x+\omega_x} \sum_{y=p_y-\omega_y}^{y=p_y+\omega_y} [A(x, y) - B(x + v_x, y + v_y)]^2 \quad (2.1)$$

ukoliko je idealno slaganje, tada se taj pomeraj naziva optimalan pomeraj $\bar{v} = \bar{v}_{opt}$ i tada je $\frac{\partial \varepsilon(\bar{v})}{\partial \bar{v}} = [0 \ 0]$ kao u 2.2

$$\frac{\partial \varepsilon(\bar{v})}{\partial \bar{v}} \Big|_{\bar{v}=\bar{v}_{opt}} = [0 \ 0] \quad (2.2)$$

Ukoliko se izračuna izvod $\frac{\partial \varepsilon(\bar{v})}{\partial \bar{v}}$ dvostruke sume 2.1 dobija se 2.3

$$\frac{\partial \varepsilon(\bar{v})}{\partial \bar{v}} = -2 \sum_{x=p_x-\omega_x}^{p_x+\omega_x} \sum_{y=p_y-\omega_y}^{p_y+\omega_y} (A(x, y) - B(x + v_x, y + v_y)) \begin{bmatrix} \frac{\partial B}{\partial x} & \frac{\partial B}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Ako se uradi razvoj u Tejlorov red prvog reda $B(x + v_x, y + v_y)$ u tački $\bar{v} = [v_x \ v_y]^T = [0 \ 0]^T$ dobija se 2.4

$$\frac{\partial \varepsilon(\bar{v})}{\partial \bar{v}} \approx -2 \sum_{x=p_x-\omega_x}^{p_x+\omega_x} \sum_{y=p_y-\omega_y}^{p_y+\omega_y} \left(A(x, y) - B(x, y) - \begin{bmatrix} \frac{\partial B}{\partial x} & \frac{\partial B}{\partial y} \end{bmatrix} \bar{v} \right) \begin{bmatrix} \frac{\partial B}{\partial x} & \frac{\partial B}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

matrica $\begin{bmatrix} \frac{\partial B}{\partial x} & \frac{\partial B}{\partial y} \end{bmatrix}$ predstavlja gradijent vektor piksela slike B. i može se predstaviti u obliku 2.5

$$\nabla I = \begin{bmatrix} I_x \\ I_y \end{bmatrix} = \left[\frac{\partial B}{\partial x} \quad \frac{\partial B}{\partial y} \right]^T \quad (2.5)$$

Kada se posmatra niz sukcesivnih slika može se zameniti oznaka B sa A. Ako se uvede notacija po 2.5, vektor $\begin{bmatrix} I_x \\ I_y \end{bmatrix}$ može se računati pomoću pravila centralnog diferencijalnog teorema kao što je dato u 2.6 i 2.7.

$$I_x = I_x(x, y) = \frac{\partial A(x, y)}{\partial x} = \frac{A(x+1, y) - A(x-1, y)}{2} \quad (2.6)$$

$$I_y = I_y(x, y) = \frac{\partial A(x, y)}{\partial y} = \frac{A(x, y+1) - A(x, y-1)}{2} \quad (2.7)$$

Tada se izraz 2.4 može napisati u obliku 2.8 odnosno u obliku 2.9

$$\frac{1}{2} \frac{\partial \epsilon(\bar{v})}{\partial \bar{v}} \approx \sum_{x=p_x-\omega_x}^{p_x+\omega_x} \sum_{y=p_y-\omega_y}^{p_y+\omega_y} (\nabla I^T \bar{v} - \delta I) \nabla I^T \quad (2.8)$$

$$\frac{1}{2} \left[\frac{\partial \epsilon(\bar{v})}{\partial \bar{v}} \right]^T \approx \sum_{x=p_x-\omega_x}^{p_x+\omega_x} \sum_{y=p_y-\omega_y}^{p_y+\omega_y} \left(\begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} \bar{v} - \begin{bmatrix} \delta I \cdot I_x \\ \delta I \cdot I_y \end{bmatrix} \right) \quad (2.9)$$

Ukoliko se preuredi 2.9 tako što se uvedu promenljive kao u 2.10 i 2.11 dobja se izraz 2.12

$$G = \sum_{x=p_x-\omega_x}^{p_x+\omega_x} \sum_{y=p_y-\omega_y}^{p_y+\omega_y} \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

$$\bar{b} = \sum_{x=p_x-\omega_x}^{p_x+\omega_x} \sum_{y=p_y-\omega_y}^{p_y+\omega_y} \begin{bmatrix} \delta I \cdot I_x \\ \delta I \cdot I_y \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

$$\frac{1}{2} \left[\frac{\partial \epsilon(\bar{v})}{\partial \bar{v}} \right] \approx G\bar{v} - \bar{b} \quad (2.12)$$

Pa ako se ima zadovoljen uslov 2.2 može se zaključiti

$$\bar{v}_{opt} = G^{-1} \bar{b} \quad (2.13)$$

$$G = \begin{bmatrix} a & c \\ c & b \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

Dobijena relacija 2.13 predstavlja polazište za metode Haris-Stivens i Shi-Tomasi. Matrica G data u formi 2.14 koristi se u izvedenim autokorelacionim metodama.

2.6 Haris-Stivensonova Auto-Korelaciona metoda

Jedna od auto korelacionih metoda predložena je u radovima [22]. U stručnim člancima ova metoda se popularno naziva po autorima Haris-Sivensonova. Nastavljajući rad koji je objavio Moravec [37], formirana je funkcija kojom se pojačavaju intenziteti detalja na slici koji predstavljaju ivice i čoškove. Predložena relacija koja je dobijena kao linearna kombinacija determinante matrice G i kvadrata njenog traga uz dodavanje

empirijske konstante k prikazana je u 2.15. Vrednost ovog izraza rachuna se za svaku poziciju pixela slike koja se analizira. Broj dobijen iz relacije 2.15 predstavlja meru kvaliteta čoška ili ivice.

$$R(p_x, p_y) = \det(G(p)) - k \cdot \text{trace}^2(G(p)) = ab - c^2 - k(a + b)^2 \quad (2.15)$$

gde je

$$(\min(x) + \omega_x) < p_x < (\max(x) - \omega_x) \quad (2.16)$$

$$(\min(y) + \omega_y) < p_y < (\max(y) - \omega_y) \quad (2.17)$$

Vrednost $R(p) = R(p_x, p_y)$ računa se za oblast određenu uslovima 2.16 i 2.17. U poglavlju 3.2 pokazano kako se dobijeni rezultati prihvataju ili odbacuju - drugim rečima proces detekcije.

2.7 Shi-Tomasi Auto-Korelacioni metod

Druga analizirana auto korelaciona metoda za naglašavanje detalja koji liče na tačke predložena je u radu [43]. U osnovi metoda Shi-Tomasi je slična Haris-Stivensonovoj u kojoj je bitmapirana slika predstavljena matricom $A(x, y)$, a računa se matrica $G(p_x, p_y)$ za svaki pixel pomoću relacije 2.10. Matrica $G(p)$ može biti predstavljena na isti način kao u 2.14.

Glavna razlika ove metode u odnosu na Haris-Stivensonovu je da se za matricu G računaju sopstvene vrednosti 2.18 čije se rešavanje svodi na oblik korena kvadratne jednačine 2.19 pa se izabira manja vrednost λ kao u 2.20. Rezultati se smeštaju u matricu $L(p)$.

$$\det(G - \lambda I) = 0 \quad (2.18)$$

$$\lambda_{1,2} = \frac{a+b}{2} \pm \frac{\sqrt{4c^2 + (a-b)^2}}{2} \quad (2.19)$$

$$L(p) = \min(\lambda_1(p), \lambda_2(p)) \quad (2.20)$$

Vrednost $L(p) = L(p_x, p_y)$ računa se za oblast određenu uslovima 2.16 i 2.17. U poglavlju 3.3 pokazano kako se dobijeni rezultati prihvaćaju ili odbacuju - drugim rečima proces detekcije.

2.8 Metoda Normalizovane Kros Korelacije

Mogućnost da se detektuju i lociraju objekti koji liče na tačkaste je pretraživanje sličnosti po šablonu. Metoda normalizovane kros korelacije je široko eksploatisana metoda i opisana je u mnogo radova.

Inicijalni zadatak je rešavanje problema sa zadatkom minimiziranja sume srednje kvadratne razlike (Minimizing Sum of Square Difference (MSSD)) između slike u bitmapiranom obliku predstavljenoj u formi matrice $A(x, y)$ i šablona u obliku matrice T . Ovaj zadatak je dobro poznat i dat je u formi 2.21. Zadatak je naći lokacije sa minimumom vrednosti za $\epsilon(p_x, p_y)$ a na osnovu 2.21.

$$\epsilon(p_x, p_y) = \sum_{m_x=-\omega_x}^{\omega_x} \sum_{m_y=-\omega_y}^{\omega_y} [A(p_x + m_x, p_y + m_y) - T(\omega_x + m_x, \omega_y + m_y)]^2 \quad (2.21)$$

Dimenzije bitmape $A(x, y)$ su N_x, N_y a oblast računanja vrednosti $\epsilon(p_x, p_y)$ je $\omega_x < p_x < (N_x - \omega_x)$, $\omega_y < p_y < (N_y - \omega_y)$. Na pozicijama piksela gde je vrednost $\epsilon(p_x, p_y)$ najmanja postoji dobro poklapanje šablona i slike $A(x, y)$ u kojoj se traži segment koji liči na tačku. Postoje poboljšane verzije izraza 2.21. Ako se razvije kvadrat razlike i izraz normalizuje onda se dobije izraz u obliku 2.23 koji je poznat pod nazivom normalizovana kros korelacija. Ovakav oblik je nezavisan od promene intenziteta.

Za potrebe ovog rada koristi se šablonska bitmapa T dimenzija $(2\omega_x + 1, 2\omega_y + 1)$. Izabran je kvadratni oblik šablona gde je $\omega_x = \omega_y = 3$, koji liči na tačku (2.22). Dimen-

zije ove tačke su 7×7 piksela. Odabrana je srednja vrednost intenziteta 127 između minimuma i maksimuma vrednosti svakog piksela. Raspored ovih vrednosti grubo odgovara obliku tačke - odnosno malom krugu. Na taj način pokušava se da se premosti činjenica da je normalizovana kros korelacija osetljiva na probelme rotacije, translacije, affine transformacije, skaliranje. Martin i Crowdy [33] poredili su korelacione metode i naglasili su ove efekte.

Izraz 2.22 predstavlja izgled preddefinisanog šablona. Polazni zadatak za rešavanje problema traženja pomoću šablona je dobro poznati oblik dat u 2.21 kome je cilj da se nađe minimum $\epsilon(p_x, p_y)$ zbira kvadrata razlike.

$$T(k, l) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 127 & 127 & 127 & 0 & 0 \\ 0 & 127 & 127 & 127 & 127 & 127 & 0 \\ 0 & 127 & 127 & 127 & 127 & 127 & 0 \\ 0 & 127 & 127 & 127 & 127 & 127 & 0 \\ 0 & 0 & 127 & 127 & 127 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

$$\begin{aligned} \epsilon(p_x, p_y) &= K(p) = \\ &= \frac{\sum_{m_x=-\omega_x}^{\omega_x} \sum_{m_y=-\omega_y}^{\omega_y} \left[(A(p_x+m_x, p_y+m_y) - \bar{A}(p_x, p_y))(T(\omega_x+m_x, \omega_y+m_y) - \bar{T}) \right]}{\sqrt{\sum_{m_x=-\omega_x}^{\omega_x} \sum_{m_y=-\omega_y}^{\omega_y} \left[(A(p_x+m_x, p_y+m_y) - \bar{A}(p_x, p_y))^2 (T(\omega_x+m_x, \omega_y+m_y) - \bar{T})^2 \right]}} \end{aligned} \quad (2.23)$$

U izrazu 2.23 promenljiva $\bar{A}(p_x, p_y)$ je srednja vrednost prozora dimenzija $(2\omega_x+1, 2\omega_y+1)$ sa centrom u (p_x, p_y) , a \bar{T} srednja vrednost šablona T . Da bi se uskladili simboli sa prethodnim poglavljima uvedena je nova promenljiva $L_c(p) = L_c(p_x, p_y) = \epsilon(p_x, p_y)$.

Vrednost $L_c(p) = L_c(p_x, p_y)$ računa se za oblast određenu uslovima 2.16 i 2.17. U poglavlju 3.4 pokazano kako se dobijeni rezultati prihvataju ili odbacuju - drugim rečima proces detekcije.

Glava 3

Detekcija malih objekata sa velikom fluktuacijom

3.1 Uvod

U ovoj glavi dat je opis originalnog pristupa u metodi detekcije malog objekta sa velikom fluktuacijom. Najpre se definišu normalizovani pragovi detekcije izraženi u procentima za sve tri ranije pomenute metode. Zatim se opisuje na koji način je uvedeno prostorno filtriranje. Sledi definisanje predložene procedure preklapanja rezultata i definisanje funkcije kvaliteta preklapanja. Traženjem maksimuma tako definisanih funkcija preklapanja dolazi se do preporučenih vrednosti pragova prihvatanja lokacija na kojima se nalaze odrazi koji potiču od malih objekata sa malom radarskom refleksnom površinom i sa velikom fluktuacijom refleksije. Predloženi metod testiran je na stvarno snimljenoj silici i na istoj takvoj ali sa dodatim simuliranim objektima.

3.2 Prag u metodi Haris-Stivens

Da bi se metoda Haris-Stivens koristila kao detektor - odnosno dali prihvatiti rezultat ili ga odbaciti potrebno je uvesti prag prihvatanja ili odbijanja rezultata. Originalno je uveden izraz 3.1 pomoću koga se omogućava da se formira T_h na osnovu procentualno zadate vrednosti T_H koja je na neki način odredjena.

$$T_h = R_{min} + \frac{(R_{max} - R_{min}) \cdot T_H}{100} \quad (3.1)$$

Vrednosti R_{min} i R_{max} , predstavljaju minimalnu i maksimalnu vrednost na pozicijama svih piksela koji su dobijeni kao rezultat izraza 2.15.

Kada je vrednost $R(p)$ veća od T_h lokacija se prihvata kao detekcija, odnosno ako je manja odbija se. U matricu R_t smeštaju se vrednosti 0 ako je vrednost manja od T_h a originalna vrednost iz R ako je veća od vrednosti T_h .

Na ovako dobijenoj matrici R_t primenjuje se prostorno filtriranje na način da se ona podeli u podmatrice i samo lokalni maksimumi se uzimaju dalje obzir. Svim ostalim lokacijama dodeljuje se vrednost 0. Na ovaj način dobijen je skup O_H .

Ovaj rad se blize bavi problematikom određivanja praga T_H .

3.3 Prag u metodi Shi-Tomasi

Standardne implementacije ove procedure predlažu sortiranje vrednosti iz $L(p)$ od najveće ka manjim vrednostima prvih N_j lokacija, gde je N_j ranije definisana konstanta. Sortiranje većeg broja ovih tačaka je vremenski zahtevan posao i može značajno da produži vreme izvršavanja ove metode.

Alternativa uzimanju prvih N_j sortiranih elemenata je određivanje relativnog praga T_S koja se predlaže u ovom radu. Relativni prag predstavlja procentualni odnos u odnosu na ekstremne vrednosti matrice $L(p)$. Odgovarajući apsolutni prag ima vrednost određenu sa 3.2.

$$T_s = L_{min} + \frac{(L_{max} - L_{min}) \cdot T_S}{100} \quad (3.2)$$

Vrednostima lokacija elemenata matrice $L(p)$ manjim od T_s dodeljuje se vrednost 0. Nakon toga primenjuje se prostorni filter na modifikovanoj matrici $L(p)$. Na isti način kao u 3.3 potrebno je uraditi prostorno filtriranje. Rezultirajući je sup os O_S .

Predložena procedura 3.5 koja će biti kasnije opisana daje predlog i za veličinu praga T_S .

3.4 Prag u metodi Normalizovane Kros Korelacije

Rezultat izraza 2.23 je u opsegu $K(p) \in (-1, 1)$. Maksimalna negativna vrednost $K(p)$ odgovara dobrom slaganju pozicije na slici i zadatog šablona, dok maksimalne pozitivne vrednosti odgovaraju poklapanju sa invertovanim šablonom.

$$T_C = K_{min} + \frac{(K_{max} - K_{min}) \cdot T_C}{100} \quad (3.3)$$

Slično kao u prethodna dva poglavlja ali ovog puta negativnije vrednosti se uzimaju u dalje razmatranje a pozitivnijim se daje vrednost 0. Prostorni filter (kao u 3.2 i 3.3) se primenjuje nad matricom $K(p)$ pa se lokacije na kojima se nalazi lokalni maksimum smatraju detekcijama. Detekcije se smeštaju u skup O_C .

3.5 Predložena procedura preklapanja

Originalna ideja ovog rada je predlog procedure za nalaženje optimalnih vrednosti pragova T_H , T_S i T_C . U radu [18] je opisana predložena procedura. Vrednosti navedenih pragova su izabrane da budu diskretne celobrojne vrednosti procenta (ili promila). Za svaku diskretnu vrednost pragova T_H , T_S i T_C formiraju se skupovi O_H , O_S i O_C respektivno.

Elementi ova tri skupa su lokacije objekata koji liče na tačke. Oni su dobijeni kao rezultati procedura detekcije opisanih u 3.2, 3.3 i 3.4. Predložena je procedura za određivanje suboptimalnih vrednosti pragova koja je zasnovana na takozvanom preklapanju elementas skupova O_H , O_S i O_C . Broj elemenata ovih skupova je hu , su , i cu , respektivno.

Osnovna pretpostavka je da najbolje preklapanje po poziciji elemenata skupova O_H , O_S i O_C , vodi ka vrednostima približno optimalnih vrednosti pragova prihvatanja

detekcija. Da bi se odredio kvalitet (dobrota preklapanja) računa se euklidsko rastojanje između elemenata skupova O_H , O_S i O_C . Kada je udaljenost manja od neke preddefinisane smatra se da postoji dobro poklapanje.

Praktičan prilaz odabran u ovom radu je podela glavne matrice na uniformno raspoređene podmatrice gde se broje detekcije. Odabrana je dimenzija podmatrice 12×12 piksela. Ukupan broj detekcija (a za svaku podmaticu je 1) je označen sa hm , sm , cm za svaku od metoda respektivno. Ako bilo koja detekcija postoji tada se vrednosti brojeva hm , sm , cm , inkrementuju za 1 kao u 3.4. Ako se u posmatranoj podmatici nalaze detekcije koje potiču iz dve metode tada se postupa po izrazu 3.5. Izraz 3.6 pokazuje brojanje rezultata detekcija koje se poklapaju za sve tri metode.

$$\begin{aligned} hu &= \begin{cases} 0, & hm = 0 \\ hu + 1, & hm > 0 \end{cases} \\ su &= \begin{cases} 0, & sm = 0 \\ su + 1, & sm > 0 \end{cases}, \\ cu &= \begin{cases} 0, & cm = 0 \\ cu + 1, & cm > 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned} hsu &= \begin{cases} 0, & (hm = 0) \vee (sm = 0) \\ hsu + 1, & (hm > 0) \wedge (sm > 0) \end{cases} \\ scu &= \begin{cases} 0, & (sm = 0) \vee (cm = 0) \\ scu + 1, & (sm > 0) \wedge (cm > 0) \end{cases}, \\ hcu &= \begin{cases} 0, & (hm = 0) \vee (cm = 0) \\ hcu + 1, & (hm > 0) \wedge (cm > 0) \end{cases} \end{aligned} \quad (3.5)$$

$$hscu = \begin{cases} 0, & (hm = 0) \vee (sm = 0) \vee (cm = 0) \\ hscu + 1, & (hm > 0) \wedge (sm > 0) \wedge (cm > 0) \end{cases}. \quad (3.6)$$

Broj uspešno poklopljenih detekcija koje su od Haris-Stephens prema Shi-Tomasi označen je sa hsu , broj scu je odabran za poklapanje Shi-Tomasi i Normalizovane KK, a Haris-Stephens Normalizovana KK je hcu kao u izrazu 3.5. Broj $hscu$ predstavlja preklapanje za sve tri metode kao u izrazu 3.6.

Kvalitet preklapanja za sve metode može se odrediti kao u izrazima 3.7-3.10, gde Q_{hs} , Q_{sc} , Q_{hc} i Q_{hsc} respektivno predstavljaju meru kvaliteta preklapanja za metode Haris-Stephens i Shi-Tomasi, Shi-Tomasi Normalizovana KK, Haris-Stephens i Normalizovana KK and Haris-Stephens i Shi-Tomasi i Normalizovana KK.

$$Q_{hs} = Q_{hs}(T_H, T_S) = \frac{hsu(T_H, T_S)}{hu(T_H) + su(T_S)}, \quad (3.7)$$

$$Q_{sc} = Q_{sc}(T_S, T_C) = \frac{scu(T_S, T_C)}{su(T_S) + cu(T_C)}, \quad (3.8)$$

$$Q_{hc} = Q_{hc}(T_H, T_C) = \frac{hcu(T_H, T_C)}{hu(T_H) + cu(T_C)}, \quad (3.9)$$

$$Q_{hsc} = Q_{hsc}(T_H, T_S, T_C) = \frac{hscu(T_H, T_S, T_C)}{hu(T_H) + su(T_S) + cu(T_C)}. \quad (3.10)$$

Intervali za pragove T_H , T_S and T_C se menjaju unutar vrednosti za koje je broj detekcija veći od nule a manji od maksimalnog broja filtriranih rezultata. Na primer za sliku dimenzija 900×900 gde je prostorni filter dimenzija 9×9 pragovi imaju smisla ako su brojevi detekcija između 0 do $100 \times 100 = 10000$. U slučaju da metode daju maximume preklapajućih detekcija predložena procedura ne daje upotrebljiv rezultat.

Ako se vrednosti pragova za procenu kvaliteta sa dve metode menjaju od minimalne do maksimalne razumne vrednosti može se formirati površina koja ima nekoliko lokal-

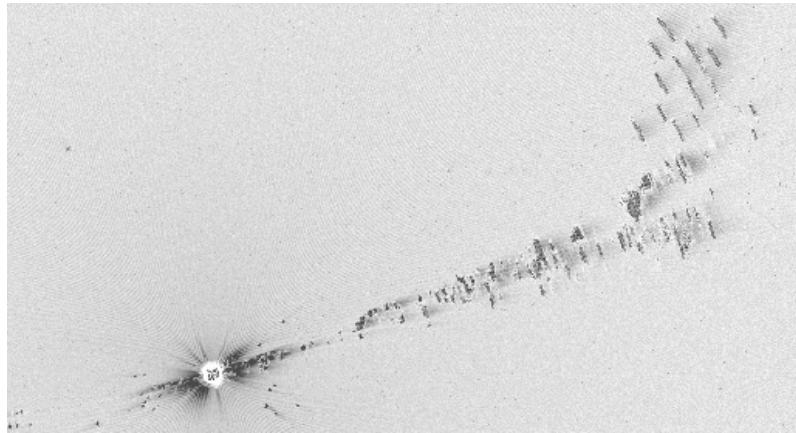
nih ekstrema i jedan globalni. Globalni ekstrem predstavlja rešenje za optimalni izbor pragova prihvatanja rezultata.

3.6 Automatizovano određivanje maksimuma funkcije kvaliteta

Metoda "Hill climbing" ili u slobodnom prevodu penjanje uz brdo je matematička optimizaciona tehnika za iterativno traženje lokalnih i globalnog ekstrema funkcije jedne ili više promenljivih. Ove procedure pripadaju grupi široko korišćenih metoda sistema veštačke inteligencije [42]. Za potrebe ovog rada upotrebljena je metoda brutalne sile da bi se pronašao globalni ekstrem za slučaj kada se razmatraju funkcije sa dve promenljive. Procedura "Hill climbing" je razvijena na osnovu preporuka iz [46] i [42], za traženje globalnog ekstrema u slučaju funkcije sa tri promenljive. Na ovaj način automatizovana je procedura za traženje subotpimalnih vrednosti pragova T_H , T_S i T_C . Glavna ideja u ovoj automatizovanoj proceduri je da se odaberu slučajne vrednosti sva tri praga unutar granica smislenosti, a onda se trazi maximum u njihovoj okolini. Ovaj postupak se ponavlja određen broj puta. Ukupan broj iteracija za lokalizaciju ekstrema je značajno redukovano u odnosu na metodu koja primenjuje brutalnu silu - odnosno računanje vrednosti funkcije tri promenljive sa sve moguće vrednosti sva tri praga. Postoji verovatnoća da ovaj algoritam "zaglavi" u nekom od lokalnih ekstrema. Metoda "Hill climbing" spada u posebnu vrstu istraživanja i u ovom radu se koristi onakva kakva jeste.

3.7 Eksperimenti

Ideja o predloženoj proceduri koja se koristi u ovom radu uobličena je rešavanjem zadataka detekcije objekata na moru na koji su predstavljeni na bitmapiranoj slici koju generiše mornarički radar. Na ovim bitmapama mali objekti su prikazani kao male fluktuirajuće tačke. Implementacija metode Shi-Tomasi dala je zadovoljavajuće rezultate ali parametar T_S je trebalo određivati uz pomoć iskusnih operatera povremeno. Kao alterantivna metoda primenjiva je istovremeno i metoda normalizovane kross korelacije. Za definisanje praga T_C na isti način iskusan operater u tumačenju slike



Slika 3.1: Deo bitmape dobijene sa pomorskog radara

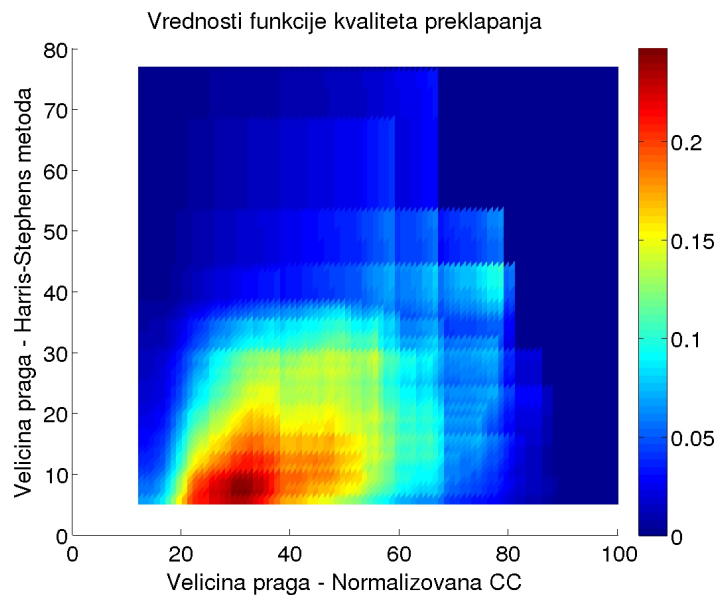
je morao povremeno da utiče. Identična situacija je primećena i kod implementacije Harris-Stephens metode. Najpre su pragovi postavljeni kao što je opisano u [3.3](#) i [3.4](#)

Na jednoj eksperimentalnoj platformi prve dve pomenute metode su implementirane da rade u paraleli. U početku je odluka o visini pragova bila ostavljena na operateru da odluči. Promenom pragova primećeno je da za određene vrednosti rezultati obe metode daju rezultate koji se dobro preklapaju. Za male vrednosti pragova primećeno je da se broj detekcija povećava ali da se povećava i broj detekcija koje se ne poklapaju. Drugim rečima raste broj detekcija ali raste i nepoklapanje novih detekcija.

Kao mera kvalitete preklapanja kriterijumi [3.7](#) - [3.10](#) su definisani. Sa ciljem da se testira novopredložena procedura razvijen je i simulacion model. U tom simulacionom modelu moguće je generisati nove objekte koji liče na tačkaste a koji potiču od malih objekata sa velikom fluktuacijom. U simulaciji je moguće primeniti različite poznate statističke moele i parametre. Na takav način predloženi model je moguće intenzivno testirati.

3.8 Stvarna slika sa pomorskog radara

Predložena procedura je testirana na radarskoj slici [3.1](#) sa lokacijama detekcija prikazanim na slici [1.1](#) gde se u području koje je markirano sa krugom nalaze dobro uočljivi objekti za upotrebu klasičnih metoda. U delu označenom u obliku pravougaonika u

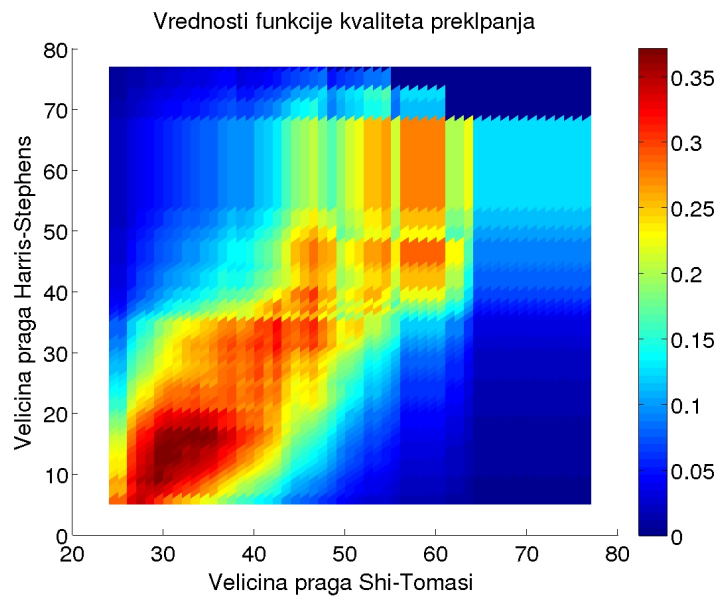


Slika 3.2: Vrednost funkcije kvaliteta poklapanja za metode Haris-Stivens sa Normalizovanom Kros Korelacijom

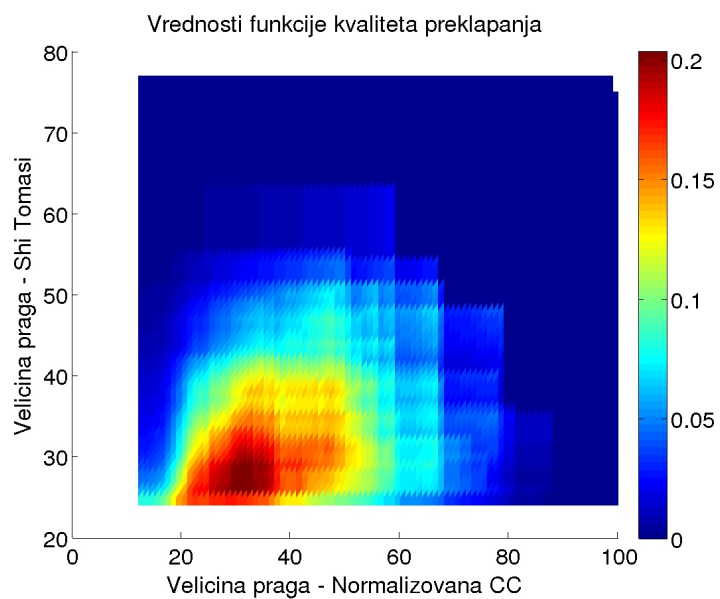
njegovom centru nalazi se približan izgled malog objekata sa velikom fluktuacijom. Sekvenca slika prikazana na 1.2 približno pokazuje 6 uzastopnih bitmapa unutar polja velikog pravougaonika. Na toj sekvenci može se videti fluktuacija intenziteta malog odraza.

Metoda primene brutalne sile (odnosno proračun funkcije kvaliteta za sve vrednosti pragova) da bi se našao globalni ekstremum funkcija 3.7,3.8,3.9 nad bitmapom kao na slici 3.1, daje rezultate kao na slikama - surf dijagramima 3.2, 3.3, 3.4. Ovi dijagrami jasno pokazuju postojanje globalnog ekstrema. Slika 3.5 pokazuje detektovane objekte sa sve tri metode sa malim vrednostima pragova. Rezultati detekcija različitih metoda markirani su različitim bojama. Glavna pojava koju treba identifikovati je momenat raspršavanja detekcija - odnosno nepoklapanja rezultata različitih metoda. Nalaženje sub optimalnih pragova opisanih u glavi 3 rezultuje sa slikom 3.6 na kojoj su prikazane detekcije kada su pragovi bliski optimalnim vrednostima - suboptimalni.

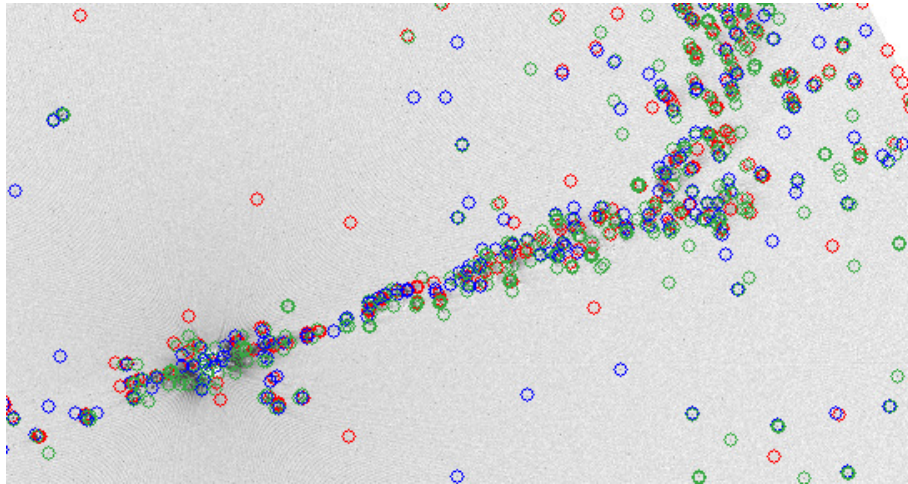
Da bi se pojednostavila predložena metoda izabrano je da se koriste celobrojne vrednosti pragova u procenitma. U pomenutom primeru smislene vrednosti (gde je vrednost detekcija veći od nula a manji od maksimuma - odnosno po jedne detekcije za svaku ćeliju prostornog filtera) su upotrebljene. Pragovi T_H , T_S i T_C u ovom primeru imaju



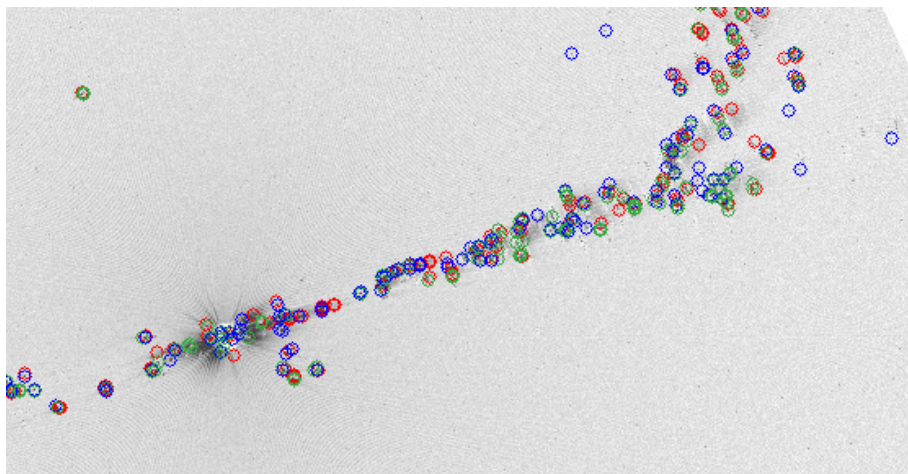
Slika 3.3: Vrednost funkcije kvaliteta poklapanja za metode Haris-Stivens sa metodom Shi-Tomasi



Slika 3.4: Vrednost funkcije kvaliteta poklapanja za metode Shi-Tomasi sa Normalizovanom Kros Korelacijom



Slika 3.5: Lokacije detektovanih objekata sa sve tri metode ako pragovi prihvatanja imaju male vrednosti



Slika 3.6: Lokacije detektovanih objekata sa sve tri metode ako pragovi prihvatanja imaju približno optimalne vrednosti

po 72, 52 i 88 diskretnih vrednosti. Da bi se locirao globalni maksimum potrebno je kombinovati sve detekcije 329472 puta. Upotrebom procedure "Hill Climbing" učinjen je pokušaj da se smanji potrebno vreme računanja. Potrebno vreme se drastično redukuje kao što je pomenuto u poglavlju 3.6. Princip pomenute procedure je da se između minimalne i maksimalne vrednosti pragova T_H , T_S i T_C biraju slučajne vrednosti pomoću generatora slučajnih brojeva sa uniformnom raspodelom. Vrednost Q_{hsc} se izračunava i ako je veća od prethodno pronadjenog maksimuma traže se veće vrednosti Q_{hsc} u okolini. Cela procedura se ponavlja više puta - više hiljada ili desetina hiljada puta. Na ovaj način se smanjuje verovatnoća da algoritam "zaglavi" u nekom od lokalnih ekstrema. U eksperimentima rađenim za potrebe ovog rada tipičan broj pokušaja je bio oko 15000 puta za lokaliziranje globalnog ekstrema. Slika 3.7 pokazuje situaciju sa približno optimalnim rezultatima 3.6. Mali kružići različitih boja simboliziraju različite metode koje su testirane.

3.9 Simulacija

Simulacija radarske slike je kompleksan problem. Metode procesiranja slike se obično testiraju na preddefinisanom skupu slika. Sa zadatkom da se testira predložena procedura formirana je simulacija. Za bitmapu 3.1 izračunata je srednja vrednost i standardna devijacija. Srednja vrednost je 45 standardna devijacija je 6. Novih 50 objekata je postavljeno preko originalne bitmape. Pretpostavljeno je da njihov intenzitet ima veliku fluktuaciju. Simulirani objekti su generisani pomoću generatora pseudo slučajnih brojeva sa normalnom raspodelom uz pretpostavku da su stvarni objekti mali sa malom radarskom refleksnom površinom i da njihov odraz liči na pridodati beli gausov šum (Additive White Gaussian Noise - AWGN) opisan sa nekom srednjom vrednošću i varijansom.

Pomoću generatora pseudo slučajnih brojeva preko slike 3.1 dodate su za svaki simulirani objekat grupe piksela elipsastog oblika sa većom osom tangencijalno usmerenom prema poziciji senzora. Obadabrana je veličina veće ose od 7 piksela a manje od 5 piksela. Vrednosti intenziteta ove grupe piksela određene su variranjem oko odabrane srednje vrednosti sa standardnom devijacijom 50. Ako neka od vrednosti bude manja od 0 tada je ona limitirana na vrednost 0. Ako je veća od 255 tada je limitirana na 255. Pozicije simuliranih objekata su pridružene skupu O_S . Deo simulirane bitmape dat

je na slici 3.7. Na ovoj slici veliki crni krugovi pokazuju na lokacije simuliranih objekata a manji obojeni kružići pokazuju na detekcije različitih metoda.

Amlitudne varijacije simuliranih objekata vrlo su specifične pa je takve lokacije teško uočiti čak i okom operatera.

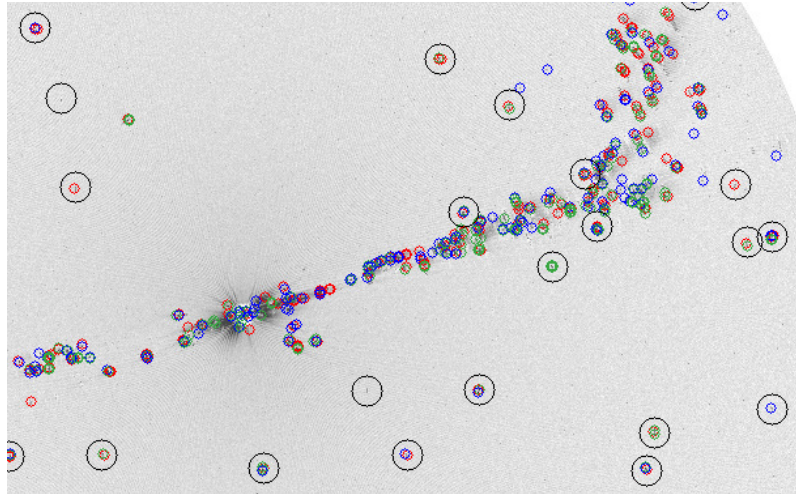
Dijagram 3.8 sumarno prikazuje rezultate deset uzastopnih testova sa generisanjem 50 objekata u kojima je menjana srednja vrednost od 40 do 120 uz standardnu devijaciju 50 (ovo se smatra velikom fluktuacijom). Objekte sa intenzitetom više od 120 mogu se detektovati korišćenjem fiksnog praga. Srednja linija na dijagramu pokazuje tendenciju da je bolji procenat pogodaka kako raste srednja vrednost. Može se uočiti da čak i ako je srednja vrednost blizu srednjoj vrednosti ukupne slike moguće je detektovati simulirane objekte.

Za srednju vrednost simulacije od 45 postoji oko 45% pogodaka simuliranih objekata. U regionu oko 70 postoji pad pogodaka. Moguće je da objekti na obali prouzrokuju ovaj efekat ili nepreciznost generatora slučajnih brojeva ili je metoda "Hill Climbing" "zaglavila" u nekom od regiona lokalnih ekstrema. Rezultati detekcija realne i simulirane slike potvrđuju efikasnost predložene metode automatizovanog određivanja praga prihvatanja.

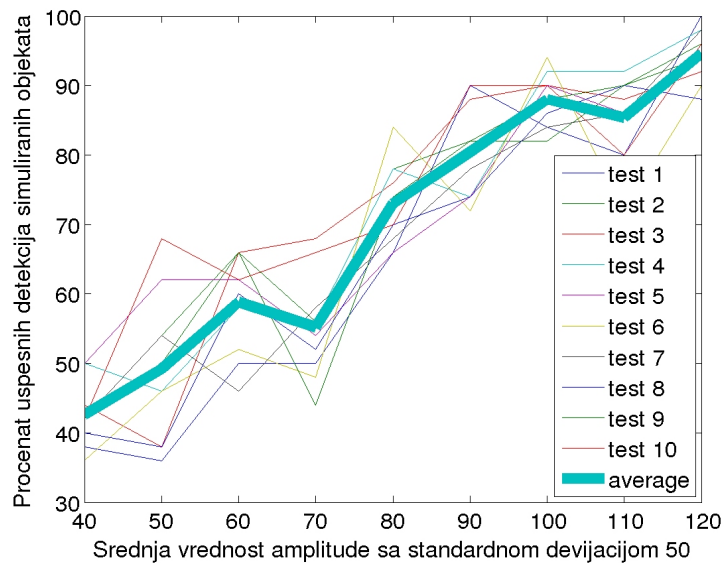
Simulacija pokazuje da se primenom predložene metode mogu detektovati objekti koje čak i ljudsko oko / operater teško uočavaju.

3.10 Diskusija dobijenih rezultata

Rezultujući surf dijagrami pokazuju postojanje globalnog ekstrema. Dijagram 3.2 pokazuje da ekstrem postoji na približnim lokacijama pragova $T_C \approx 32$ i $T_H \approx 8$. Dijagram 3.3 ukazuje na lokaciju ekstrema za pragove $T_S \approx 28 - 35$ and $T_H \approx 8 - 15$. Postojanje rasplnutih lokacija može biti objašnjeno zato što obe metode pripadaju autokorelacionim metodama Haris-Stivens sa izrazom 2.15 a Shi Tomasi sa izrazom 2.19 i 2.20. Dijagram 3.4 pokazuje postojanje ekstrema funkcije kvaliteta $T_S \approx 27 - 30$ and $T_C \approx 30 - 35$. Iz pomenutih dijagrama može se zaključiti da postoji približan opseg vrednosti pragova za koje svaka metoda daje maksimum definisane funkcije kvaliteta.



Slika 3.7: Lokacije detektovanih objekata sa simuliranim objektima sa sve tri metode ako pragovi prihvatanja imaju približno optimalne vrednosti



Slika 3.8: Dijagram procenta uspesnih detekcija u zavisnosti od promene srednje vrednosti intenziteta simuliranih objekata

Funkcija 3.10 je uvedena da se izračuna kvaliteta preklapanja za sve tri funkcije detekcije. Slični rezultati su dobijeni. Slika 3.6 pokazuje da je mali objekat u gornjem levom delu slike koji je izabran za primer bio detektovan sa sve tri metode u slučaju optimalno izabranih pragova prohvatanja rezultata.

Glava 4

Modeliranje interakcije između GIS baze podataka i pomorskog radara

4.1 Problemi

Slika 3.6 pokazuje objekte detektovane sa sve tri predložene metode nakon procedure procene optimalnog praga. Apriori je poznato da je na slici 3.1, niz objekata (mrlja) koji se prostire u pravcu severoistoka od lokacije senzora (prostor oko belog kruga) potiče od objekata na obalnom rubu. Veliki broj detektovanih objekata koji liče na tačke je u potpunosti neprihvatljiv za sistem koji koristi rezultate detekcije. Da bi se smanjio broj neželjenih detekcija koje potiču od objekata na obalnom rubu pokušana je izrada inteligentnog prostornog filtra zasnovanog na interakciji sa Geografskim Informacionim Sistemom - GIS.

Kod komercijalnih pomorskih radara koji rade u impulsnom režimu (noseća frekvencija je amplitudno modulirana), rezultujuća slika je posledica primljenog dela reflektovane elektromagnetne energije kao funkcije geometrije osmatranog objekta (noseće frekvencije signala odnosno talasne dužine) od kojeg se je deo emitovane energije reflektovao, dijagrama zračenja antene, impulsne frekvencije, brzine rotacije antene. Rezultujuća slika je vrlo izobličena u odnosu na realno okruženje u prirodi.

Zadnjih godina počelo se sa komercijalnom upotrebom u implementaciji FMCW (engl: Frequency-Modulated Continuous Wave) radara kod kojih je manje izobličeno u odnosu na izgled stvarnog okruženja u prirodi.

Postoje pokušaji da se u komercijalnu upotrebu uvedu i radari sa doplerovim procesiranjem. Glavni faktor je da se snizi cena. Nažalost kod ovakvog vida procesiranja spori i mali objekti bivaju obrisani, zato što se spektar signala sporih objekata poklapa sa spektrom mora [52] [53] i spektrom signala od obale zbog rotacije antene.

Skoro svi pokazivači modernih pomorskih radara imaju opciju da prikažu integrisani Geografski Informacioni Sistem (GIS) [44][3]. Informacije GIS-a su obično smeštene na nekom od memorijskih medijuma u formatu bitape (u kojoj je smeštena kopija papirne karte), vektora, poligona, tačkama, pratećih informacija u obliku teksta, malih bitmapa. U radarskim implementacijama sa GIS opcijom obično je moguće da se selektivno prikaže ponuđeni GIS sadržaj preko ili ispod radarske slike kao što je detaljnije objašnjeno u [7] [16] [13]. Obično nema nikakve interakcije između sistema GIS i slike koja se dobija pomoću radarskog senzora. Slika na displeju se dobija običnim preklapanjem preprocesirane radarske slike i slike zasnovane na željenom GIS sadržaju. GIS slika se formira na osnovu selektovanih objekata iz baze podataka uzimajući u obzir trenutnu poziciju na kojoj se nalazi radarski senzor i ugao referentnog smera antene u odnosu na sever. U ovom poglavlju pokušano je da napravi određeni nivo interakcije između sirovog radarskog signala i baze podataka GIS-a, sa posebnom željom da to radi u realnom vremenu. Pored prirode radarskog senzora, geometrije i sastava osmotrenog objekta dodatni problem je i relativno pozicioniranje radarskog senzora (tačnost pozicije, problem ugaonog zakretanja platforme - ljuljanje i posrtanje ako je u pitanju radar instaliran na pokretnoj platformi – brod, avion).

Bez obzira na navedene probleme u ovom poglavlju prikazan je pokušaj da se primene dve nove metode za sprezanje radarskog signala-slike i GIS. Ove metode su zasebno opisane u radovima [9][8]. Koristi se eksperimentalni stacionarni radarski senzor, kojim se u jednom slučaju posmatra ulaz u gradsku luku jednog mediteranskog grada 4.1a, a u drugom slučaju blizu samog senzora kao na slici 4.2. Lokacija radarskog senzora je u centru belog kruga koji se nalazi u centru slike. Bez obzira na DSP procesiranje postoji dosta nelinearnosti blizu senzora (beli krug). Radar je impulsnog tipa sa amplitudnom modulacijom. Rastojanje senzora i posmatranog regiona na slici 4.1a je oko 13 Nautičkih Milja (24km). Od sirovog radarskog signala (Logaritamski Video, ugao zakreta antene i sinhro signala) u DSP baziranom sistemu formira se bitmapa koja odgovara radarskoj slici na klasičnom pokazivaču. Procesor radarskog signala formira niz slika sličnih navedenom primeru, prilikom svakog novog obrtaja antene. Refleksije dobijene

pomoću radarskog senzora smeštaju se u dvodimenzionalnu matricu (bitmapu) sa osmobitnim vrednostima gde svaka (x,y) lokacija odgovara nijansi sive boje. Intenzitet refleksije elektromagnetnog signala odgovara nijansama sive boje od bele ka crnoj.

4.2 Eliminacija plotova maskiranjem pomoću GIS-a

Jedna naizgled očigledna varijanta da se postigne interakcija između Geografskog Informacionog Sistema GIS i bitmape napravljene pomoću radarskog senzora je da se uvede maska na nivou piksela preko radarske slike. Ova maska predstavlja matricu sa binarnim elementima 0 i 1. Iznad delova slike GIS-a iznad kopna pikselima se pridružuje vrednost 0 a iznad mora vrednost 1.

Baza podataka GIS objekta koja se koristi u ovom odeljku je dobijena ručnim trasiranjem vidljive obalne linije na internet aplikaciji Google Earth. Na ovaj način dobijena obalna linija je zamišljena linija dodira između kopna i vode (more, reke, jezera). Opšte prihvaćena praksa u izradi pomorskih karata je da obalna linija reprezentuje stanje najnižeg vodostaja (na moru oseke).

Za potrebe ovog poglavlja odabrano je da se GIS maska iznad kopna simbolizuje belom bojom. Slika 4.1a je polazna bitmapa. Ako se iznad nje nacrtaju obalni rubovi u ovom slučaju deo oko luke jednog mediteranskog grada dobija se slika 4.1b. Metodom Normalizovane Kros Korelacije 2.8 dobijene su detekcije i markirane crnim kružićima kao na slici 4.1c. Kada se primeni binarni filter u kome je kopno označeno belom bojom dobija se slika 4.1d. Preklapanje detektovanih objekata i obalnog ruba vidi se na slici 4.1e. Nakon primene binarnog filtra dobija se slika 4.1f.

Karakteristika ovog načina filtriranja je da se rezultujuće detekcije projektuju u memorijsku mapu. Broj detekcija iznad kopna - obale je relativno velik. Problem ovog prilaza je da je granica između kopna i vodene površine oštra pa postoji velika neodređenost za detektovanje ili nedetektovanje objekata na vodi blizu ove granične linije. U svakom slučaju na ovaj način broj objekata detektovanih iznad kopna je značajno smanjen. Redukcija - smanjenje broja detektovanih objekata smanjuje opterećenje blokova procesorskog sistema radara koji slede nakon plot detektora.

Blokovi koji slede zaduženi su za:

- Korelaciju i pridruživanje plotova u tragove na osnovu promene pozicije u vremenu
- Filtriranje pozicije i ostalih parametara koji se estimiraju
- Estimaciju elemenata kretanja
- Prikaz podataka na ekranu
- Pokušaj identifikacije
- Pokušaj uparivanja sa eventualnim podacima sa drugih sistema i/ili sistema AIS kao u poglavlju 1.6

Jednostavno rečeno na ovaj način se smanjuje mogućnost da se ostatak procesorskog sistema dovede u zasićenje koje dovodi do blokade u radu ili nemogućnosti da se reši problem u realnom vremenu.

4.3 Maskiranje originalnog signala

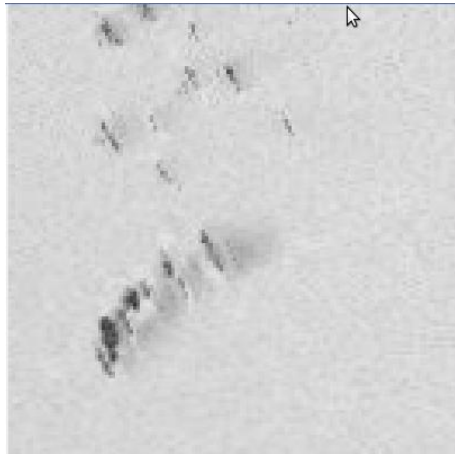
Druga varijanta GIS zasnovanog filtra, koja je prikazana u ovom poglavlju je zasnovana na metodama statističke analize radarske slike u obliku bitmape. Za celu sliku se računa srednja vrednost kao funkcija udaljenosti od senzora po relaciji 4.1.

$$\hat{\mu}(r, k) = \hat{\mu}(r, k-1) + \frac{1}{k} [A(r) - \hat{\mu}(r, k-1)] \quad (4.1)$$

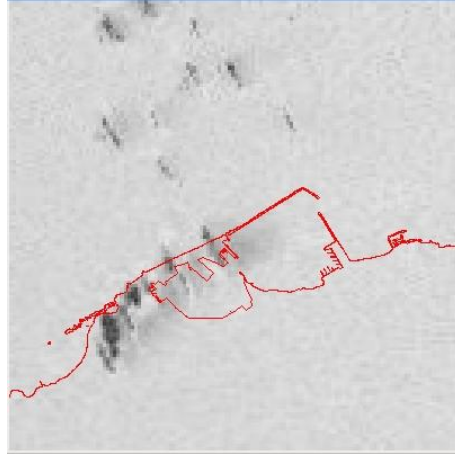
Gde je r hipotenuza ili rastojanje od pozicije senzora kao u relaciji 4.2 a k je indeks pozicije piksela.

$$r = \sqrt{(x - x_{sensor})^2 + (y - y_{sensor})^2} \quad (4.2)$$

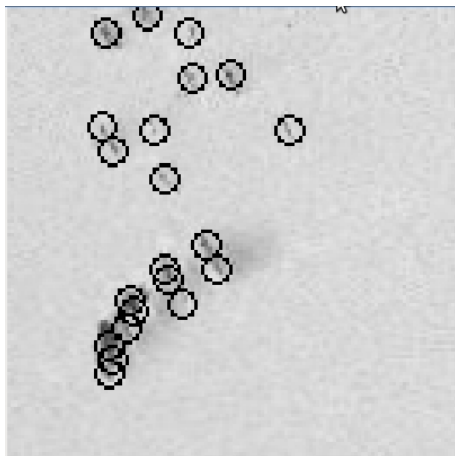
Pomoću izraza 4.3 izračunava se varijansa za celu sliku.



(a) Izgled dela radarske slike na ulazu u jednu mediteransku luku



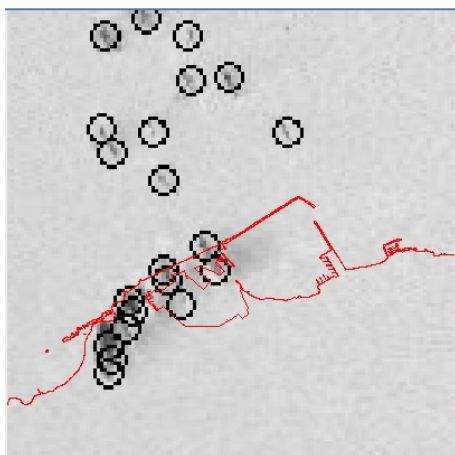
(b) Crvenom linijom označen je obalni rub preko slike pod (a)



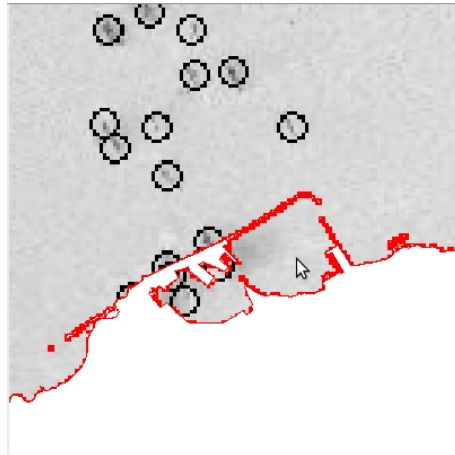
(c) Crnim kružićima markirani su detektovani objekti iznad slike (a)



(d) Na slici (b) belom bojom oznachen je deo koji pripada kopnu

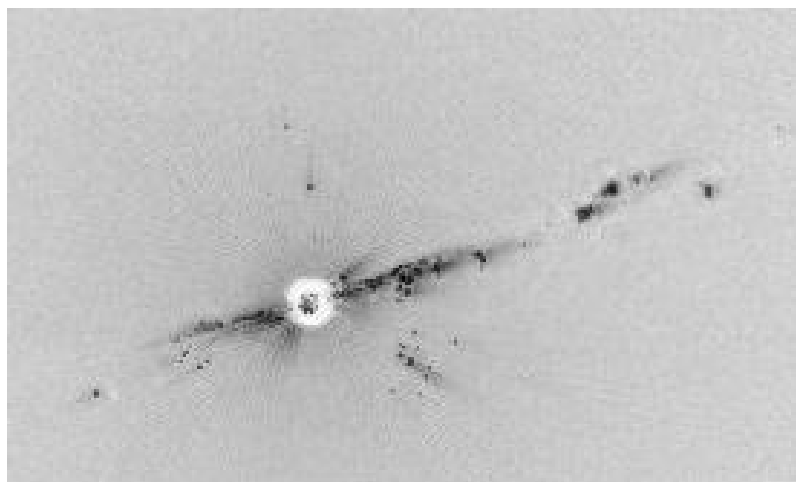


(e) Prikaz slika (b) i (c) kada se preklape

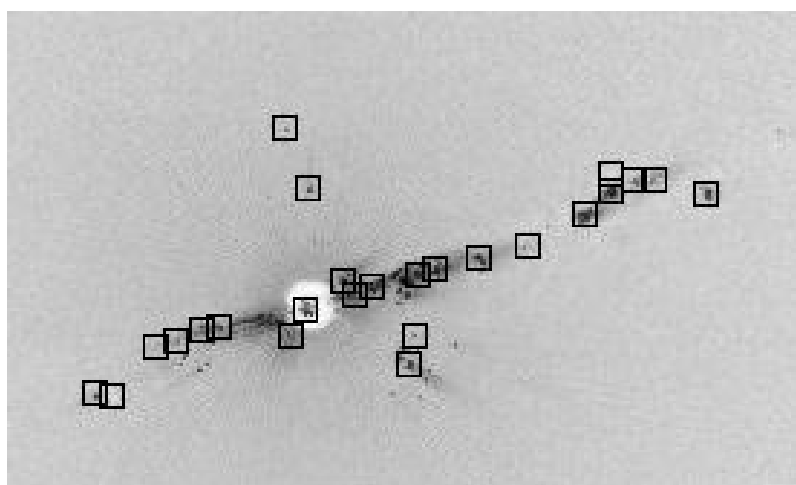


(f) Prikaz prostornog filtriranja metodom maskiranja

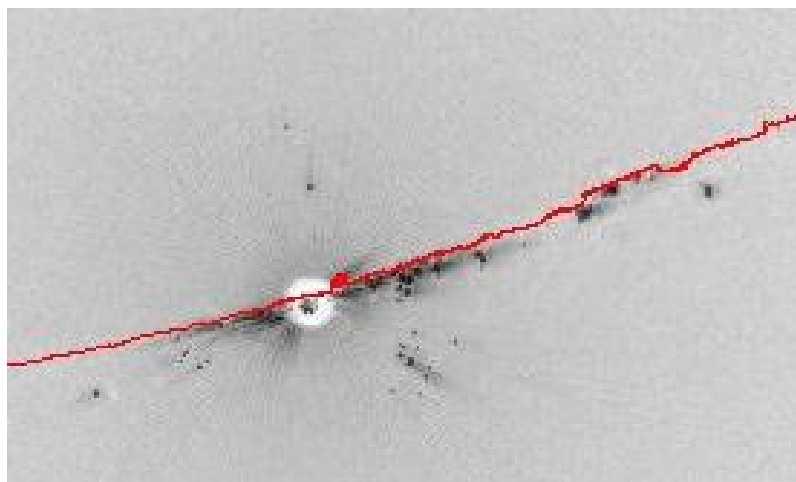
Slika 4.1: Slike prikazuju luku na mediteranu



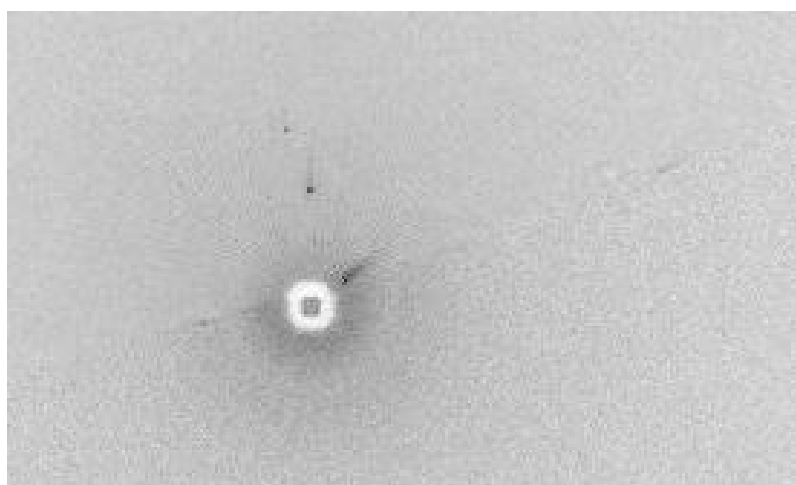
Slika 4.2: Deo bitmape dobijene sa pomorskog radara blizu senzora



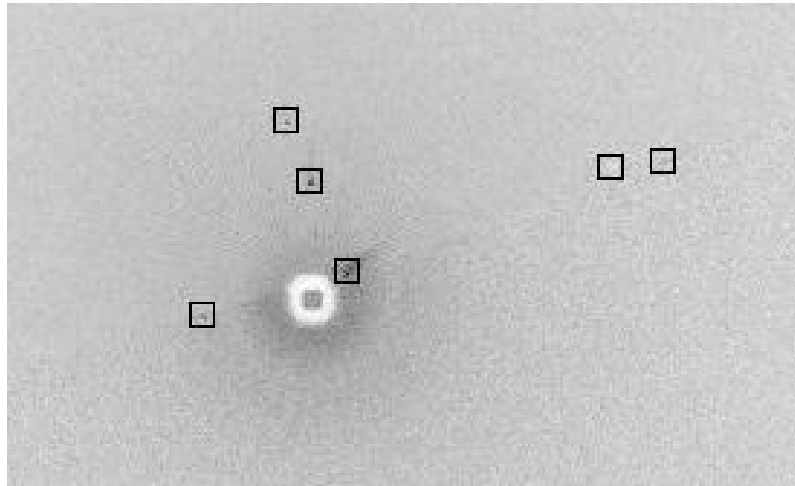
Slika 4.3: Lokacije malih objekata detektovane metodom Shi-Tomasi



Slika 4.4: Preko dela bitmape sa radarskog senzora nacrtan je obalni rub sa baze podataka sistem GIS



Slika 4.5: Deo bitmape sa radarskog senzora koji pripada kopnu maskiran je veštački generisanim šumom



Slika 4.6: Lokacije malih objekata detektovane metodom Shi-Tomasi nakon šumnog maskiranja kopnenog dela

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (A(i) - \mu_{total})^2} \quad (4.3)$$

gde je N ukupan broj piksela, $A(i)$ je vrednost piksela sa indeksom i , a μ_{total} srednja vrednost preko bitmape.

Vrednost svih piksela koji su ispod crvene obalne linije kao na slici 4.4 dodeljuje se nova vrednost pomoću generatora pseudoslučajnih brojeva sa normalnom raspodelom kao na listingu 4.1.

Novonastala slika izgleda kao na 4.5.

Ako polazna slika ima izgled kao na 4.2, nakon primene metoda detektovanja malih objekata metodom Shi-Tomasi dobijene su detektovane lokacije označene kvadratićima kao na slici 4.3. Ista metoda primenjena na slici 4.5 rezultuje sa detekcijama kao na 4.6.

Listing 4.1: primer programa kojim se generiše pseudo slučajna promenljiva gde je m srednja vrednost a s varijansa

```
double randn(double m, double s)
{
    int i;
```

```

double ret;
double sum=0.;
for (i=0;i<12;i++){
sum+=rand();
}
sum/=RAND_MAX;
sum-=6.;
ret=s*sum+m;
return ret;
}

```

4.4 Diskusija poglavlja

Dve varijante interakcije između radarskog senzora i Geografskog Informacionog Sistema su prikazane. Obe metode su realizovane i testirane na eksperimentalnoj platformi. Rezultujuće slike 4.1e i 4.6 prikazuju postignute rezultate. Prva metoda uvodi suviše oštru granicu između obale i mora (vodene površine). U praksi ovo nije uvek slučaj. Varijanta filtriranja metodom maskiranja šumom moguće je da se izbegne problem detekcije objekata koji su blizu graničnim područjima. Obe metode pokazuju da je broj objekata koji potiču od smetnji sa kopna značajno smanjen.

Za stacionarne senzore (fiksna pozicija) obe metode mogu imati pripremnu fazu na početku rada radara (prilikom instalacije ili prilikom svakog uključivanja). Ako je senzor na pokretnoj platformi tada je potrebno rezervisati specijalni proces (task) u pozadini glavnog procesa ili je potrebno angažovati poseban paralelni procesor. Posebno naglašen problem a koji je prikazan u prethodnoj glavi 3 je određivanje preporučenog praga prihvatanja rezultata, koji samo u sprezi sa prostornim filtriranjem može dati upotrebljive rezultate. Za budući rad u ovoj oblasti filtriranja podataka trebalo bi razmotriti primenu fazi modela.

Glava 5

Integracija u sistem

5.1 Komandno informacijski sistem

U ovom poglavlju iznete su smernice o projektovanju komandno-informacionog sistema. Pristup je zasnovan na savremenoj tehnologiji. Predložena je upotreba Objektno Orjentisanih Tehnologija po metodi UML. Pomoću UML Use Case dijagrama pokazane su funkcije sistema. Dijagram razmeštaja pokazuje komponente sistema i osnovni tok informacija. Sistem se projektuje imajući u vidu radarsko osmatračke sisteme različitih proizvođača starije generacije.

Kao hardver koristi se tehnologija personalnih računara pravljenih po komercijalnoj tehnologiji (Comercial Of The Shelf - COTS) sa komponentama koje su pravljene da rade sa većim stepenom pouzdanosti unutar većih radnih temperaturnih, vibracijskih i drugih naprezanja.

Komandno-informacioni sistem ratnog broda predstavlja jako složenu strukturu. Ako se krene od takvog sistema može se izvesti skoro svaki potreban sistem na bilo kom nivou u zadacima nadzora i kontrole saobraćaja na moru.

Stari interni informacijski sistemi ratnih brodova bili su zasnovani na nekoliko tehnološki različitih sistema unutrašnje brodske veze. Takva tehnologija podrazumevala je paralelno korišćenje sistema za prenos glasovnih informacija, komandnih informacija tipa binarnog signala (tastera skretanja pažnje operateru paljenjem signalne sijalice i tastera potvrde primljene pažnje) i sistema prenosa informacija u standardu ugaonih sinhro transformatora. Pomenuti sistemi bili su tako projektovani zato što je u to vreme

bila dostupna takva tehnologija. Klasični sistemi podrazumevaju dobro obučene operatere, kao i njihovu dobro uvežbanu sinhronizaciju. Mnoge države i dalje poseduju slične sisteme i nemaju finansijske resurse da ih unaprede. Izgled savremene realno moguće borbene situacije vrlo lako može da dovede ovakav sistem u zasićenje. Drugim rečima pred savremenom posadom javljaju se velike teškoće u izazovima koje nose savremene borbene pretnje.

Svaki pomorski sistem mogao se svesti na senzore, prezentacioni deo koji operaterima i komandi omogućava nadgledanje situacije sa ciljem da se pojednostavi donošenje odluke, kao i na sistem aktuatora pomoću kojega se donesene odluke sprovede. U radovima [11], [11], [26], [25] pomenuti su principi na osnovu kojih je projektovan, realizovan i primenjen u praksi domaći pomorski informacioni sistem Horizont.

Realizovan je niz implementacija počev od komandnog nivoa za ratnu mornaricu, za brodove, podmorce, policiju, nadzor vazdušnog saobraćaja [34],[36], [35].

Načelno, senzori mogu biti pojedinačni ili umreženi, homogeni ili heterogeni. Primeri senzora koji generišu sliku u formi bitmape odnosno niza bitmapa u vremenu, su: radari za posmatranje objekata na površini mora i u vazduhu, sonari za posmatranje dna ili objekata odnosno živih formi u moru, video kamere u vidljivom ili termovizijskom delu spektra itd.

Ukoliko se vrši spajanje - fuzija rezultata sa većeg broja identičnih senzora onda imamo homogene senzorske sisteme. Ako se spajaju rezultati sa raznorodnih senzora tada se radi o heterogenim senzorskim sistemima. Brojni pokušaji spajanja istorodnih i raznorodnih podataka mogu se videti u radovima [3],[6],[13],[15],[10],[16],[14],[17].

Postoje brojne varijante prikaza dobijenih rezultata rada senzora. Prikaz podataka sa lokalnih senzora na lokalnim pokazivačima imamo u internom pomorskom informacionom sistemu. Kada se koriste podaci sa više geografski udaljenih lokacija na više pokazivačkih mesta, onda imamo distribuirani komandno informacioni sistem. Pored funkcije nadgledanja u realnom vremenu podaci sa senzora mogu se snimati za kasniju analizu. U slučaju klasičnih neinteligentnih sistema, operateri ili grupe operatera posmatraju rezultate u realnom vremenu i predlažu određene akcije. Akcije se sprovede pomoću oružnih sistema: artiljerije, raketa, podvodnog oružja ili odlukom o promeni elemenata sopstvenog kretanja (kormilo, hidroplani, pogonski mehanizam) ili se traži angažovanje avijacije, helikoptera, glisera, patrolnih brodova.

Akcije koje se mogu sprovoditi su: pregledi i kontrole, akcije praćenja odnosno zaštite, promene putanje kretanja, dejstvo oružanim sistemima radi odvratanja i zastrašivanja, dejstvo oružanim sistemima radi fizičkog uništenja – neutralizacije.

5.2 Predloženi zadaci za informacioni sistem

Prikazani su potencijalni zadaci za savremeni inteligentni komandno informacioni sistem. Na osnovu originalnih iskustava navedena je lista od pet zadataka koje mogu rešavati delovi inteligentnog sistema i šta se može ponuditi kao rezultat.

- Predlaganje povoljne rute za navigaciju.

Ako brod poseduje Fuzzy Geografski Informacioni Sistem, inteligentni savetnik treba da predloži najpovoljniju rutu plovidbe uzimajući u obzir trenutnu hidro i meteo situaciju i prognozu. Na primer prolazak broda odnosno izbegavanje olujne oblasti uz najmanji rizik ili odabir najpovoljnije rute kroz oblast zahtevnog navigacionog područja ili izbegavanje santi leda. Ovi zadaci se rešavaju na osnovu Fuzzy GIS i FR baze podataka vremenske prognoze, a uzimajući u obzir Fuzzy pravila kretanja broda.

- Prepoznavanje tipa osmotrenog objekta

Na osnovu obaveštajnih podataka potrebno je formirati FR bazu podataka poznatih objekta. Ovakva baza treba da poseduje informacije o objektima na moru, u vazduhu i pod vodom. To su letelice, plovni objekti, podmornice, torpeda... Baza treba da poseduje informacije koje se mogu dobiti sa svih tipova senzora. Kao primer navedimo radarski odraz, termalni spektar, sonarni spektar, vidljiva silueta. Na osnovu podataka sa vlastitih senzora, radar detektora, radara, sonara, video kamere potrebno je prepoznati tipove detektovanih objekata.

- Predlog odabranog dejstva po identifikovanom objektu

Ako je prepoznati objekat neprijateljski i predstavlja pretnju potrebno je predložiti da li i kojim oružjem dejstvovati po njemu sa ciljem da se uradi odvratanje ili uništenje - neutralizacija uz kriterijum da se zadatak ispuni uz što manje materijalno finansijske troškove.

- Procena mogućnosti potencijalne terorističke opasnosti

Potreban je poseban inteligentni savetnik koji permanentno analizira informacije sa malih i jeftinih senzora kao što su video kamere i navigacioni radari sa zadatkom prepoznavanja piratske akcije ili terorističke namere.

- Odbrana sopstvenog broda

Posebno prioritetan zadatak je predlog akcije ukoliko se identifikuje napad nekim od sredstava na vlastiti brod. Naprimera ako je brod pod dejstvom dalekometne artiljerije, koju akciju predložiti (plovidbu u cik cak režimu, promenu brzine), da li otvoriti vatru ukoliko je uočena protivbrodska raketa koja leti u pravcu vlastitog broda, itd. Odrešivanje prioriteta dejstava po projektilima ako se vlastiti sistem dovodi u zasićenje. Posebno značajno je pitanje neophodnosti samostalne akcije u slučaju da komandant ne primi predlog i ne odabere bilo koju predloženu akciju – da li inteligentni sistem treba autonomno da odreaguje nekim od aktuatora?

Količina informacija u aktuelnoj pomorskoj situaciji je velika. Klasični sistemi nemaju inteligenciju na visokom nivou. Samim tim obrada podataka pomoću klasičnih metoda postaje neefikasna – neizvodljiva. Uvođenjem inteligencije koja se primenjuje na raznim nivoima: senzori, baza podataka, GIS, u problemima fuzije podataka, u inteligentnim savetnicima ostvaruju se poboljšane i nove sposobnosti, od najvećeg značaja za svrhu i postojanje ovih sistema.

Bitno je pomenuti da se podaci sa senzora procesiraju u rezultujuće bitmape kao što je pomenuto ranije. Iz tako formiranih bitmapa izvlače se karakteristični detalji nekom od metoda procesiranja slike između ostalog i metodom koja je predložena u ovom radu. Server relacije baze podataka sa modulima za GIS i FUZZY mapira podatke sa svih senzora u jedinstvenu bazu podataka. U većini ratnih mornarica postojeći pomorski sistemi tehnološki su zastareli i neefikasni, postoje veliki problemi sa održavanjem, opravkom i remontom (skupo je i komplikovano). Rad na takvim sistemima je komplikovan i zahteva veliki broj operatera. Sistemi su toliko različiti da često nije moguće imati operatera koji može koristiti više tipova različitih sistema, već su svi operateri usko specijalizovani za određen tip sistema. Potencijalni protivnici i partneri neprestano usavršavaju postojeće sisteme.

Na osnovu podataka dobijenih sa AIS-a, podataka o detektovanim objektima sa radara, sonara i video kamera, ukoliko posmatrani objekat uđe u zonu od posebnog

značaja - opasnosti moguće je predložiti neku akciju. Još sredinom 70-tih godina razvijani su sistemi koji su ukazivali na opasnost od sudara na moru. Ukoliko se osmotreni objekat približava pod istim uglom nastaje opasnost od sudara i predlaže se izvodeње manevara izbegavanja. Upotreba FUZZY logike daje dodatni kvalitet u realizaciji i projektovanju takvih sistema. Ukoliko postoji nekoliko crisp definisanih opasnih zona do alarmiranja dolazi tek upadom u zonu. Ako su zone opasnosti definisane FUZZY metodama tada i samo približavaje zoni omogućuje uvođenje prioriteta potencijalno opasnih objekata tako da se smanjuje mogućnost da se celokupni inteligentni pomorski sistem dovede u zasićenje. Primer ulaska sistema u zasićenje: ako brod koji je opremljen jednim topom treba da dejstvuje na nekoliko meta istovremeno. Pri projektovanju pomorskih inteligentnih sistema potrebno je napraviti i posebne programske celine servise koji filtriraju – nadgledaju sve primljene - osmotrene podatke i u realnom vremenu upoređuju sa FUZZY relacionim bazama podataka u kojima su definisane linije i oblasti od nekog posebnog interesa [49],[39], [48]. Inteligentni nadzorni sistemi predlažu/sprovode akcije.

Savremena tehnološka dostignuća nude brze računarske sisteme i njihovu integraciju u složenije funkcionalne celine. Podrazumeva se PC/DSP/FPGA tehnologija. UML metoda projektovanja čini projektovanje i programiranje softvera vrlo efikasnim. Pomenutim tehnologijama moguće je postaviti, implementirati i praktično proveriti razne matematičke modele.

Ratni brodovi predstavljaju platformu na kojoj se nalazi posada, koja ima na raspolaganju senzore, baze podataka i aktuatora. Grupu senzora čine brojne varijante aktivnih radarskih senzora, pasivni radarski senzori, aktivni i pasivni sonari u fiksnoj ili tegljenoj varijanti, video kamere u vidljivom ili infracrvenom delu spektra, laserski senzori, razni senzori vlastitih parametara kretanja, meteorološki senzori i mnogi drugi. Primeri baza podataka koje se koriste na ratnim rodovima su baza podataka Geografskog Informacionog Sistema, baza podataka predviđene hidrometeorološke situacije, baza podataka rasporeda prostorija, baza podataka drugih civilnih i ratnih brodova, letelica (prijateljskih i neprijateljskih). U ovom radu sistem pogona broda i kormilarski uređaj svrstani su u grupu aktuatora. U tom smislu grupi aktuatora pripadaju podsistemi za upravljanje vlastitom pozicijom i za dejstvo po okruženju pomoću oružnih sistema. Oružni sistemi sastoje se od raznih tipova raketnog naoružanja, torpednog, dubinskih bombi, artilje-

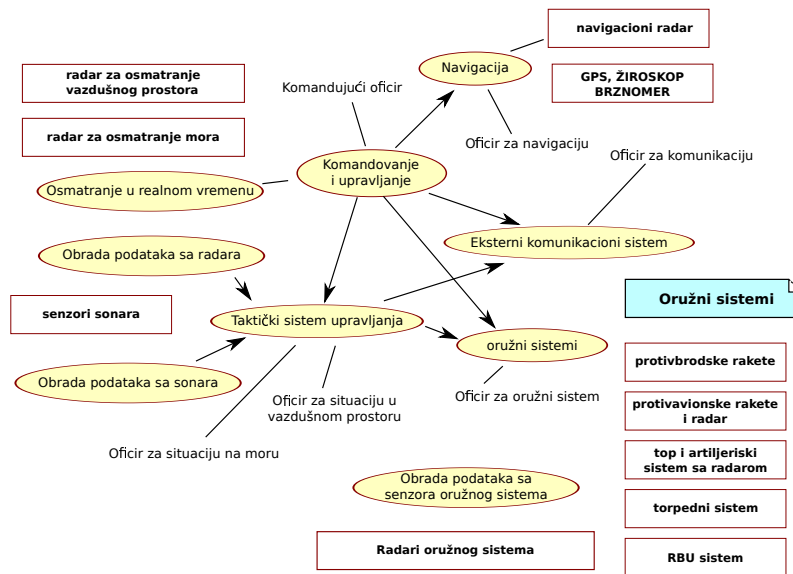
rije manjeg i većeg kalibra, oružja sa dejstvom usmerene energije (generatori zvuka, mikrotalasni generatori, laseri).

I pored savremenijih rešenja u oblasti tehnologije senzora, procesiranja informacija, u eventualnoj modernoj realnoj borbenoj situaciji posada broda može biti dovedena u zasićenje. U ovom radu prikazano je modeliranje brodskog informacionog sistema pomoću UML tehnologije. Tako modeliran sistem predstavlja temelj za formiranje inteligentnog brodskog komandnog sistema. Na ovako zamišljen - predložen temelj stavlja se nadogradnja u smislu inteligentnih automatskih saventika. Uzimajući u obzir činjenicu da se radi o sistemima velikog borbenog potencijala racunarski inteligentni sistemi ne smeju biti dovedeni u situaciju da donose odluke i sprovode ih samostalno, odnosno takva autonomija mora biti radikalno ograničena. Ponuđena je alternativa u smislu izrade inteligentnih savetnika. Identifikovano je nekoliko različitih zadataka koji se realizuju u obliku inteligentnih savetnika.

5.3 Objektni Model

Na slici 5.1 prikazan je dijagram tipa USE CASE po tehnologiji projektovanja UML i to model po kome je projektovan sistem HORIZONT. Ideja je da se posebna pažnja posveti uvođenju i definisanju inteligentnih savetnika – procesa ili servisa koji analiziraju – filtriraju situaciju i donose određene savete članovima posade, koji su odgovorni za prepoznavanje situacije i sprovođenje odabrane akcije. Glavne funkcije sistema su:

- Komandovanje i kontrola
- Navigacija
- Sistemi za Obradu podataka senzora Radara
- Sistemi za Obradu podataka senzora Sonara
- Sistemi za Obradu podataka senzora Radara koji pripadaju oružnim sistemima
- Sistem za nadzor i upravljanje svim oružnim sistemima
- Eksterni komunikacioni sistem
- Sistem opšteg nadzora u realnom vremenu



Slika 5.1: USE CASE dijagram komandno informacionog sistema ratnog broda

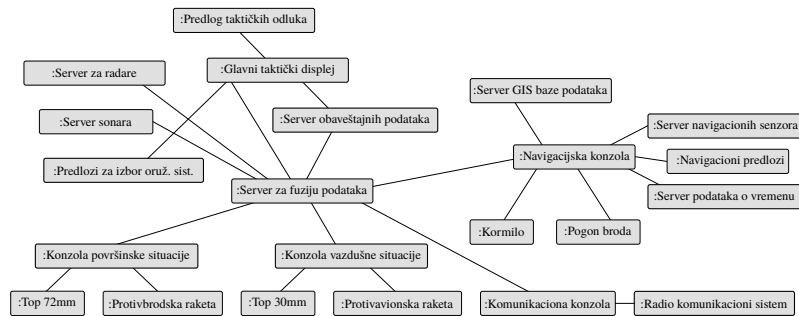
- Funkcija upravljanja svim informacijama od taktičkog značaja

Glavni učesnici u sistemu su:

- Komandant
- Navigacioni oficir
- Komunikacioni oficir
- Oficir za praćenje površinske i podvodne situacije
- Oficir za praćenje situacije u vazдушnom prostoru
- Oficir/Oficiri angažovani za potrebe oružnih sistema

Use Case dijagram 5.1 pokazuje senzore, učesnike u sistemu, funkcije sistema i kranje korisnike u obliku oružnih sistema i njihovu međusobnu povezanost. Ovakvo pobrojavanje potrebno je da bi se lakše identifikovao model informacionog sistema ratnog broda.

Iz dijagrama se vidi da je potrebno procesiranje izlaza sa senzora, koji se mapiraju u relaciju DB unutar General Real Time Surveillance bloka, za funkcije inteligentne podrške. Preko funkcije komande i kontrole komandant broda nadzire taktičku situaciju

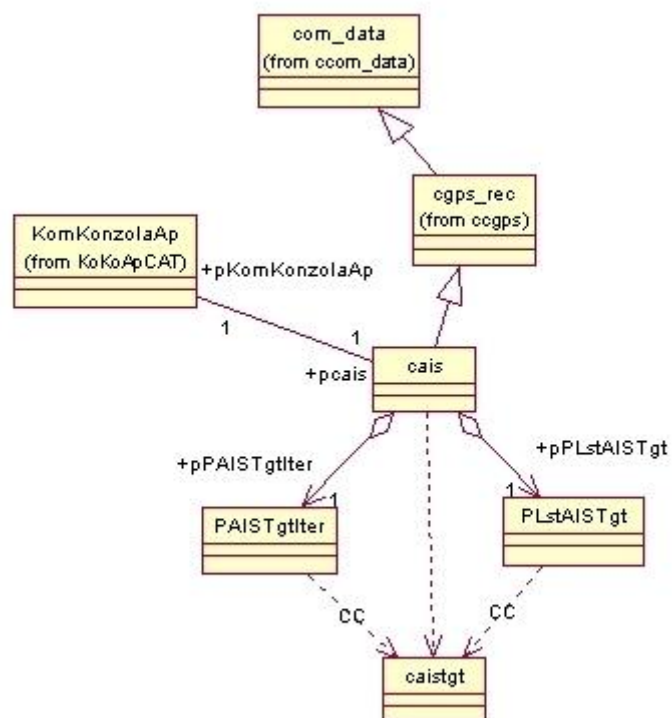


Slika 5.2: Dijagram razmeštaja celina za komandno informacijski sistem ratnog broda

koja je nastala fuzijom podataka sa senzora. Takodje se koordiniše proces navigacije i radio komunikacioni sistem. Preko radio komunikacionog sistema ide obostrana kriptozštićena razmena podataka o osmotrenim objektima (koji su osmotreni vlastitim sensorima ili sensorima koji pripadaju srodnim udaljenim brodovima ili pretpostavljenoj komandi). Funkcija komandovaja direktno je odgovorna i za odluku koja oružana sredstva angažovati za koje potencijalne pretnje.

Na dijagramu 5.2 su prikazani i sami sistemi senzora kao što su radari za osmatranje vazdušne i pomorske situacije, radari u okviru samih borbenih sistema, navigacioni radar, sonari za osmatranje situacije pod vodom, senzori parametara kretanja broda (prijemnik GPS, GLONASS, senzori ljuljanja i posrtanja ŽIRO, senzor kursa broda, brzino-mer LOG), kao i oružni sistemi tipa protivbrodskih raketa, raketa za dejstvo po ciljevima u vazduhu, torpedni sistemi, sistemi raketnih bacača dubinskih bombi, artiljerije od 76mm i od 30mm.

Jedan od glavnih elemenata Objektno Orjentisanih Tehnologija je dijagram klasa. Na slici 5.3 prikazan je jedan primer izgleda klasnog dijagrama vezanog za upravljanje podacima dobijenim sa sistema AIS. Vidi se da je klasa `com_data` (klasa odgovorna za prijem podataka sa serijskog porta) nasleđena od strane klase `cgps_rec` koja enkapsulira potrebne procedure za rad sa formatom podataka NMEA0183. Klasa `cais` nasleđuje sva svojstva klase `cgps_rec` i dodaje procedure vezane za protokol NMEA2000. Prikazana je i veza sa glavnom komandnom klasom `KomKonzolaAp` u kojoj se sadrže instance svih klasa u projektu `Horizont`. Klase `PLstAISTgt` i `PAISTgtiter` predstavljaju klase za realizaciju vezane liste i njenog iteratora. Klasa `caistgt` sadrži sve funkcije i podatke potrebne za prikaz i rad sa podacima vezanim za objekte koji su raportirani AIS sistemom.



Slika 5.3: Primer dijagrama klasa koje opisuju podatke dobijene sa sistema AIS

U vreme projektovaja pomenutog sistema odlučeno je da se sve klase koje su vezane za konkretne objekte u problematici realizuju nezavisno od operativnog sistema i radnog okruženja. Pomenute klase su projektovane da praktično predstavljaju mapiranje rečnika problema u rečnik modela. Sa druge strane učinjen je pokušaj da se problematika korisničkog interfejsa potpuno odvoji od radnog dela. Taj zadatak nije bio lak. Alternativa je koncept korišćenje savremenih okruženja sa multi platform konceptom.

5.4 Konkretno realizacije

Prikaz rezultata u ovom poglavlju temelji se na iskustvima koja su stečena najpre u projektovanju i izradi navigaciono torpednog sistema za podmornice tipa P831 Sava (SFRJ) (Slika 5.4) i i641k Foxtrot (Sovjetski Savez) (Slika 5.5) koji je bio proizveden pod trgovčkim imenom ORKA 2000 [35],[12]. Nekoliko fotografija snimljenih prilikom fabričkih ispitivanja i za vreme ugradnje prikazano je na 5.8a, 5.8b, 5.8c.

Sistem ORKA 2000 prima podatke sa svih senzora koje poseduje podmornica. Senzori na podmornici su: radar i radar detektor, koji su upotrebljivi ako podmornica plovi u površinskoj vožnji ili na periskopskoj dubini, aktivni sonar MG200, pasivni sonar MG10, aktivno pasivni sonar ELEDON, pasivni sonar MG13, prijemnik globalne satelitske pozicije, AIS prijemnik. Svi senzori vlastitog kretanja takođe su spojeni na sistem ORKA: žiro kompas, brzinomer, dubinomer, davač dubine podmornice. Kao aktuatori spojeni su torpedni aparati smešteni u krmi i pramcu. Sistem ORKA podržan je i bazom podataka u formi Geografskog Informacionog Sistema GIS.

Posebno interesantan zadatak koji se rešava na podmorničkom toprednom sistemu je određivanje elemenata kretanja objekata samo na osnovu podataka za pasivno osmatranje – pasivni sonari, radar detektori i periskop. Generalno ovi senzori daju samo ugao na osmotreni objekat koji se menja u vremenu. Postoje specijalni inteligentni procesori signala sa bazom podataka podvodnih zvukova i karakteristika radara koji daju procenjenu identifikaciju osmotrenog objekta, procenjenu brzinu kretanja (kod sonara) i eventualno procenjenu daljinu. Pomoću specijalnog treninga operateri se treniraju da procene elemente kretanja pasivno osmotrenih objekata. Kao rezultat rada operatera dobija se procenjena daljina do objekta, njegova brzina i kurs (ugao kretanja u odnosu na sever). Ugao azimuta na osmotreni objekat dobija se sa pasivnog senzora.



Slika 5.4: Slika podmornice klase P831 Sava u površinskoj vožnji



Slika 5.5: Slika podmornice klase i641k Foxtrot u površinskoj vožnji



Slika 5.6: Izgled raketne fregate RF31

Pored podmorničke verzije razvijan je i sistem koji je projektovan dodavanjem novih celina i podsistema, iz cega je nastao sistem za ratne brodove tipa Koni (Sovjetski Savez sa Jugoslovenskim modifikacijama) i Kotor (napravljen u SFRJ) [36] slika 5.6 odnosno Kotor slika 5.7. Primer izgleda trostruke konzole komandno-informacionog sistema dat je na slici 5.8d.

Klasa Koni obično ima osmatrački radar za vazdušno pomorsku situaciju velikog dometa tipa MR302 ili MR755, Navigacioni radar tipa DON, Sonar MG322T ili slični, jedan ili dva sistema raketne PVO broda tipa OSA-M (Gecko), nekoliko radarskih artiljerijskih sistema tipa MR104, FUT-B, Radarski sistem HARPUN, sistem analognog računara za protivbrodske rakete tipa KORAL, sistem protivbrodskih raketa, sistem torpednih lansera, sistem artiljerije 76mm AK726, sistem PVO artiljerije 30mm AK630 ili AK230, sistem raketnih bacača dubinskih bombi RBU6000.

Na slikama 5.10 i 5.11 vide se izgledi ekrana sa tabelarnim i grafičkim prikazima podataka sa radara, AIS-a, GIS-a i udaljenih senzora. Celi sistem je originalno projektovan, implementiran i korišćen u praksi. Tako projektovan sistem ima mnogo elemenata inteligencije na nižim nivoima, a predstavlja kičmu za implementaciju inteligentnih metoda na višem nivou.

Nastavak tog koncepta rezultirao je većim proširenjima u varijantu opšteg vojnog sistema More/Vazduh/Zemlja C4I sistema, sa komponentama [1],[11],[25], Geografskog Informacionog Sistema GIS-a, mogućnostima uvezivanja na sve tipove senzora, interfejs prema sistemu vazdušnog osmatranja, komunikacioni blok za razmenu kriptovanih



Slika 5.7: Izgled raketne fregate RF33

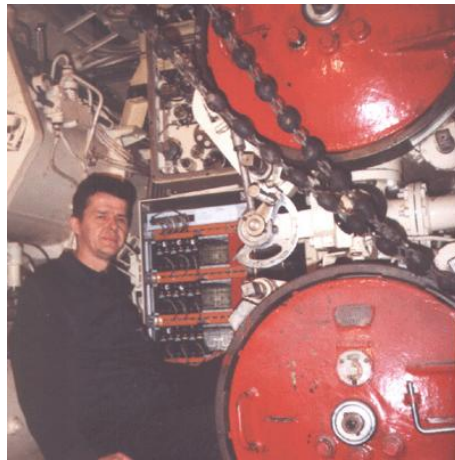
poruka vektorskog tipa i slobodnog teksta sa jedinicama nižeg, sličnog i višeg ranga, kao i interfejsima za vezu prema svim oružnim sistemima koji su postojali u datom okruženju. Takav koncept informacionog sistema je nuđen pod trgovačkim nazivom Horizont [26]. Izgled eksperimentalnog vozila sa kabinom dat je na slici 5.9.

5.5 Fuzija podataka

Pri projektovanju sistema na kojem se prikazuju podaci sa GIS-a, radarske slike u formi bitmape i podataka sa AIS-a potrebno je voditi računa da se izbegnu moguće greške zanemarivanja projekcije prikaza. Pomorske karte se obično prikazuju u nekoj od projekcija – Gaus Krigerova, Merkatorova. Radarski senzor meri kosu daljinu do objekta u sfernom koordinatnom sistemu a kod pomorskih radara shodno dijagramu zračenja antene i kružnom pretraživanju površine mora radarom, dobijena merenja mogu se aproksimativno prikazati polarnim koordinatnim sistemom koji se transformiše na Dekartov pravougli koordinatni sistem. Prilikom projektovanja pomorskog komandno informacionog sistema HORIZONT, kompromis je napravljen u izboru metoda usklađivanja koordinata radi smanjenja greške prikaza. Podaci GIS-a smešteni su u bazu podataka u geografskim koordinatama (geografska širina, dužina), a odabran je referentni elipsoid WGS-84. Podaci primljeni sa sistema AIS, koji se odnose na poziciju takođe su referencirani u odnosu na WGS-84 sistem. Podaci sa radara dolaze u formi vektora 8 ili 16 bitnih vrednosti koje predstavljaju intenzitet refleksije na određenoj daljini. Kod 2D pomorskih radara svaki takav vektor je orjentisan u odnosu na pravac



(a) Dvostruka konzola sistema ORKA 2000 za vreme sklapanja u fabrici



(b) Interfejs prema torpedima sistema ORKA 2000 za vreme podešavanja prilikom ugradnje



(c) Deo razvojnog tima prilikom testiranja podsklopova sistema ORKA 2000 u fabrici



(d) Izgled trostruke konzole sistema Horizont sa operaterom koja je bila ugrađena na RF31 Slika 5.6

Slika 5.8: Slike prikazuju realizacije konkretnih sistema



Slika 5.9: Izgled eksperimentalne platforme sistema Horizont ugrađene u kabinu kamiona

severa po uglu. Poseban matematički blok (softver ili FPGA hardver), realizuje konverziju ovog vektora na pravougli koordinatni sistem uz funkciju integraljenja (da bi se refleksija smatrala odrazom potrebno je da nekoliko susednih ćelija na istoj jedinici daljine bude iznad nekog fiksnog ili promenljivog praga). Pored klasičnih senzora u obliku radara, sonara i video kamera, kao i njihovih mreža, sistema AIS u pomorstvu i SSR radara sa transponderima u letelicama, koriste se i brojne baze podataka plovila odnosno vazduhoplova. Oba sistema identifikacije u pomorskom i avio saobraćaju karakterišu se kao sistemi za davanje tačnih podataka (identifikacija, pozicija, elementi kretanja) o sopstvenom objektu. Poslednjih godina u tehnologiji SSR radara u kontroli avio saobraćaja sve više se koristi takozvani mod S koji omogućuje davanje sličnih informacija kao i AIS sistem u pomorstvu.

Spajanje - fuzija podataka vrši se na nivou bitmapa ili na nivou vektorskih podataka. Vektorski podaci predstavljaju uređen niz brojeva koji predstavljaju podatke o osmotrenim objektima u apsolutnim koordinatama (geografski podaci latitude, longitude, visina) ili relativnim koordinatama (ugao u odnosu na sever i kosa daljina od centralne tačke broda, vertikalni ugao u odnosu na referentnu ravan broda), kao i elementima kretanja osmotrenog objekta (apsolutna ili relativna brzina i smer). Često su u elementima vektora i podaci prvog i drugog izvoda pozicije (brzina i ubrzanje). Svi pomenuti podaci se procesiraju tako da se smanji uticaj greške merenja. Integracija inteligentnih modula čiji je zadatak redukcija negativnog uticaja operatera i njegove potencijalne greške je u razvoju. Ukoliko dobar automatski inteligentni model fuzije informacija nije dostupan, moguće je tu odluku prepustiti operateru ili ostaviti podatke odvojeno, pa ih kao takve pokazati na odgovarajućem pokazivaču situacije. Fuzija podataka može imati implementiranu i podfunkciju opšteg nadzora u realnom vremenu. Kao primer nemogućnosti dobrog preklapanja pozicija a samim tim i problem dobre fuzije, imamo česti slučaj (nekad manjeg, nekad većeg) neslaganja pozicija dobijenih od strane sistema Automatskog Identifikacionog Sistema AIS i vektorskog podatka o poziciji osmotrenog objekta dobijenog lokalnim radarom. Potrebno je poznavati modele distribucije greške za razne tipove senzora i umanjiti njihov uticaj na proces fuzije podataka.

Poznata je činjenica da radarski senzori optimizovani za osmatranje na većim daljinama imaju manju rezoluciju – odnosno tačnost. Ukoliko je radar potpuno koherentni sa kompresijom impulsa tada je moguće povećati tačnost merenja daljine i na većim daljinama, nažalost time se povećava daljina minimalnog otkrivanja. Kod postojećih

starijih sistema problem tačnosti merenja, kao i učestanost dobijanja podataka, rešavan je uvođenjem lokalnih senzora na samim oružnim sistemima (OSA, FUT, MR104. . .).

Na pomenutim tipovima brodova (KONI, GRISHA) sistem radara za osmatranje sa velikim dometom daje naznaku o interesantnom objektu oružnom sistemu u grubim koordinatama, a sam oružni sistem vrši takozvanu akviziciju, zahvat i praćenje sa dovoljnom preciznošću da se može koordinisati podređeno oružje.

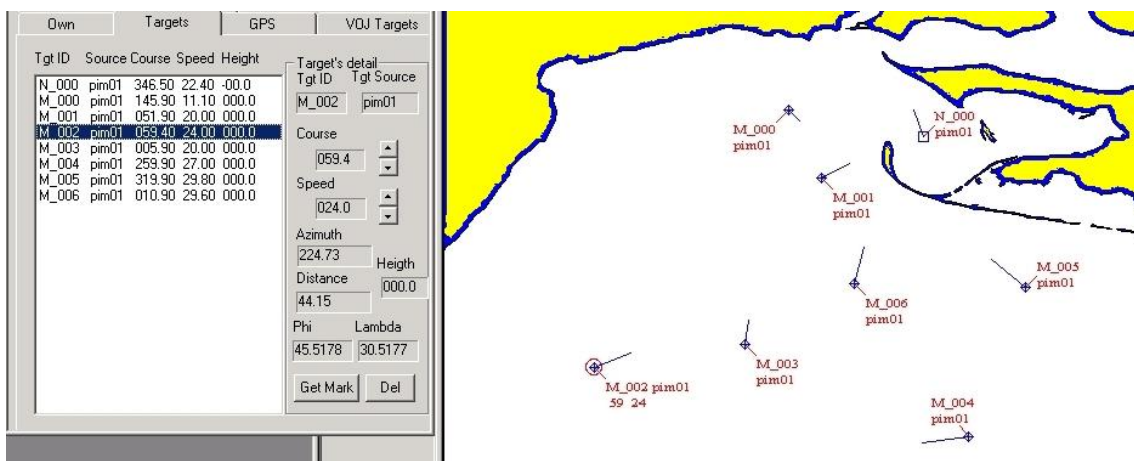
Jedna od bitnih ideja ovog poglavlja je da se predloži model spajanja - fuzije svih informacija sa lokalnih i udaljenih senzora. Udaljenim sensorima se smatraju senzori na obali ili na drugim brodovima ili na sensorima u vazduhu (AWACS).

Procena situacije vrši se pomoću pogodnih konzola vazdušne i pomorske situacije, kao i glavnog taktičkog pokazivača. Preko tih konzola izdaju se komande i šalju komandni argumenti, prati njihov unos u oružne sisteme, kao i naređenje za dejstvo (lansiraje, ispaljenje zrna). Treba voditi računa da sistem oružja u koji se unose podaci argumentata (na primer žiro ugao, vreme autonomnog leta rakete, put do uključenja glave za samonavođenje) treba da se unose brže od dinamike promene naređenog parametra. Na sličan način pomoću navigacione konzole komanduje se parametrima kretanja vlastitog broda (smer lista/listova kormila, smer/broj obrtaja pogonskih propelera). Preko servera navigacionih senzora prikupljaju se podaci od interesa za navigaciju.

U realizaciji konkretnog modela sistema navigaciono torpednog sistema ORKA 2000 ista konzola navigacione situacije koristi se kao taktički računar za izračunavanje parametara za torpedno gađanje kao i praćenja unosa tih parametara u sama torpeda.

Pomenuti serveri prikazani na slici 5.2 mogu biti realizovani u formi posebnih računarskih celina koje imaju komercijalni operativni sistem kao što su Microsoft Windows Embedded ili neki od klonova LINUX baziranog sistema. U današnje vreme postoji nekoliko projektantskih okruženja za razvoj sistema koji rade na više različitih operativnih sistema. Pogodnosti korišćenja takvih cross/platform razvojnih okruženja se ogledaju u razvoju univerzalnih aplikacija. Kao primer mogu se navesti WxWidgets, Qt, Java projektantske platforme.

Potrebno je istaći ne veliku razliku između konzole i displeja. Konzola ima displej ali ima funkcije upravljanja, izdavanja komandi i praćenja. Displej obično ima samo funkciju praćenja.



Slika 5.10: Izgled simulirane taktičke situacije u severnom delu crnog mora - na sistemu HORIZONT

Server baze podataka Geografskog Informacionog Sistema (GIS) je najčešće potreban za navigacionu funkciju ali je ponekad korisno pokazati podatke GIS-a i preko glavnog taktičkog pokazivača, vazdušne ili površinske konzole. Karakterističnih situacija može biti mnogo i moguće je ostaviti korisniku – operateru izbor kakvu će konfiguraciju odabrati.

5.6 Primer taktičkog pokazivača

Na slici 5.10 prikazan je primer koji je nastao simuliranjem pomorske situacije u rejonu severnog dela Crnog Mora. Na osnovu baze podataka GIS-a prikazan je deo obalne linije. Simbol vlastitog broda N_000 pokazuje poziciju broda na kome se nalazi ovakav sistem – vlastiti brod. Svi osmotreni i praćeni brodovi simbolizirani su oznakama M_000 do M_006. Prikazani su samo podaci vektorskog tipa. Oznaka pim01 pokazuje da su svi podaci vektorizovani na računaru za vektorizaciju osmotrenih podataka pod imenom pim01. Podaci dobijeni sa drugih brodova ili sistema imali bi različito ime (tgt source). Za svaki od praćenih objekata računaju se i podaci o relativnoj poziciji.

Sličan primer pokazan je na primeru na slici 5.11 Radi se o stvarnoj situaciji snimljenoj 21. oktobra 2008. godine u rejonu između obale severne afrike i južnog dela obale ostrva Sicilija. Radi se o podacima prikupljenim i arhiviranim sa prijemnika Automat-

skog Identifikacionog Sistema AIS. Na slici u gornjem delu vidi se tabela sa plovnim objektima a sa desne strane tabele su detaljni podaci o selektovanom brodu. Na karti dole vidi se da je selektovani objekat zaokružen da bi se naglasila njegova selekcija.



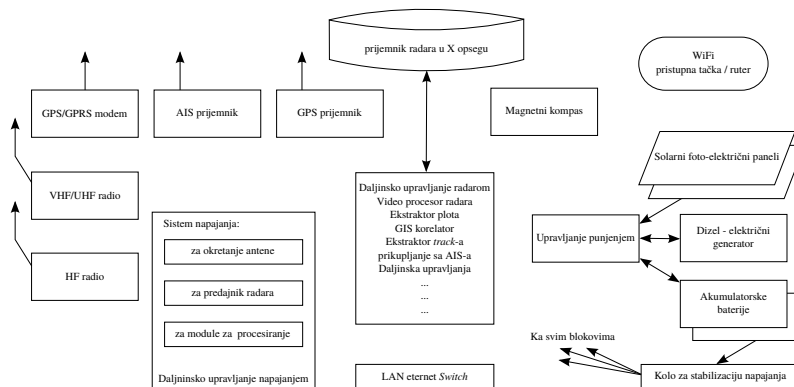
Slika 5.11: Izgled stvarne situacije sa sistema AIS u delu Sredozemnog mora između severne Afrike i Sicilije

5.7 Mreža malih radara

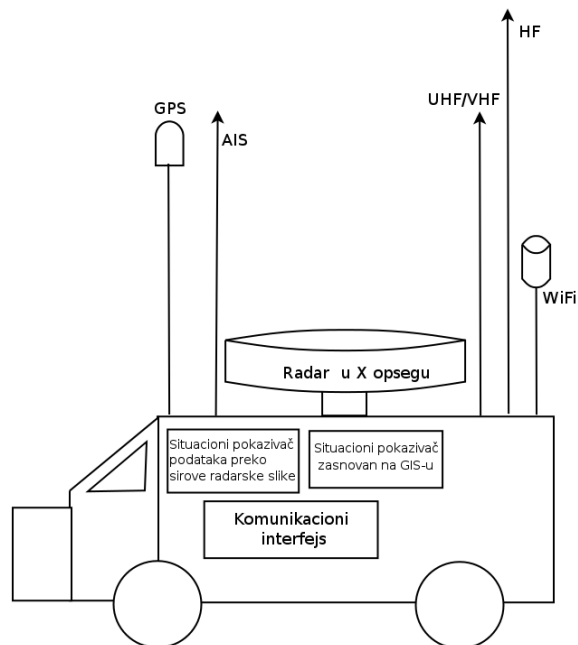
Ideja o dizajnu sistema nadzora sa mrežom malih radara potekla je od zahteva da se velika dužina obalne linije od nekoliko hiljada kilometara obezbedi i pokrije jeftinim sistemom nadzora u što kraćem vremenu. Eksperimenti u izradi prototipa rezultirali su montiranjem malog primopredajnika firme ONWA na krov putničkog automobila Slika 5.17.

Blok šema prikazana na slici 5.12 iznosi ideju koje uređaje treba integrisati na osnovnoj platformi. To su:

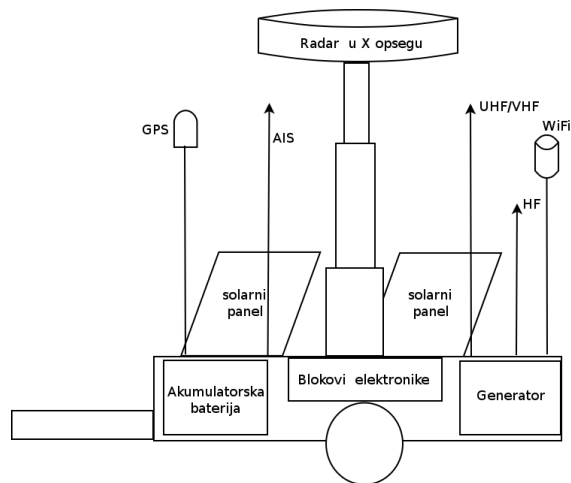
- Glavni senzor - radar sa antenom i primopredajnikom
- Senzori pozicije - GPS prijemnik, kompas u nekom obliku (magnetni, gps ili žiro)
- Lokalna računarska mreža
- Lokalni procesor signala



Slika 5.12: Blok šema osnovne jedinice mreže malih radara



Slika 5.13: Principijelni izgled elementa u malom radarskom izviđačkom vozilu

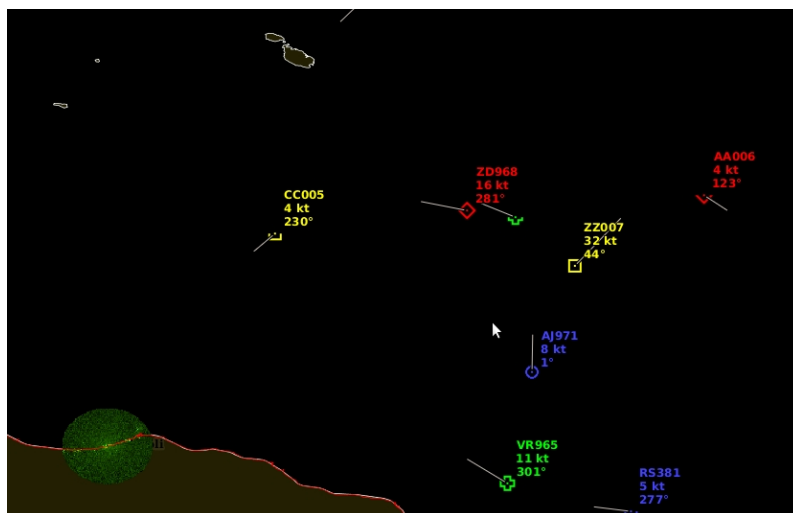


Slika 5.14: Principijelni izgled elementa na radarskoj izviđačkoj prikolici

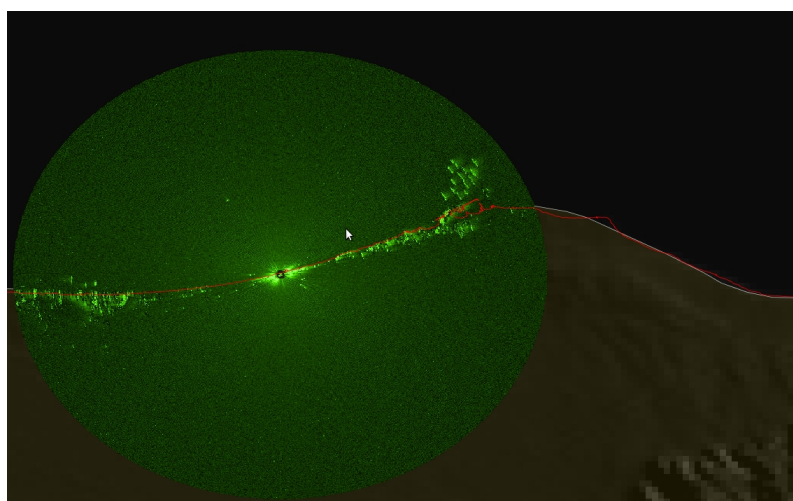
- Komunikacioni uređaji sa velikim protokom informacija (wireless link ili široko-pojasni komunikacioni kabl)
- Komunikacioni uređaji nalog protoka informacija(HF/VHF/UHF) radio ili neki oblik softverski definisanog radija SDR.
- Blokovi za daljinski nadzor
- Blokovi za lokalno napajanje i kontrolu i daljinsko upravljanje

Pobrojani blokovi mogu biti ugrađeni ili montirani na vozilo Skica 5.13 ili na teglenu prikolicu Skica 5.14. Ideja je sa se obe varijante mogu nadzirati i upravljati sa udaljene lokacije bez prisustva operatera u lokalnu.

Slike 5.15 i 5.16 pokazuju delove ekrana sa funkcionalnog modela koji je realizovan pomoću OPENGIS tehnologija. Sadržaj slike se formira pomoću servlet aplikacije GEOSERVER. Ovaj server komunicira sa raznim tipovima baza podataka u kojima su smešteni geografski podaci. Server pruža podršku i za prikaz georeferenciranih bitmapa. U ovom konkretnom primeru koristi se GEOTIFF standard. Nepravilan zeleni krug sa izraženim belim šumom dobijen je konvertovanjem polazne bitmape koja se koristi u ovoj tezi u standard prikaza po GEOTIF formatu. Svaki piksel polazne bitmape transliran je pomoću odgovarajućih matematičko geografskih transformacija na format geografske projekcije koja je odabrana za rad servleta GEOSERVER.



Slika 5.15: Principijelni izgled situacionog pokazivača dobijenog pomoću GEOSERVER sistema



Slika 5.16: Principijelni izgled situacionog pokazivača dobijenog pomoću GEOSERVER sistema



Slika 5.17: Izgled primopredajnika radara ONWA montiranog na putničkom vozilu za vreme funkcionalnog testiranja

Planira se dalji rad na fuziji bitmapa sa različitih lokacija koje imaju značajno preklapanje područja osmatranja. Na ovakav način moguće je poboljšati odnos signal/šum. Tada se povećava verovatnoća otkrivanja malih objekata. U kombinaciji sa glavnom idejom ove teze zaokružuje se ideja o poboljšanoj detekciji malih radarskih objekata sa velikom fluktuacijom.

5.8 Diskusija poglavlja

Cilj ovog poglavlja je bio da se pokaže šta se može uraditi sa rezultatima detekcije nakon filtriranja prostornim filterom. Problemi korelacije detekcija sa ranijim detekcijama, problem filtriranja estimiranih veličina, problem fuzije sa jasnim radarski odrazima koji potiču od objekata sa relativno velikom radarskom refleksnom površinom namerno je izostavljen i ostavljen je za kasnije istraživanje. Komandno informacioni sistem sa svojim sensorima i spregnutim oružnim sistemima predstavlja jednu od najkompleksnijih borbenih platformi i poseduje više elektronskih uređaja i sistema nego mnoge čak i neke veće kopnene formacije. Pokazan je način na koji je u više faza modeliran komandno informacioni sistem pomoću modernih tehnologija. Korišćene su Objektno

Orjentisane Tehnologije. Posebna pažnja je posvećena diskusiji o mogućim varijantma fuzije podataka sa različitih senzora. Pokušana je sistematizacija višegodišnjeg iskustva u ovoj problematici. Tokom rada bilo je brojnih grešaka i manje ili više uspešnih pokušaja ali realizovani sistemi rade pouzdano i permanentno. Zadnji eksperimenti zasnovani na otvorenim tehnologijama OPENGIS obećavaju izuzetno dinamična rešenja. Dobija se mogućnost da se preko internet/intranet browsera može koristiti bilo koja internet kompatibilna savremena platforma. Umesto skupih namenskih komandnih konzola moguće je koristiti brojne platforme smart mobilnih telefona, tablet računare, bilo koji notebook ili desktop sa bilo kojim operativnim sistemom.

Zaključak

Istraživanje čiji su rezultati prikazani u ovoj doktorskoj disertaciji predstavlja alternativni prilaz u odnosu na klasične pristupe u detekciji malih fluktuirajućih objekata kao radarskih ciljeva u zadacima tipa kontrole i nadzora saobraćaja na moru. Većinom se te tehnike oslanjaju na procesiranje samog radarskog signala dok se u ovom radu koriste metode obrade slike koju za potrebe operatera generiše pokazivač osmatračkog radara. U standardnim primenama, operator je taj koji iskustveno arbitrira u proceni da li je nešto tačkasti cilj koga treba pratiti ili je u pitanju realizacija šuma koju treba odbaciti. Predloženim postupkom se automatizuje detekcija malih fluktuirajućih ciljeva od interesa. Pokazuje se da se integracijom informacija o pragovima koje pri detekciji pružaju tri korelacione tehnike (Harris-Stevens, Shi-Tomasi i normalizovana kros-korelacija) može postići pouzdaniji rezultati detekcije, nakon što se preklope skupovi piksela klasi fikovanih kao tačkasti cilj, po svakoj od njih.

Metoda je verifikovana u radu sa realnim podacima iz osmatračkih obalskih radara, ali u radu sa realnim podacima iz morskog saobraćaja nedostaje informacija o tome šta su stvarno bili mali pokretni ciljevi u datoj sekvenci slika. U tom smislu, overa korišćenjem realnih podataka je veoma značajna sa stanovišta mogućnosti implementacije metode, ali je za procenu tačnosti detekcije bilo neophodno razviti odgovarajuće simulaciono okruženje. U radu sa simuliranim slikama izvršen je niz komparativnih analiza korelacionih tehnika primenjenih zasebno i kada se dve od njih primenjuju simultano, a konačna vrednost praga detekcije utvrđuje kao optimalna, pretraživanjem počev od inicijalnih vrednosti pragova koji važe za pojedinu metodu. Sve ove analize su pokazale prednost predložene metode.

Detekcija malih fluktuirajućih ciljeva u radarskim slikama dobijenim obalskim osmatračkim radarima se zatim posmatrala kao operacija unutar šireg sistema u kome se vrši sprezanje sa geografskim informacionim sistemom, a sve u cilju realizacije automatizovanog komandno-informacionog sistema (KIS), ili, pak, kao osnova za realizaciju mreže

malih radara za nadzor obalne linije velike dužine. U ovom radu su izloženi i rezultati niza praktičnih realizacija ovakvih sistema.

Sve primene ovakvog tipa su veoma aktuelne u savremenom svetu i rad na automatizaciji ovakih osmatračko-nadzornih procedura će se nastaviti, sa akcentom na oblast fuzije podataka iz više nezavisnih senzora.

Sama metoda automatizovane detekcije malih fluktuirajućih objekata u slici je još testirana van domena osmatračkih radarskih primena, u slučajevima analiza mikroskopskih preparata i pri analizi aero-foto snimaka. I u ovim tipovima zadataka postignuti su zadovoljavajući početni rezultati, te će se istraživanja nastaviti i u ovim pravcima.

Slike

1.1	Deo ditmape dobijene sa pomorskog radara	4
1.2	Niz od 6 uzastopih scena iz dela markiranog pravougaonikom na slici 1.1 .	5
1.3	Čkica principa rada navigacionog radara na brodu, kojim se osmatra obala i druga plovila	8
1.4	Blok šema podsistema koji se mogu naći u radaru.	8
1.5	Različite platforme na kojima je testiran model procesiranja radarske slike	12
1.6	Izgled obalske radarske osmatračke stanice MYS	13
1.7	Primer bitmape dobijene pomoću radarskog sistema prikazanog na slici	
1.8	Levo - izgled luke jednog mediteranskog grada sa brodovima ispred luke i u luci, kao i nekoliko objekata (silosi). Desno izgled blizu radarskog senzora sa refleksijama od obalnog ruba (strma kamenita obala) verovatno dva objekta na moru i nekoliko objekata na kopnu.	15
1.8	Principijelna blok šemu platforme na kojoj su vršeni experimenti pomenuti u ovoj tezi	15
1.9	Blok shema prikazuje u blok dijagramu kako radi generator bitmape koji je prikazan na slici 1.8 Ovaj algoritam se može uraditi softverski ili hardverski.	16
1.10	Blok šeme modula koji su korišćeni prilikom formiranja bitmape proizvedeni od firme Innovative Integration	18
1.11	Blok šeme modula koji su korišćeni prilikom formiranja bitmape proizvedeni od firme Trenz Electronic GmbH	19

1.12 Slika pomorskog saobraćaja u rejonu Amsterdama sa 2267 objekata koji su identifikovani AIS sistemom	20
3.1 Deo bitmape dobijene sa pomorskog radara	43
3.2 Vrednost fukcije kvaliteta poklapanja za metode Haris-Stivens sa Normalizovanom Kros Korelacijom	44
3.3 Vrednost fukcije kvaliteta poklapanja za metode Haris-Stivens sa metodom Shi-Tomasi	45
3.4 Vrednost fukcije kvaliteta poklapanja za metode Shi-Tomasi sa Normalizovanom Kros Korelacijom	45
3.5 Lokacije detektovanih objekata sa sve tri metode ako pragovi prihvatanja imaju male vrednosti	46
3.6 Lokacije detektovanih objekata sa sve tri metode ako pragovi prihvatanja imaju približno optimalne vrednosti	46
3.7 Lokacije detektovanih objekata sa simuliranim objektima sa sve tri metode ako pragovi prihvatanja imaju približno optimalne vrednosti	49
3.8 Dijagram procenta uspešnih detekcija u zavisnosti od promene srednje vrednosti intenziteta simuliranih objekata	49
4.1 Slike prikazuju luku na mediteranu	55
4.2 Deo bitmape dobijene sa pomorskog radara blizu senzora	56
4.3 Lokacije malih objekata detektovane metodom Shi-Tomasi	56
4.4 Preko dela bitmape sa radarskog senzora nacrtan je obalni rub sa baze podataka sistem GIS	57
4.5 Deo bitmape sa radarskog senzora koji pripada kopnu maskiran je veštački generisanim šumom	57
4.6 Lokacije malih objekata detektovane metodom Shi-Tomasi nakon šumnog maskiranja kopnenog dela	58

5.1	USE CASE dijagram komandno informacionog sistema ratnog broda	67
5.2	Dijagram razmeštaja celina za komandno informacioni sistem ratnog broda	68
5.3	Primer dijagrama klasa koje opisuju podatke dobijene sa sistema AIS	69
5.4	Slika podmornice klase P831 Sava u površinskoj vožnji	71
5.5	Slika podmornice klase i641k Foxtrot u površinskoj vožnji	71
5.6	Izgled raketne fregate RF31	72
5.7	Izgled raketne fregate RF33	73
5.8	Slike prikazuju realizacije konkretnih sistema	74
5.9	Izgled eksperimentalne platforme sistema Horizont ugrađene u kabinu kamiona	75
5.10	Izgled simulirane taktičke situacije u severnom delu crnog mora - na sistemu HORIZONT	78
5.11	Izgled stvarne situacije sa sistema AIS u delu Sredozemnog mora između severne Afrike i Sicilije	80
5.12	Blok šema osnovne jedinice mreže malih radara	81
5.13	Principijelni izgled elementa u malom radarskom izviđačkom vozilu	81
5.14	Principijelni izgled elementa na radarskoj izviđačkoj prikolici	82
5.15	Principijelni izgled situacionog pokazivača dobijenog pomoću GEOSERVER sistema	83
5.16	Principijelni izgled situacionog pokazivača dobijenog pomoću GEOSERVER sistema	83
5.17	Izgled primopredajnika radara ONWA montiranog na putničkom vozilu za vreme funkcionalnog testiranja	84

Tabele

1.1 Tabela prikazuje zahtevane karakteristike radara od strane Internacionalne Pomorske Organizacije (International Maritime Organization IMO) u uslovima jasne vidljivosti	7
---	---

Bibliografija

- [1] Marinko Aleksic, Zoran Djordjevic, and Srdjan Mitrovic. Koncepti modernizacije i integracije mornarickih komandno informacionih i oruznih sistema. In *ETRAN 2003*, pages 175–177, 2003. [22](#), [72](#)
- [2] Daniel I. Barnea and Harvey F. Silverman. A class of algorithms for fast digital image registration. *Computers, IEEE Transactions on*, C-21(2):179–186, feb. 1972. [28](#)
- [3] Samuel S. Blackman. *Multiple Target Tracking with Radar Applications*. Artech House, 1986. [21](#), [52](#), [62](#)
- [4] JeanYves Bouguet. Pyramidal implementation of the lucas kanade feature tracker. *Intel Corporation, Microprocessor Research Labs*, 2000. [29](#)
- [5] R. Brunelli and T. Poggio. Face recognition: features versus templates. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 15(10):1042–1052, oct 1993. [28](#)
- [6] Zoran Djordjevic. Objektno orjentisani pristup projektovanju informacionog sistema podmornice. Master's thesis, Elektrotehnicki Fakultet Univerziteta u Beogradu, 1998. [62](#)
- [7] Zoran Djordjevic. Intelligent system for automatic maritime traffic control. In *Intelligent Systems and Informatics (SISY), 2010 IEEE 8th International Symposium on*, pages 497–500, sept. 2010. [21](#), [52](#)
- [8] Zoran Djordjevic. Intelligent real time gis based classificatory method for maritime surveillance systems. In *Intelligent Systems and Informatics (SISY), 2011 IEEE 9th International Symposium on*, pages 223–226, sept. 2011. [52](#)
- [9] Zoran Djordjevic. Modeling intelligent radar echo classificatory system. In *Etran*

2011, 2011. [52](#)

- [10] Zoran Djordjevic. Modeling intelligent warship comand system. *Information Processing Systems Kharkiv Ukraine*, 3(110) Tom2:12–17, 2013. [62](#)
- [11] Zoran Djordjevic, Marinko Aleksic, and Srdjan Mitrovic. Koncepti modernizacije brodskih upravljackih sistema. In *Collected Papers of the Faculty of Maritime Studies at Kotor*, volume 21, 2003. [22](#), [62](#), [72](#)
- [12] Zoran Djordjevic, Marinko Aleksic, Srdjan Mitrovic, and Dragan Milosavljevic. *Navigational & Torpedo System ORCA 2000 : operation and maintenace instructions*. MTRZ Sava Kovacevic, 2001. [70](#)
- [13] Zoran Djordjevic, Marinko Aleksic, Srdjan Mitrovic, and Dragana Radic. Implementacija distribuiranog procesora signala radara za osmatranje objekata na moru. In *ETRAN 2003*, pages 169–172, 2003. [21](#), [52](#), [62](#)
- [14] Zoran Djordjevic, Nebojsa Gacesa, and O.V. Dorokhov. Modeling of intellectual radar system for maritime surveillance. *Systems of arms and military equipment Kharkiv KhUAF*, 3:28–32, 2011. [62](#)
- [15] Zoran Djordjevic, Aleksandar Jovanovic, and Aleksandar Perovic. On unification algorithm. In *ETRAN 2009*, 2009. [62](#)
- [16] Zoran Djordjevic, Aleksandar Jovanovic, and Aleksandar Perovic. Models of intelligent marine surveillance systems. In *ETRAN 2010*, 2010. [21](#), [52](#), [62](#)
- [17] Zoran Djordjevic, Aleksandar Perovic, and Aleksandar Jovanovic. Intelligent marine systems. In *Symposium "Mathematics and Applications"2012*, 2012. [62](#)
- [18] Zoran Dordevic, Stevica Graovac, and Srdan Mitrovic. Suboptimal threshold estimation for detection of point-like objects in radar images. *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, 2015. [39](#)
- [19] G. Ellis and A. Dix. Enabling automatic clutter reduction in parallel coordinate plots. *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, 12(5):717–724, Sept 2006. [27](#)
- [20] G. Ellis and A. Dix. A taxonomy of clutter reduction for information visualisation. *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, 13(6):1216–1223, Nov

2007. [27](#)
- [21] A. Ghosh, N.S. Mishra, and S. Ghosh. Fuzzy clustering algorithms for unsupervised change detection in remote sensing images. *Information Sciences*, 181 (4):699–715, 2011. [27](#)
- [22] Chris Harris and Mike Stephens. *A combined corner and edge detector*, volume 15, pages 147–151. Manchester, UK, 1988. [28](#), [32](#)
- [23] Cheng-Ming Huang, Yi-Ru Chen, and Li-Chen Fu. Real-time object detection and tracking on a moving camera platform. In *ICCAS-SICE, 2009*, pages 717–722, aug. 2009. [29](#)
- [24] Wonjun Jang, Sungchan Oh, and Gyeonghwan Kim. A hardware implementation of pyramidal klt feature tracker for driving assistance systems. In *Intelligent Transportation Systems, 2009. ITSC '09. 12th International IEEE Conference on*, pages 1–6, oct. 2009. [29](#)
- [25] Aleksandar Jovicic, Zoran Djordjevic, Srdjan Mitrovic, and Marinko Aleksic. Functional model of c4isr system for coastal surveillance. *Collected Papers of the Faculty of Maritime Studies at Kotor*, 21:359–366, 2005. [62](#), [72](#)
- [26] Aleksandar Jovicic, Srdjan Mitrovic, Zoran Djordjevic, and Marinko Aleksic. Jedan pristup projektovanju komandno informacionog sistema za nadzor obale, suzbijanje kriminala i podrsku spasavanju na moru. In *Info M Casopis za informacionu tehnologiju i multimedijalne sisteme*, pages 9–12, 2003. [22](#), [62](#), [73](#)
- [27] Joseph K. Kearney, William B. Thompson, and Daniel L. Boley. Optical flow estimation: An error analysis of gradient-based methods with local optimization. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, PAMI-9(2):229–244, march 1987. [28](#)
- [28] C.S. Kenney, B.S. Manjunath, M. Zuliani, G.A. Hower, and A. Van Nevel. A condition number for point matching with application to registration and postregistration error estimation. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 25(11):1437 – 1454, nov. 2003. [28](#)
- [29] C.S. Kenney, M. Zuliani, and B.S. Manjunath. An axiomatic approach to corner detection. In *Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005. IEEE*

- Computer Society Conference on*, volume 1, pages 191 – 197 vol. 1, june 2005. [28](#)
- [30] Jun-Sik Kim, Myung Hwangbo, and T. Kanade. Realtime affine-photometric klt feature tracker on gpu in cuda framework. In *Computer Vision Workshops (ICCV Workshops), 2009 IEEE 12th International Conference on*, pages 886 –893, 27 2009-oct. 4 2009. [29](#)
- [31] F. Lamberti, A. Sanna, and G. Paravati. Improving robustness of infrared target tracking algorithms based on template matching. *Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions on*, 47(2):1467 –1480, april 2011. [29](#)
- [32] Bruce D. Lucas and Takeo Kanade. An iterative image registration technique with an application to stereo vision. pages 674–679, 1981. [29](#)
- [33] Jérôme Martin and James L. Crowley. Experimental comparison of correlation techniques. In *IAS-4, International Conference on Intelligent Autonomous Systems*, 1995. [35](#)
- [34] Srdjan Mitrovic, Zoran Djordjevic, and Marinko Aleksic. Modernizacija torpednog sistema podmorce. In *ETRAN 2003*, 2003. [22](#), [62](#)
- [35] Srdjan Mitrovic, Zoran Djordjevic, and Marinko Aleksic. Modernization of submarine torpedo system. *ETF Journal of Electrical Engineering*, 12:132–137, 2004. [62](#), [70](#)
- [36] Srdjan Mitrovic, Zoran Djordjevic, and Marinko Aleksic. Modifikacija racunarskog dela brodskog protivpodmornickog sistema. *Vojnotehnicki glasnik, Beograd*, 3:308–319, 2007. [62](#), [72](#)
- [37] Hans Moravec. Obstacle avoidance and navigation in the real world by a seeing robot rover. In *tech. report CMU-RI-TR-80-03, Robotics Institute, Carnegie Mellon University & doctoral dissertation, Stanford University*, number CMU-RI-TR-80-03. September 1980. [32](#)
- [38] J.A. Noble. *Descriptions of Image Surfaces*. University of Oxford, 1989. [28](#)
- [39] D. Obradovic, Z. Konjovic, and E. Pap. Extending postgis by imprecise point objects. In *Intelligent Systems and Informatics (SISY), 2010 8th International Symposium on*, pages 23 –28, sept. 2010. [65](#)

- [40] J.F. Ohmer and N.J. Redding. Gpu-accelerated klt tracking with monte-carlo-based feature reselection. In *Computing: Techniques and Applications, 2008. DICTA '08. Digital Image*, pages 234–241, dec. 2008. [29](#)
- [41] Aleksandar Perovic, Zoran Djordjevic, Mira Paskota, Aleksandar Takaci, and Aleksandar Jovanovic. Automatic recognition of features in spectrograms based on some image analysis methods. *Acta Polytechnica Hungarica*, 10:153–172, 2013. [22](#)
- [42] Stuart Russell and Peter Norvig. *Artificial Intelligence: A Modern Approach (2nd Edition)*. Prentice Hall, 2002. [42](#)
- [43] Jianbo Shi and C. Tomasi. Good features to track. In *Computer Vision and Pattern Recognition, 1994. Proceedings CVPR '94., 1994 IEEE Computer Society Conference on*, pages 593–600, jun 1994. [28](#), [29](#), [33](#)
- [44] Merrill Skolnik. *Introduction to Radar Systems*. McGrawHill Book Companies, 2008. [5](#), [7](#), [21](#), [52](#)
- [45] Marcin Smereka and Ignacy Duleba. Circular object detection using a modified hough transform. *Int. J. Appl. Math. Comput. Sci.*, 18(1):85–91, March 2008. [28](#)
- [46] K.A. Sullivan and S.H. Jacobson. A convergence analysis of generalized hill climbing algorithms. *Automatic Control, IEEE Transactions on*, 46(8):1288–1293, aug 2001. [42](#)
- [47] Peter Tait. *Introduction to radar target recognition*. IEE radar, sonar, navigation, and avionics series. IET, Stevenage, 2005. [25](#)
- [48] A. Takaci and S. Skrbic. Comparing priority, weighted and queries with threshold in pfsql. In *Intelligent Systems and Informatics, 2007. SISY 2007. 5th International Symposium on*, pages 77–80, aug. 2007. [65](#)
- [49] A. Takaci, S. Skrbic, and A. Perovic. Generalised prioritised fuzzy constraint satisfaction problem. In *Intelligent Systems and Informatics, 2009. SISY '09. 7th International Symposium on*, pages 145–148, sept. 2009. [65](#)
- [50] Carlo Tomasi and Takeo Kanade. Detection and tracking of point features. Technical report, International Journal of Computer Vision, 1991. [29](#)
- [51] P.K. Verma, A. N. Gaikwad, D. Singh, and M. J. Nigam. Analysis of clutter reduction

- techniques for through wall imaging in uwb range. *Progress In Electromagnetics Research B*, 17:29–48, 2009. [27](#)
- [52] R. Vicen-Bueno, R. Carrasco-Alvarez, M. Rosa-Zurera, and J.C. Nieto-Borge. Sea clutter reduction and target enhancement by neural networks in a marine radar system. *Sensors*, 9(3):1913–1936, 2009. [27](#), [52](#)
- [53] R. Vicen-Bueno, R. Carrasco-Alvarez, M. Rosa-Zurera, J.C. Nieto-Borge, and M.P. Jarabo-Amores. Artificial neural network-based clutter reduction systems for ship size estimation in maritime radars. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2010:1–15, 2010. [27](#), [52](#)
- [54] Hao Wu, A.C. Sankaranarayanan, and R. Chellappa. Online empirical evaluation of tracking algorithms. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 32(8):1443–1458, aug. 2010. [29](#)
- [55] M. Zuliani, C. Kenney, and B.S. Manjunath. A mathematical comparison of point detectors. In *Computer Vision and Pattern Recognition Workshop, 2004. CVPRW '04. Conference on*, page 172, june 2004. [28](#)