

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

ZAVRŠNI RAD br. 1650

**ODREĐIVANJE STAVA I POGLEDA  
KAMERE AUTOMATSKOM  
IDENTIFIKACIJOM ZVIJEZDA U SLICI**

Matea Marušić

Zagreb, siječanj 2011.

## Zahvala

*Zahvaljujem se prof.dr.sc Davoru Petrinoviću na brojnim savjetima i uputama, te na strpljenju i toleranciji tijekom izrade ovoga rada.*

## Sadržaj

Uvod.....	1
1. Uparivanje zvijezda .....	3
1.1. Pojednostavljenje problema .....	3
1.2. Ideja o rješenju uparivanja .....	4
1.2.1. Podaci o zvijezdama koji upućuju na jednoznačne parove.....	5
1.2.2. Što treba predstavljati struktura .....	5
1.3. Programsko rješenje.....	6
1.4. MateaMain.m.....	7
1.4.1. Sortiranje zvijezda <code>imrect</code> naredbom.....	8
1.4.2. Parametrizacija unutar funkcije .....	14
1.4.3. Pronalazak zvijezde .....	17
2. Problemi pri izvedbi uparivanja zvijezda .....	19
2.1. Korištenje <code>atan2</code> funkcije.....	19
2.2. Uvođenje <code>IsInRectangleInf</code> .....	19
2.3. Uvođenje <code>Filter400</code> funkcije.....	19
3. Uparivanje zvijezda metodom „pogodaka“ .....	20
3.1. Osnovne razlike.....	20
3.2. Prebrojavanje pogodaka .....	21
Zaključak .....	24
Sažetak .....	25
Literatura.....	26

## Popis oznaka i kratica

VTmag

BTmag mjere za magnitudu<sup>1</sup> preuzeta iz sustava Vizier

Vmag

RAmdeg desno uzdizanje (*engl.* Right Ascension) izraženo u kutnim stupnjevima (*engl.* degrees)

DEmdeg deklinacija (*engl.* Descending ) izražena također u kutnim stupnjevima

Tycho2 katalog zvijezda

*engl.* engleski naziv

*Polaris* Zvijezda Sjevernog Pola, Sjevernjača i najsjajnija zvijezda sazviježđa Malog Medvjeda (*engl.* Ursa Minor), žuto-bijele boje, gigantske magnitude 2.0.

*M11* „Jato divljih pataka“ (*engl.* The Wild Duck Cluster) bogati divlji klaster koje se sastoji od stotine zvijezda vidljivih teleskopom kao neizrazita lopta u veličini gotovo polovice punog mjeseca. U malim teleskopima pojavljuje se u obliku slova V, kao jato patki. Na vrhu V oblika nalazi se najsjajnija zvijezda, 8. Magnitude. M11 je 6,000 svjetlosnih godina udaljeno i leži od Mliječne staze.

---

<sup>1</sup> Svjetlina objekta na noćnom nebu se naziva prividna magnituda i ovisi o stvarnoj svjetlini i udaljenosti objekta od Zemlje. Astronomi koriste numeričku skalu kako bi opisali magnitudu nebeskih objekata. Svijetle zvijezde su opisane malenim ili negativnim brojevima, dok su slabo vidljivi objekti opisani velikim brojkama. Uz dobre uvjete, moguće je vidjeti zvijezde do magnitude 6 golim okom, dok se teleskopima promatraju zvijezde većih magnituda. Skala je logaritamska, tako da zvijezda magnitude 1 je 100 puta svjetlija od zvijezde magnitude 6.

# Uvod

Astronomija je najčešće povezivana sa titulom najstarije znanosti, no uz neprekidan razvoj svemirskih sondi i orbitalnih teleskopa, također ju s pravom svrstavamo i među najmodernije znanosti.

Ozbiljna promatranja neba započela su tisućama godina unazad na Bliskom Istoku i dosegla vrhunac, barem u antičkom svijetu, sa Grčkim znanstvenicima 2,000 godina prije nas. U to vrijeme zvijezde i planeti bili su samo misteriozna svjetla na nebu i Zemlja se još uvijek smatrala središtem svemira. Ovakav pogled na svijet nitko nije ozbiljno poljuljao sve do 16. stoljeća, kada je Nikola Kopernik, astronom iz Poljske, javno iznijeo stavku o tome da je Zemlja jednostavno planeta, te da kao i svi planeti kruži oko sunca. Nakon tragičnih osuda koje je doživio za života, njegova revolucionarna „otkrića“ potvrdio je tek u sljedećem stoljeću talijan Galileo Galilei, koristeći novo izumljeni teleskop. Johannes Kepler, Njemački matematičar, dokazao je da planeti kruže po eliptičnim putanjama, a englez Isaac Newton objasnio je gravitacijske sile koje upravljaju svim kružnim gibanjima.

Od Newtonova vremena u 17. stoljeću pa nadalje, znanstvenici su prepoznali da su zvijezde kao i sunce, ali tek u 20. stoljeću, djelom američkog astronoma Edwina Hubblea, postalo je jasno da je galaksija u kojoj se nalazimo samo jedna među beskonačno mnogo drugih i da se cijeli svemir širi neprestano od masivne eksplozije milijardama godina prije. Jedino razvojem nuklearne fizike raščistilo se kako uopće zvijezde proizvode energiju od koje sjaje.

U današnje vrijeme postalo je normalno da pristojna oprema za promatranje zvijezda podrazumijeva teleskop koji ima automatsko praćenje i raspoznavanje zvijezda. Takvi sadrže kataloge sa tisućama i tisućama zvijezda koje je netko prije već snimio, opisao i pridodao katalogima. Kako bi približili čudesnu znanost zaljubljenicima u noćno nebo sve se više znanstvenici bave razvojem takve opreme.

Problem mogućnosti identifikacije zvijezda u svemiru također postaje sve aktualniji pri plovidbi svemirskih letjelica. Naveden je kao zahtjev sustava za nekoliko bitnih nadolazećih misija u svemiru kao što su Proteus, Rosetta i Cassini. Sposobnost autonomnog prepoznavanja zvijezda i utvrđivanje stava letjelice uvelike povećava vrijednost podataka o snimljenoj zvijezdi te ima mnoge druge prednosti. Svemirski brod dizajniran s takvom inherentnom autonomijom manje se oslanja na skupu i krhku komunikaciju sa Zemljom, otporniji je na kvar sustava, zahtjeva daleko manje senzora i ima povećanu točnost podataka. Autonomno prepoznavanje zvijezda može biti od posebne koristi za misije u dubokom svemiru gdje komunikacijska kašnjenja čine interaktivno donošenje odluka jako neefikasnim, zahtijevaju mnogo vremena, te uvelike pridonose prekomjernom trošku misija.

Usprkos ovim prednostima nekoliko komercijalno dostupnih kamera sa autonomnim sustavom za identifikaciju zvijezda su razvijeni do danas. Tehnike i metode tih par sustava su isključivo na eksperimentalnom nivou, te je takav razvoj pouzdanih identifikacijskih strategija aktivno područje istraživanja.

Ovaj rad neće riješiti problem troškova misija u dubokom svemiru, niti istražiti neku novu strategiju identifikacije zvijezde koju zabilježi kamera ili teleskop. Međutim, istražiti će se i isprobati neke postojeće, kao i nove metode za raspoznavanje ili bolje rečeno „nagađanje“ koja su zvijezde zabilježene kamerom.

Ne može se s pravom ovo istraživanje staviti u kontekst neba, misija u svemir, te autonomno prepoznavanje zvijezda, jer omjer stvarnog broja zvijezda i broja zvijezda kojima će se baratati u daljnjem tekstu je toliki da broj znamenaka ne bi stao niti na sve stranice ovoga rada. No, problematika ovakvog istraživanja nije beznačajna i to će se pokazati rezultatima mjerenja i izvođenja programa.

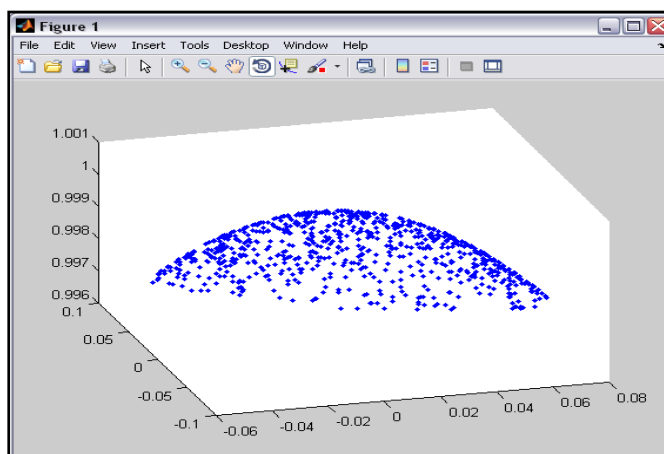
Možda se Newton i njegove spomenute kolege prevrću u grobu već pri samom uvodu, no da se u današnje vrijeme može izmjeriti nešto pametno u svijetu znanosti samo sa plodom jabuke, sigurno bi bilo jednostavnije čitati ovaj rad.

# 1. Uparivanje zvijezda

U radu je potrebno automatskim uparivanjem pozicija zvijezda na fotografiji i njihovih stvarnih pozicija iskazanih u ekvatorijalnim koordinatama prema odgovarajućim katalozima<sup>2</sup> odrediti stav kamere i rotaciju kadra u odnosu na ekvatorijalni koordinatni sustav.

## 1.1. Pojednostavljenje problema

Najvažnija stvar u cijelom zadatku koju treba proizvesti je dakako algoritam za uparivanje zvijezda. Da bi se došlo do korisnog rezultata zadatak se pojednostavi i specificira na određeni dio neba i određeni broj zvijezda. Naime, za početak se zadatak referencira na katalog zvijezda Tycho2, koji je dostupan u sustavu Vizier na stranicama interneta. U pojednostavljenom načinu rješavanja odabire se područje od 240 kutnih minuta oko zvijezde *Polaris* i otprilike 700 najsjajnijih zvijezda, do 11. magnitude, oko nje.



Slika 1.1 Trodimenzionalni prikaz zvijezda oko Polaris u programskom sustavu Matlab

---

<sup>2</sup> Referenciramo se na Tycho2 katalog

No zbog jednostavnosti pri rješavanju, ne koristi se ovaj kadar kao trodimenzionalni nego se pozicije zvijezda svode na  $x$  i  $y$  koordinate, odnosno rješavamo problem fotografije. Ovakav pristup omogućit će pojednostavljeno rješavanje matematičkih problema u razvoju algoritma za automatsko uparivanje zvijezda.

U odabranom kadru potrebo je izdvojiti jedno manju sliku te ju translirati i rotirati na taj način da ona izgleda kao da je uzeta fotografija neba. Kako bi se stvorio dojam fotografije, također je moguće dodatno unijeti perturbacije po poziciji i magnitudi za sve zvijezde u manjoj fotografiji i to prilikom svakog pokretanja po novom random iznosu. Na manjoj slici se izdvaja 100 najsjajnijih zvijezda za koje će trebati naći par na zadanom kadru oko *Polarisa*. Dakle, pretpostavlja se da je simulirana slika zapravo uzeta fotografiju neba, te se potom upisuju svi opisni podaci do kojih je moguće doći matematičkim putem i opažanjem zvijezda na slici u odgovarajući opisni vektor/matricu/strukturu. Slijedi uspoređivanje tih opisnih podataka o zvijezdama na slici sa podacima iz kataloga u svrhu pronalaženja indeksa i oznaka zvijezda na fotografiji zbog identificiranja.

## 1.2. Ideja o rješenju uparivanja

Ideja za razrješavanje problema je uzeti manji komad neba u pravokutnom obliku pod bilo kojim kutom, izolirati 100 najsjajnijih zvijezda, translirati pravokutnik i rotirati i centrirati tako da u konačnici imamo dojam normalne fotografije neba. Također, uzeti mnogo veći komad neba koji nekim djelom, u bilo kojem odnosu pokriva taj manji komad neba. Izolirati sa istog 400 najsjajnijih zvijezda te napraviti parametrizaciju na obje takve slike. Zašto veća slika mora u nekom odnosu prekrivati dio manje slike? Kako bi usporedbe koje će se izvoditi uparivanjem zvijezda na manjoj slici sa odgovarajućim parom na većoj imale sigurno nekakve rezultate, početno se uzimaju zvijezde koje se pojavljuju na obje slike, upravo na ovakav način. U idealnom slučaju problem bi se pojednostavio kada i uvijek bilo sigurno da je „uzeta slika“ sa 100



zvijezda uvijek iz područja veće slike sa 400 zvijezda. Takav slučaj će se pojaviti kada se za veću sliku koristi cjelokupni komad neba oko *Polarisa*.

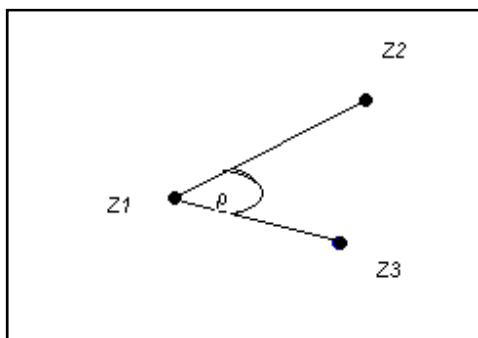
Nadalje, što bi značilo obaviti parametrizaciju? Parametrizacija predstavlja upravo zapisivanje ključnih podataka o zvijezdama koji će biti glavni pri usporedbi, identifikaciji odnosno uparivanju zvijezda manjeg i većeg kadra.

### 1.2.1. Podaci o zvijezdama koji upućuju na jednoznačne parove

Naime, za svaku zvijezdu potrebno je stvoriti zapis o indeksu zvijezde, svjetlini odnosno magnitudi, x i y koordinatama u sustavu ,te dodatno upisati opisnu strukturu podataka koja jednoznačno određuje njezin odnos sa 10 najbližih susjednih zvijezda.

### 1.2.2. Što treba predstavljati struktura

Struktura koja opisuje odnos zvijezde sa njezinim susjedima sastojat će se od  $\rho$  i  $r$  parova podataka ,gdje  $\rho$  predstavlja kut kojega zatvaraju  $a$  i  $b$  . Parametri  $a$  i  $b$  predstavljaju euklidsku udaljenost među odabranom zvijezdom i njezinim prvim dvjema najbližim susjedama, s time da treba paziti da je  $a$  uvijek veća udaljenost kako bi na kraju  $r$ , gdje je  $r = \frac{a}{b}$ , uvijek bio veći od 1. Struktura svake zvijezde sastoji se dakle od 10( za 10 najbližih susjeda stvara se deset trojki ) matrica koje sadrže 2x9 podataka ( 2 stupca, prvi predstavlja  $r$ , a drugi  $\rho$  ).

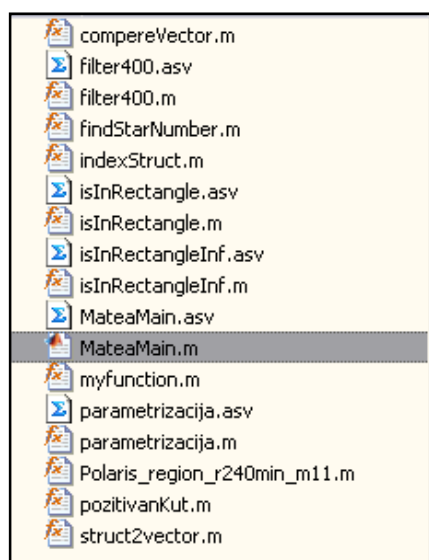


Slika 1.2 prikaz parametara unutar strukture koja opisuje zvijezdu

Kada je jasno koji su podaci potrebni da bi se obavilo uspješno uparivanje i identifikacija zvijezda, prijelaz na samo kodiranje i programsko ostvarivanje u sustavu Matlab trebao bi biti jednostavniji i intuitivni.

### 1.3. Programsko rješenje

Samo rješenje zadatka u Matlabu izvedeno je pomoću skripte `MateaMain.m` i niza funkcija koje su pozvane iz nje zbog jednostavnijeg i logičnijeg izvođenja.



Slika 1.3 Popis skripta i funkcija potrebnih za razrješenje

Budući da samo izvođenje programa kreće i završava u istoj skripti, a obuhvaća mnoge funkcije, opis njezina rada iziskuje otvaranje novog pod poglavlja.

## 1.4. MateaMain.m

Prva stvar koju obavlja ova skripta je učitavanje podataka iz funkcije `Polaris_region_r240min_m11` koja je iscrtala već gore viđeni 3D prostor oko zvijezde Polaris sa njezinih 700 susjeda<sup>3</sup>. `Polaris_region_r240min_m11` funkcija sprema podatke preuzete iz kataloga Tycho2 u matricu. U takvoj matrici nalazimo podatak o magnitudi zvijezde (6. i 7. stupac), indeksu unutar Tycho kataloga (1., 2. i 3. stupac), te podatke o desnom uzdizanju uz „proper motion“ (`RAmdeg` tj. 5. stupac) i deklinaciji (`DEmdeg` tj. 6. stupac). Vidljivo je iz samih oznaka za desno uzdizanje i deklinaciju da se radi o pozicijama u kutnim stupnjevima. Svrha ove funkcije je preračunavanje tih podataka u koordinate  $x, y$  i  $z$ , te preslikavanje po istima svih zvijezda u 3D prostor.

Međutim, pri učitavanju podataka iz gornje funkcije u izvršnu skriptu, očitavaju se samo parametri  $x, y$ , indeks zvijezde, te svjetlina odnosno magnituda u matricu `Atlas`<sup>4</sup>. Na taj način projiciraju se sve zvijezde u 2D prostor. Zatim se na takvom kadru neba, sa 700 „točkica“, upisuje mali pravokutnik u svrhu simuliranja manje slike. U istoj manjoj slici označiti će se 100 najsjajnijih zvijezda na način da sortiramo sve zvijezde po magnitudi u padajućem slijedu. Određivanje pravokutnika obavlja se naredbom `imrect`.

`Imrect` naredba inicijalno izbaci pravokutnik defaultne visine i širine, nakon što je podešen prema želji korisnika može se još simulirati kao da je uzet pod određenim kutom. Budući da ova naredba ne daje opciju zakrivljivanja pravokutnika kojim označavamo zvijezde, kut unosimo kao ulazni podatak `workspacea`. Uneseni kut glumi u ovom slučaju tzv. „tilt“, odnosno pokazuje koliko je nakrivljen teleskop u trenutku snimanja kadra.

---

<sup>3</sup> Radi se o otprilike 700 zvijezda unutar regije, no broj je nebitan za ćemo zaokružiti na 700

<sup>4</sup> Zbog jednostavnosti `Atlas` će nadalje predstavljati zvjezdano nebo

```

figure, plot(x,y, '.');
axis equal
axis([Xmin Xmax Ymin Ymax])

%[korX korY]=ginput(4);
h = imrect(gca, [Xmean-sirina/2 Ymean-visina/2 sirina visina]);
accepted_pos = wait(h);
delete(h);

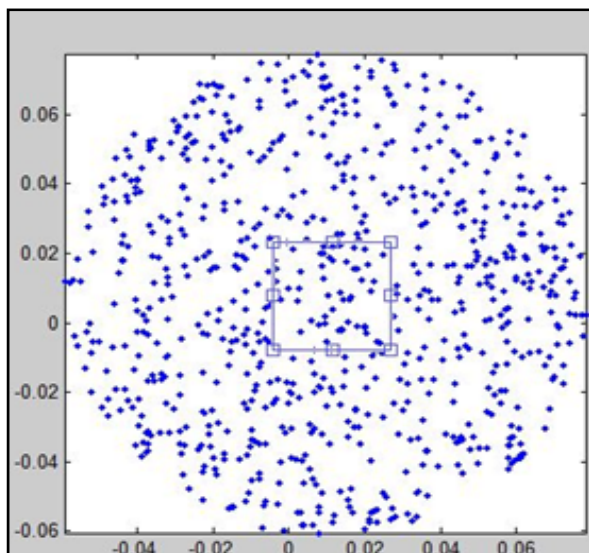
w=accepted_pos(3); %width
h=accepted_pos(4); %height
x=accepted_pos(1);y=accepted_pos(2); %corner position
xv=[x x+w x+w x x];yv=[y y y+h y+h y];
R(1,:)=xv;R(2,:)=yv;
kut=input('Unesite kut rotacije pravokutnika:');
kutZaTocku=-kut;
alpha=kut*2*pi/360;
XY=[cos(alpha) -sin(alpha);sin(alpha) cos(alpha)]*R;%matrična
transformacija za rotaciju
hold on
% plot(xv,yv);
plot(XY(1,:),XY(2,:), 'r');

```

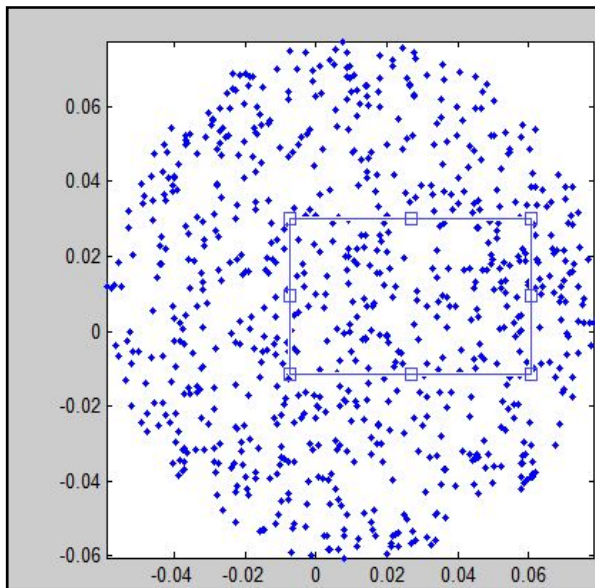
Slika 1.4 Isječak koda koji prikazuje odabir pravokutnika za prvu(manju) sliku

### 1.4.1. Sortiranje zvijezda `imrect` naredbom

Slijedi prikaz gore opisanog postupka početka izdvajanja zvijezda.



Slika 1.5. Inicijalni pravokutnik kojeg izvede `imrect` naredba



Slika1.6 Modificirani pravokutnik koji se izvodi `imrect` naredbom

Nakon dvoklika na modificirani pravokutnik ove funkcije, Matlab traži ulazni podatak kut rotacije pravokutnika. Kada dobije takav kut, simulira pravokutnik koji je nakrivljen za kut rotacije u prostoru Atlasa. U takvom pravokutniku potrebno je potom označiti tj. sortirati sve zvijezde ,u navedenom primjeru to će biti označeno crvenom bojom , te potom izolirati samo 100 najsjajnijih.

Dio koda koji obavlja to označavanje zvijezda osim na `MateaMain.m` skriptu odnosi se i na funkciju `IsInRectangle` koja na jednostavan način pomoću logičke nule i jedinice u petlju vraća odgovor o tome dali je zvijezda unutar ili van pravokutnika. `IsInRectangle` se koristi najnižom rubnom točkom pravokutnika odakle izvodi sve daljnje operacije. Za posebne slučajeve kada je kut rotacije  $0^\circ$  ili  $90^\circ$  postoji funkcija `IsInRectangleInf` koja na sličan način razrješava situaciju.

Nakon što je jasno koje zvijezde se nalaze unutar pravokutnika iscrtava se Atlas sa crvenim zvijezdama koje su unutar pravokutnika i crnim koje su van njega.

```

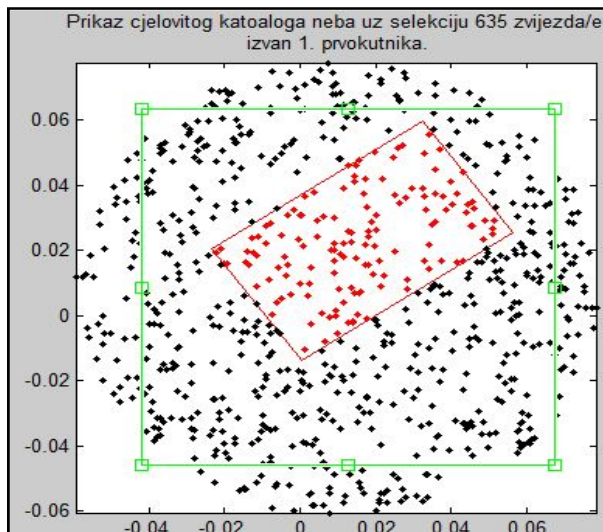
% Provjera da li se neka točka iz atlasa nalazi unutar odabranog
% pravokutnika
brojac=1;
noviIND=[];
noviX=[];
noviY=[];
noviBTmag=[];

brojacNOT=1;
noviINDNOT=[];
noviXNOT=[];
noviYNOT=[];
noviBTmagNOT=[];

N=length(stariX);
kutOrg=kut;
kut=pozitivanKut(kut);
for k=1:N
    logic=isInRectangle(XY',[stariX(k) stariY(k)], kut);
    if (logic==1)
        noviIND(brojac)=ind(k);
        noviX(brojac)=stariX(k);
        noviY(brojac)=stariY(k);
        noviBTmag(brojac)=BTmag(brojac);
        brojac=brojac+1;
    else
        noviINDNOT(brojacNOT)=ind(k);
        noviXNOT(brojacNOT)=stariX(k);
        noviYNOT(brojacNOT)=stariY(k);
        noviBTmagNOT(brojacNOT)=BTmag(brojacNOT);
        brojacNOT=brojacNOT+1;
    end
end

```

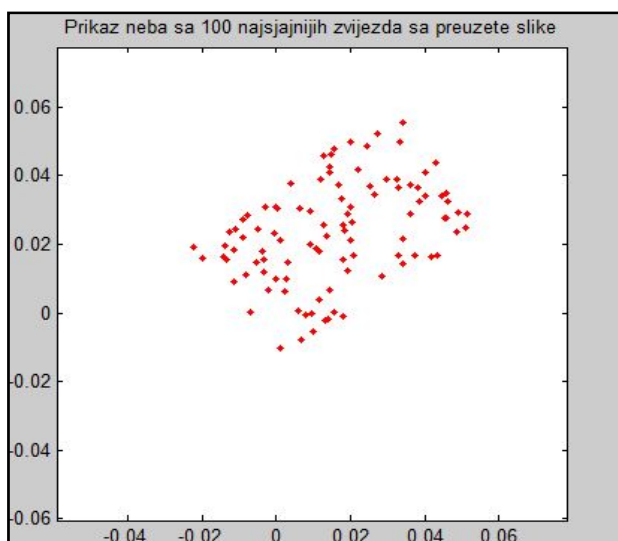
Slika 1.6. isječak koda koji provjerava dali se neka točka iz atlasa nalazi unutar pravokutnika



Slika 1.7. Prikaz neba sa označenim zvijezdama unutar malog pravokutnika

Zeleni pravokutnik predstavlja područje kojim se obilježava veći kadar Atlasa u kojem će biti potrebno izolirati 400 najsjajnijih zvijezda i označiti ih zelenom bojom.

Međutim da nastavimo sa manjim pravokutnikom, u njemu je potrebno označiti 100 najsjajnijih, to se postiže na način da se poredaju zvijezde po magnitudi i to u padajućem smjeru u novu matricu. U programu to je lako ostvarivo, sortira se po onom stupcu koji u matrici označava magnitudu. Iscrtavanje opisanog posla.



Slika 1.8. Prikaz neba sa 100 najsjajnijih zvijezda unutar preuzete slike

Da bi stvar bila uvjerljiva potrebno je preuzetu sliku modificirati na način da ju rotiramo tako da nam izgleda da je uzeta pod nultim kutom, centriramo pomoću njezine srednje vrijednosti kako bi sveukupni dojam bio kao da je ta slika uzeta fotoaparatom. Perturbacije po magnitudi i pozicijama dodatni su alat koji pospješuje uvjerljivost ovako simulirane fotografije, te mjerenjima daje više smisla.

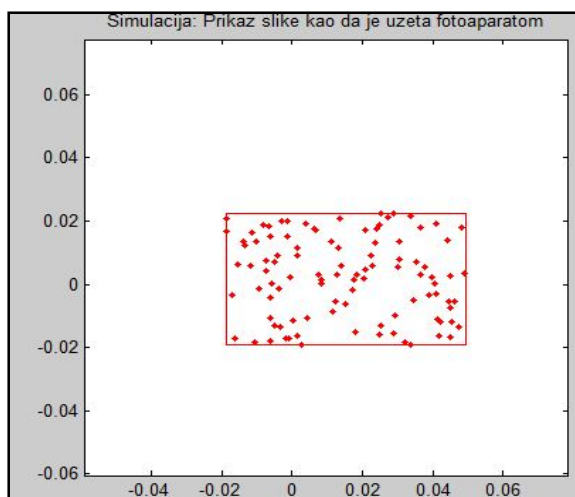
```

% Ispis na novoj slici samo 100 najsjajnijih zvijezda
hold on
figure, plot(slika100(:,2),slika100(:,3),'.','Color','red');
axis equal
axis([Xmin Xmax Ymin Ymax])
title('Prikaz neba sa 100 najsjajnijih zvijezda sa preuzete slike');

% slika koja je centrirana i rotirana kao da je upravo uzeta sa
% fotoaparatom (100 najsjajnijih samo je ukinut kut sa kojih su točke
% preuzete sa originalnog kataloga)
slikaRC(:,1)=slika100(:,2);%x
slikaRC(:,2)=slika100(:,3);%y
slikaRC=slikaRC';
kutOrg=-kutOrg;
alpha=kutOrg*2*pi/360;
slikaRC=[cos(alpha) -sin(alpha);sin(alpha) cos(alpha)]*slikaRC;
slikaRC=slikaRC';
slikaRC(:,1)=slikaRC(:,1)-Xmean;
slikaRC(:,2)=slikaRC(:,2)-Ymean;
hold on
figure, plot(slikaRC(:,1),slikaRC(:,2),'.','Color','red');
axis equal
axis([Xmin Xmax Ymin Ymax])
R=R';
R(:,1)=R(:,1)-Xmean;
R(:,2)=R(:,2)-Ymean;
hold on
plot(R(:,1),R(:,2),'Color','red');
title('Simulacija: Prikaz slike kao da je uzeta fotoaparatom');

```

**Slika 1.8.** Isječak koda koji rotira i centrira preuzetu sliku



**Slika 1.9** Prikaz slike kao da je uzeta fotoaparatom



Isti postupak se provodi za uzimanje veće slike koja nekim djelom treba pokrivati gore navedenu sliku, kako bi se mjerenja mogla demonstrirati na primjeru. Razlika za veću sliku je u tome što pri označavanju zvijezda unutar ovog pravokutnika 400 najsjajnijih treba biti odabrano na poseban način, jer je pretpostavljeno da one uključuju i one zvijezde koje se nalaze unutar manje slike. Bez ovakvog uključivanja kod neće davati rezultate visoke točnosti, a u prvoj verziji zamišljeno je da daje rezultate potpune točnosti. Zbog toga se u velikoj slici u 400 najsjajnijih uključe sve zvijezde od onih 100 iz manjeg kadra. Za izlučivanje 400 najsjajnijih zvijezda u velikom kadru, koristi se funkcija `filter400`.

```
function [ outM ] = filter400( MmalaSVE,MvelikaSVE,Mmala100 )

velikaBezMale=[];
brojac=1;
N=size(MvelikaSVE,1);
num=MvelikaSVE(:,1);

for k=1:N
    inx=find(MmalaSVE==num(k));
    if isempty(inx)==1
        velikaBezMale(brojac,:)=MvelikaSVE(k,:);
        brojac=brojac+1;
    end
end

velikaBezMaleSort=sortrows(velikaBezMale,4);
velikaBezMale300=velikaBezMaleSort(1:300,:);

out=Mmala100;
out(101:400,:)=velikaBezMale300;

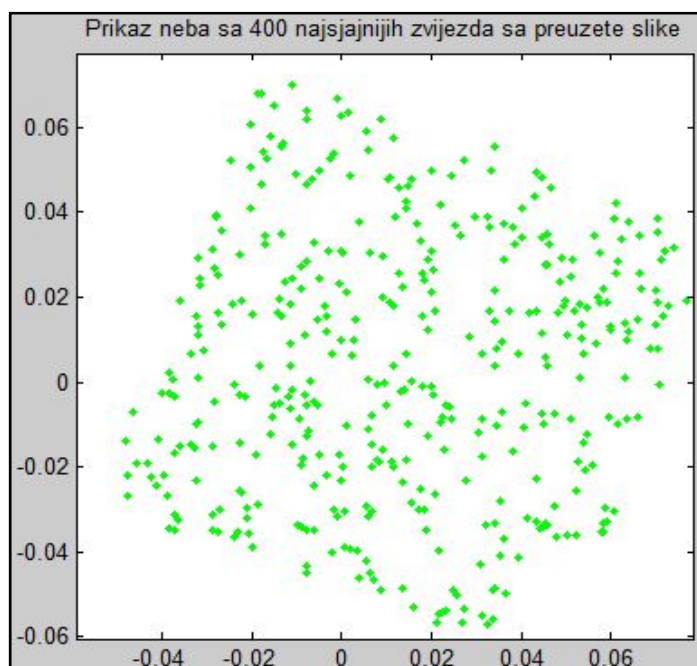
outM=sortrows(out,-4);

end
```

Slika 1.20 Isječak koda koji filtrira 400 najsjajnijih zvijezda unutar velike slike

Uključivanje 100 najsjajnijih zvijezda sa male slike lako se obavi jednostavno usporedbom koje zvijezde iz male slike su uhvaćene i u velikoj, a zatim sortiranje zvijezda u velikoj slici po magnitudi, i to prvih 300 i nakraju se samo doda 100 najsjajnijih iz male slike. Istu stvar sa nakrivljivanjem kadra radimo unošenjem kuta rotacije, te se naposljetku dobije nakrivljena slika neba oko zvijezde *Polaris* sa 400

najsajnijih zvijezda u velikom kadru Atlasa. Ovakvo dodatno nakrivljivanje i velikog kadra pospješuje „kompliciranje“ zadatka. Uspoređivanje dviju potpuno istih stvari zasigurno bi uznemirilo u uvodu spomenutu gospodu.



Slika 1.21 Prikaz Atlasa sa 400 najsjajnijih zvijezda u većem kadru

### 1.4.2. Parametrizacija unutar funkcije

Najvažnji dio unutar `MateaMain` je izvedba parametrizacije, budući takav postupak zahtjeva novu ideju parametrizacija se ostvaruje novom funkcijom `parametrizacija` čiji su ulazni parametri Mape koje sadrže glavna obilježja 100 odnosno 400 najsjajnijih zvijezda na odabranim slikama. Mapa se sastoji od 4 parametra : indeks zvijezde, x koordinata, y koordinata i mjera svjetline odnosno magnitude. Funkcija parametrizira mapu na način da za svaku zvijezdu stvara jedinstveni vektor koji ju opisuje u prostoru . Uzima se 10 najbližih susjednih zvijezda od referentne (početne) i te se zvijezde opisuju sa parametrima :

$[Z\_br, \{[r=a/b, \rho..]\}]$ , gdje opisnih parametara ima  $10 \times 9$  jer je zvijezdu potrebno opisati u odnosu na svih 10 okolnih susjednih zvijezda, odnosno njihovih udaljenosti i kutova koje zatvaraju.  $a$  i  $b$  predstavljaju krakove koje tvore dvije susjedne točke u odnosu na referentnu zvijezdu, a  $\rho$  je kut kojeg ti krakovi zatvaraju.

Pri mjerenju udaljenosti među zvijezdama koristili smo `euclidean` matricu, a zatim ju sortiramo i prebacimo u vektor `euclidean` kako bi nam svaki indeks retka predstavljao upravo broj zvijezde.

```
Mkordinata=[M(:,2) M(:,3)];
Veuklid=pdist(Mkordinata,'euclidean');%poslozi euklidske udaljenosti u
vektor
Meuklid=squareform(Veuklid);%prebaci vektor u matricu tako da element u
retku zapravo točka, a stupac udaljenost od druge točke
maxelem=size(Meuklid,2);%br redaka=br zvijezda
```

Slika 1.21. Isječak koda koji mjeri udaljenosti među zvijezdama

Zatim je potrebno odrediti kutove koje tvore susjedne zvijezde, za određivanje kutova ideja je mjerenja tangensa među krakovima, odnosno euklidskih udaljenosti, međutim tangens nije najbolje rješenje zbog njegove zrcaljenosti 1. i 3.kvadranta, te 2. i 4. Iz tog razloga za mjerenje kutova koristimo funkciju `atan2` kojoj je najmanji kut  $-180^\circ$ , a najveći  $180^\circ$ . Sortiramo 10 točaka prema kutovima koje tvore početna točka i odabrana susjeda među deset najbližih. Te dvije zvijezde za samo jedan opis zvijezde  $Z\_br$ , odnosno jednu matricu postaju referentni krak tj. početni krak od kojeg uvijek počinju mjerenja. Drugi krak se tvori na način da se zvijezda  $Z\_br$  spaja sa sjedećom od susjednih 10 zvijezdi. Ti krakovi su dakle  $a$  i  $b$ , krak  $a$  u programskom ostvarenju uvijek je veći od  $b$  kako bi odnos  $r$  zasigurno bio veći od 1. Okolne zvijezde se uzimaju ciklički iz liste od 10 najbližih susjeda. Među referentnim krakom i svakim sljedećim mjere se kutovi  $\rho$ . Te tako za jednu zvijezdu  $Z\_br$  imamo prvu matricu koja se sastoji od  $9 \times 2$  zapisa.

$$\begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & \rho_{11} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{19} & \cdots & \rho_{19} \end{bmatrix}$$

Sljedeća opisna matrica krenut će od drugog referentnog kraka, na način da će zvijezda  $Z_{br}$  sada biti spojena sa sljedećom najbližom susjedom, i tvoriti trojke za mjerenje na isti način kao što je to opisano za prethodnu iteraciju. U sljedećem koraku za zvijezdu  $Z_{br}$  dobije se matrica koja se također sastoji od  $9 \times 2$  zapisa.

$$\begin{bmatrix} r_{21} & \cdots & \rho_{21} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{29} & \cdots & \rho_{29} \end{bmatrix}$$

Za svaku zvijezdu postojat će 10 različitih početnih krakova, te iz toga proizlazi da sa svaku pojedinu zvijezdu postoji  $10 \times 2 \times 9$  zapisa.

Sve se sprema u strukturu  $S$  u kojoj je zapisan redni broj zvijezde  $i$  i opisna matrica  $M$  od  $10 \times 2 \times 9$  značajki po zvijezdi.

```

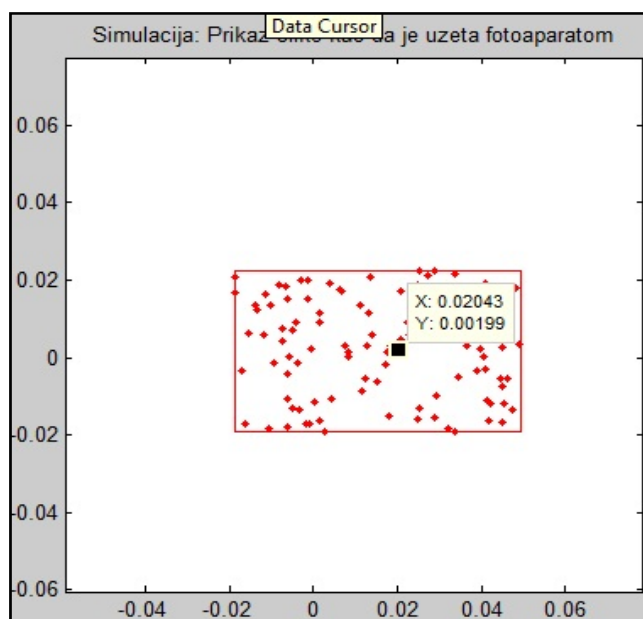
% pronaći koeficijente smjera sa atan2 funkcijom te vektor sortirati od
% najmanjeg kuta ka većemu
vectRBZvijezda=sortVeuklid10(:,1:2);%apsolutno ista matrica
% prolazak kroz sve parove točaka i određivanje kuta
for k2=1:1:10
dviijeTocke=[Mkordinata(k,:);Mkordinata(vectRBZvijezda(k2,:),:)];
nagib=atan2(dviijeTocke(2,2)-dviijeTocke(1,2),dviijeTocke(2,1)-dviijeTocke(1,1));
vectRBZvijezda(k2,3)=rad2deg(nagib);
end
% sortiranje 10 točaka prema kutu između početne točke(zvijezde) i
% promatrane točke(zvijezde- jedne od 10 okolnih najbližih)
% sort od najmanjeg kuta prema najvećem pri čemu je najmanji mogući kut
% -180 stupnjeva a najveći 180 stupnjeva (definicija atan2 funkcije)
vectRBZvijezdaSort=sortrows(vectRBZvijezda,3);%sad sortiramo po nagibu
%prije je bilo sortirano po euklidu
kutIr=[];
for k4=1:1:10
    for k3=1:1:9 %kruzim s fiksne linije i mijenjam kut
        kutIr(k3,2,k4)=abs(vectRBZvijezdaSort(k4,3)-
vectRBZvijezdaSort(mod(k3+(k4-1),10)+1,3)); %izbačen abs
        if(vectRBZvijezdaSort(k4,2)>=vectRBZvijezdaSort(mod(k3+(k4-1),10)+1,2))
kutIr(k3,1,k4)=vectRBZvijezdaSort(k4,2)/vectRBZvijezdaSort(mod(k3+(k4-1),10)+1,2);
        else
            kutIr(k3,1,k4)=vectRBZvijezdaSort(mod(k3+(k4-
1),10)+1,2)/vectRBZvijezdaSort(k4,2);
        end
    end
end
end
% kutIr;
S(k,1).brZ=M(k,1);
S(k,1).M3D=kutIr;
end

```

Slika 1.23. Isječak koda koji prikazuje kako se mjere kutovi među zvijezdama i na koji način se zapisuju opisni podaci u strukturu

### 1.4.3. Pronalazak zvijezde

Nakon što se završi sa parametrizacijom svih zvijezda u objema velikoj i maloj slici , te postoje svi potrebni opisni podaci ,prelazi se na identifikaciju zvijezda. U ovom programu to je izvedeno na način da se na maloj slici nudi kursor kojim možemo pokazati na odabranu zvijezdu te pokrenuti identifikaciju za nju. To bi značilo da se za odabranu zvijezdu izvršavaju usporedbe podataka koje se za nju pronađu u opisnoj strukturi male slike, sa opisnom strukturom zvijezda u velikoj slici. Takva usporedba za rezultat vraća ispis 90 opisnih podataka o zvijezdi, pronađenih u strukturi koja opisuje malu sliku , te usporedo opisne podatke za zvijezdu pronađenu u strukturi koja opisuje veliku sliku , sa jasnim indeksom zvijezde ,koji bi trebao navodit o kojoj točno je riječ.



Slika 1.24 Prikaz odabrane zvijezde na slici koja je „uzeta fotoaparatom“

```
Unesite kut rotacije pravokutnika:20
Unesite kut rotacije 2. pravokutnika:12
Odaberite zvijezdu i pritisnite neku tipku za nastavak

StarNumber =

    131

A =

    1.0006    35.2539    1.0006    35.2539
    1.0006    35.2539    1.0006    35.2539
    1.0095   166.9937    1.0095   166.9937
    1.0095   166.9937    1.0095   166.9937
    1.0203   226.8287    1.0203   133.1713
    1.0203   226.8287    1.0203   133.1713
    1.1174   138.8682    1.1174   138.8682
    1.1174   138.8682    1.1174   138.8682
    1.1250    49.0041    1.1250    49.0041
    1.1250    49.0041    1.1250    49.0041
    1.1276    97.8579    1.1276   262.1421
    1.1276    97.8579    1.1276   262.1421
```

Slika 1.25 prikaz prvih par rezultata za zvijezdu sa indeksom 131

## 2. Problemi pri izvedbi uparivanja zvijezda

### 2.1. Korištenje `atan2` funkcije

Problem koji se pojavljuje kod mjerenja kutova koje zatvaraju susjedne zvijezde unatoč prvotnoj ideji ne može se riješiti funkcijom tangensa zbog njegovog zrcaljenja u prvom i trećem, odnosno drugom i četvrtom kvadrantu. Tangens ne bi radio za sve kutove nakrivljenosti fotografije, odnosno pričamo li u praksi to bi značilo da bi smjeli slikati samo fotografije na nebu tako da kut nagiba fotoaparata bude između  $0^\circ$  i  $180^\circ$ .

### 2.2. Uvođenje `IsInRectangleInf`

Budući da provjera točaka unutar pravokutnika nije bila izvediva funkcijom `IsInRectangle` za slučaj kada je pravokutnik nagnut za  $0^\circ$  odnosno  $90^\circ$ , uvedena je nova funkcija koja na sličan način provjerava da li je točka unutar pravokutnika, što više potrebno je manje slučajeva, pošto uvijek točno znamo koja nam je početna točka.

### 2.3. Uvođenje `Filter400` funkcije

`Filter400` je funkcija koja se morala uvesti kako bi se izoliralo 400 najsjajnijih zvijezda iz velikog kadra i to na način da zadovoljavaju uvjet sadržavanja onih zvijezda od 100 najsjajnijih sa male slike, koje se također nalaze u velikom kadru. Dakle, sve zvijezde koje se nalaze u objema maloj slici sortiranoj po 100 najsjajnijih i u velikom kadru, također trebaju biti unutar 400 zvijezda koje se izoliraju iz velikog kadra.

### 3. Uparivanje zvijezda metodom „pogodaka“

Sljedeći algoritam zasnovan je na istoj ideji, te srž stvari provodi na jako sličan način bez mnogo promjena. Međutim, u određenim fazama provedbe, dodatno pojednostavljuje, odnosno komplicira stvari zbog uspješnosti algoritma.

#### 3.1. Osnovne razlike

Za početak navedimo da će se drugi algoritam provoditi na području *M11* klastera zvijezda, ponovno obuhvaćajući 240 kutnih minuta područja naokolo, uključujući pri tome zvijezde do magnitude 11. U ovom slučaju učitava se puno veći broj zvijezda, zapravo i više od 10 puta negoli oko *Polarisa*. U velikom kadru neba učitat će se od svih zvijezda kojima se raspolaze u ovoj funkciji, samo 30 najsjajnijih zvijezda i to na način da se odredi granica maksimalne udaljenosti od centralne zvijezde u ovom kadru oko *M11*. Ponovno se sakupljaju opisni podaci o svakoj zvijezdi i njezinih 10 najbližih susjednih zvijezda, no na malo drugačiji i jednostavniji način. Ovaj put se koriste isključivo vektori koje po dvije zvijezde tvore te se mjere razlike vektora, i kutovi koje oni tvore. Takav zapis postaje nova opisna marica za svaku svijetlu zvijezdu iz kataloga zvijezda oko *M11*.

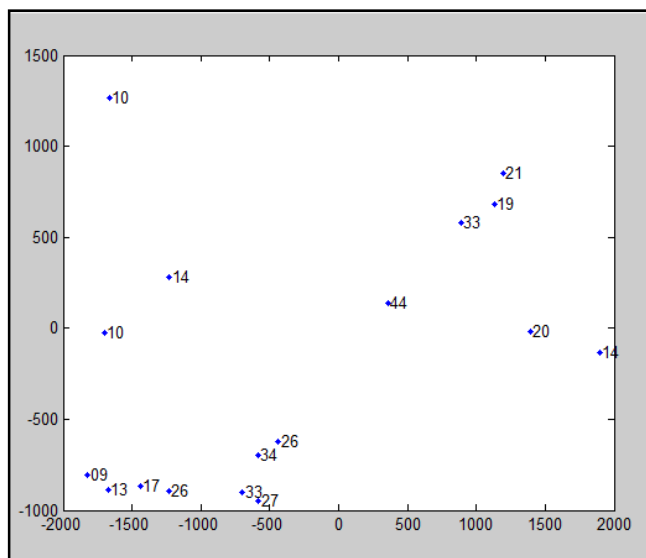
Nakon što se završi sa opisom sjajnih zvijezda, sintetizira se manja slika na način da se oko centra kadra radi pravokutnik unutar kojeg se obilježavaju također svijetle zvijezde.

Unutar manje slike dodaju se perturbacije po svim parametrima, pozicijama, magnitudi, te kutu nakrivljenosti, odnosno rotira se cijela slika oko centra. Potom se određuje broj najsjajnijih zvijezda koje će se izolirati na ovoj slici na osnovu omjera površina cjelokupnog učitano kataloga i površine pravokutnika koji sintetizira sliku. Sve sjajne zvijezde na slici ,također se opisuju u odnosu na 10 susjednih najbližih zvijezda, na isti način kao i na velikoj slici.

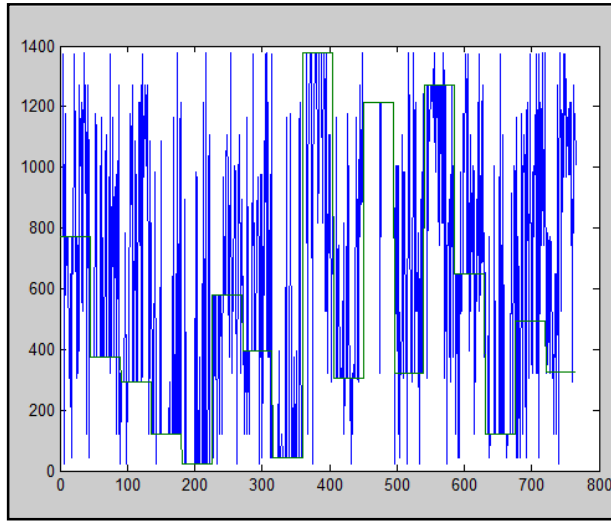


## 3.2. Prebrojavanje pogodaka

Usporedba trojki na maloj slici i trojki koji opisuju sjajne zvijezde iz kataloga radi se na način da se logaritamski uspoređuju omjeri vektora, i oduzimaju kutovi. Takvi zapisi se pomnože kako bi se ponovno dobio vektor te se upisuju kao vektor koji sadrži podatke o udaljenosti odnosno sličnosti uspoređenih trojki. Potop se podaci u udaljenosti sortiraju ,odnosno minimiziraju. Da bi se vidjelo da li su usporedbe onih trojki koje su prema opisanim podacima jako slične, doista istinite, prebrojavaju se pogodci za svaku trojku na način da se uspoređuju indeksi zvijezda koji se nisu mijenjali niti za zvijezde u manjoj slici. Ako se indeksi svijuju tri zvijezda u uspoređivanim trojkama podudaraju, to povlači „pogodak“. Sumiraju se svi pogodci za centralnu zvijezdu trojke i dobivamo prikaz koji predstavlja broj pogodaka za svaku zvijezdu na slici, te usporedbu identificiranih indeksa za centralnu zvijezdu za sve trojke.

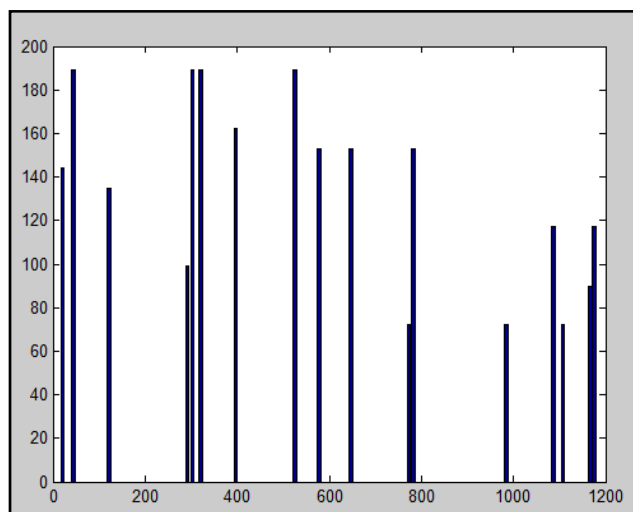


Slika 3.1 Prikaz broja pogodaka pored svaku zvijezde na slici



**Slika 3.2** Usporedba identificiranih indeksa za centralnu zvijezdu za sve trojke, plavo su vrijednosti centralne zvijezde za sve trojke, zeleno vrijednost točne trojke

Proširenje algoritma dolazi u sljedećim redovima koda , koje donosi nove ideje za prebrojavanje najboljih zvijezda na slici. Naime, zbog zvijezda koje se nalaze na rubovima slike i čiji susjedi zasigurno nisu isti kao na velikom kadru, došlo se na ideju da se ne prebrajaju samo trojke u kojima je određena zvijezda centralna , nego se svaka zvijezda prebroji koliko puta se pojavila na bilo kojoj poziciji trojki s kojima je uspoređivana i utvrđena kao bliska, tj. slična. Kada se pozbrajaju sva pojavljivanja određene zvijezde na pozicijama u trojci , prikaže se broj zvijezde u ovisnosti o pojavljivanju iste.



**Slika 3.3 prikaz ukupnog broja pojavljivanja određene zvijezde na bilo kojoj poziciji u trojki**

Na ovakav način smanjuje se uvjetovanje točnosti podataka ulazne slike, odnosno slike koja će se identificirati i uspoređivati sa katalogom, a rezultatima mjerenja pokazuje se da nije narušena točnost.

## Zaključak

U ovom radu su istražene metode uparivanja i identificiranja zvijezda na slici, sa zvijezdama unutar kataloga s ciljem određivanja stava i pogleda kamere.

Izveden je algoritam uparivanja koji je uvjetovan visokom točnošću ulaznih podataka, jako malim smetnjama, isproban na primjeru regije 700 zvijezda oko *Polarisa*, a kao rezultat dobivena su mjerenja sa potpunom jednakosti, uz neke redundantne rezultate. Ova mjerenja obavljena su na velikom broju podataka.

Nakon toga u poglavlju 3 radilo se sa algoritmom pogodaka, koji se koristio drugim ulaznim podacima, točnije regiju oko *M11* klastera zvijezda. Tu se radio opis dvaju metoda. Metoda identifikacije zvijezda na osnovu pogodaka zvijezde, kada se uračunavaju samo pogodci za zvijezdu kada se ona nalazi na istoj poziciji u trojci na slici kao i u trojci u katalogu. Te druga koja prebrojava sva pojavljivanja zvijezde unutar trojke. Druga metoda, manje intuitivna osmišljena je kako bi algoritam funkcionirao bolje za zvijezde koje se nalaze na rubovima slike.

Ova mjerenja provedena su na manjem broju podataka.

Potpis:

## Sažetak

U ovom radu se istražuju algoritmi identifikacije zvijezda iz slike sa onima iz kataloga u svrhu određivanja stava i pogleda kamere , odnosno teleskopa u svemir.

Najprije je izvedena najjednostavnija ideja za uparivanje zvijezda na osnovu usporedbe trokuta koje tvore susjedne zvijezde, te glavna ideja usporedbe tangensa trokuta koji ujedno opisuju i katete i kut. Prvi algoritam koristi metodu direktnog uspoređivanja zvijezde iz slike sa zvijezdom iz kataloga na osnovu opisnih podataka. Dok drugi algoritam uspoređuje trojke iz slike sa svim trojkama iz kataloga , te zapisuje najviša pojavljivanja određene zvijezde na određenoj poziciji u trokutu.

### **Ključne riječi:**

Trokuti zvijezda, uparivanje, magnituda, indeks zvijezde,  $\text{atan2}$  funkcija, prebrojavanje pogodaka, katalog zvijezda, *Polaris*, *M11*

## Literatura

1. Thompson Bruce, Robert ; Thompson Fritchman, Barbara; „Astronomy Hacks“ , O'Reilly, Lipanj 2005.
2. Ridpath, Ian, „Stars and Planets“, A Dorling Kindersley Book, Velika Britanija, 2010.
3. Vizier catalogs, *Tycho2*,s interneta <http://vizier.u-strasbg.fr/cgi-bin/VizieR>, 2006.
4. Šnajder, Boris; Živko, Davor; „Identifikacija sazviježđa“, s interneta [www.fer.hr](http://www.fer.hr)
5. Lončarić, Sven, „05-DOAS Obnavljanje Slike“, s interneta <http://ipg.zesoi.fer.hr>