

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

ZAVRŠNI RAD br. 1242

**OBJEKTIVNO VREDNOVANJE KVALITETE  
ASTRONOMSKE SLIKE ESTIMACIJOM  
FUNKCIJE ŠIRENJA TOČKASTIH IZVORA**

Ivan Kaurić

Zagreb, lipanj 2010.  
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU



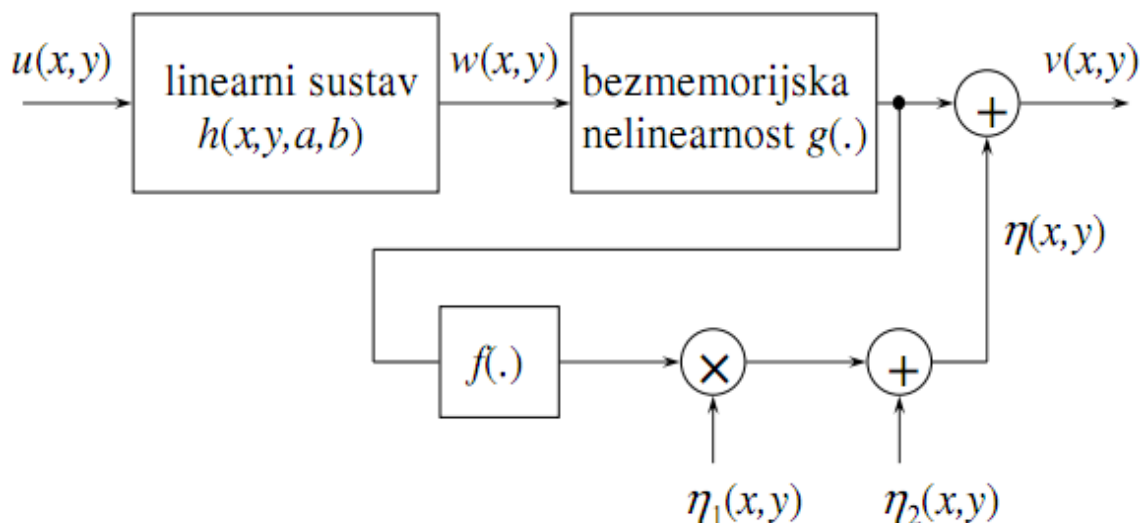
# Sadržaj

1.Uvod.....	1
2.Postupak.....	3
3.Evaluacija postupka.....	7
4.Pojmovi.....	12
4.1.Kratki pregled povijesti astronomskih fotografija.....	12
4.2.Fotografiranje astronomskih objekata.....	14
4.3.Oštrina slike.....	15
4.4.Atmosferske prilike.....	16
4.5.CCD senzori.....	17
4.6.Funkcija širenja točkastih izvora.....	18
4.7.Gnomonska projekcija.....	19
4.8.Kovarijancijska matrica.....	20
4.9.Gaussova krivulja.....	22
5.Zaključak.....	25
6.Literatura.....	26
7.Sažetak.....	27
8.Abstract.....	28

# 1. Uvod

Fotografija nekog objekta nastaje detektiranjem svjetlosti koje taj predmet odbija(zrači). Kvaliteta fotografije ovisi o sustavu kojeg čine objekt, promatrač i medij kojim svjetlost putuje. Za kvalitetniju sliku potreban nam je kvalitetan fotoaparat čija svojstva će biti prilagođena objektu kojeg snimamo te sustav koji će omogućiti nesmetan put svjetlosti od samog objekta do senzora fotoaparata.

Razvoj multimedije, i tehnologije općenito, doveo je do eksponencijalnog porasta broja fotoaprata, a samim time i fotografija. U svakodnevnom životu nije nam toliko važna kvaliteta fotografija i spremni smo se zadovoljiti s određenim subjektivnim procjenama, nažalost to ne vrijedi za fotografije koje nam služe za razne specijalizirane namjene. Poseban su problem fotografije snimane za razne znanstvene potrebe, potrebna nam je kvalitetna fotografije kako bi je mogli poslje obrađivati. Zadnjih godina bilježi se veliki napredak u obradi signala, niz znanstvenih područja ovisi upravo o obradi raznih fotografija. Bez kvalitetne fotografije odnosno sustava fotografiranja nije moguća daljnja manipulacija podacima, poseban se problem javlja kod mikroskopskih i teleskopskih fotografija jer je potrebno paziti i na kvalitetu optike mikroskopa odnosno teleskopa. Iako se u ovome radu obrađuju fotografije zvijezdi, teleskop nije uključen u sustav nego se radi o direktnom fotografiranju neba fotoapratom.



Slika 1 - piksel  $v$  je detektirana vrijednost piksela  $u$ , sustav unosi šum u sliku

Tri su osnovne sastavnice sustava fotografiju zvijezdi; objekt, fotoaprat(senzor) te medij kojim putuje svjetlost. Senzori i medij(atmosfera i leća) unose šumove u fotografiju. Na fotografiji se mogu vidjeti samo objekti koji nisu prikriveni nekim drugim objektom, to je nužan, ali ne i dovoljan uvjet da bi neki objekt bio prikazan na fotografiji.

Fotoaprat odnosno senzori unose šum u fotografiju jer ne mogu detektirati svu svjetlost koja upada na senzore, postoji minimum i maksimum kojeg detektiraju senzori[6]. Dodatan problem kod fotografija s duljom ekspozicijom jest što dolazi do pregrijavanja senzora koje je potrebno hladiti ukoliko želimo izbjeći šum. Najveći problem u astronomskim fotografijama stvara atmosfera (osvjetljenje, temperatura i vlaga) koja dodaje šum jer onemogućuju nesmetan prolazak zrake svjetlosti odnosno dolazi do loma prilikom prelaska između slojeve atmosfere razne gustoće. Osim svih tih problema javlja se projekcijska pogreška, položaj objekata na fotografiji ne odgovara onima u stvarnosti jer je fotografiranje neba zapravo gnomonska projekcija te se gubi informacija o udaljenosti. Problemi fotografiranja velikog djela neba odnosno uzimanja u obzir velikog kuta slični su fotografiranju sa širokokutnom kamerom(za računalni vid) gdje se također rubni djelovi slika izobličuju te je potrebna daljnja obrada slike kako bi mogli koristiti podatke iz fotografija[7].

Svi nabrojani faktori negativno utječu na kvalitetu fotografije te je često čine neupotrebljivom za daljnju obradu, srećom poznavajući načine kako i zašto nastaju šumovi možemo doći do originalne slike(dekonvolucija, ostali algoritmi). Postoji niz programskih paketa koji se bave obradom astronomskim fotografijama, ali s obzirom na brzi razvoj tehnika obrade slika svakodnevno se razvijaju nova rješenja. U radu opisujem metodu objektivnog vrednovanja kvalitete astronomske slike estimacijom funkcije širenja točkastih izvora, predstavljam programsko rješenje te evaluaciju sustava u Matlabu. Rad se nastavlja na programski sustav za rekonstrukciju astronomskih fotografija autora prof.dr.sc. Davora Petrinovića<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Prof.dr.sc. Davor Petrinović izvanredni je profesor na Fakultetu elektrotehnike i računarstva, Zagrebačko sveučilište

## 2. Postupak

U ovome poglavlju detaljno je opisana metoda objektivnog vrednovanja kvalitete astronomske slike estimacijom funkcije širenja točkastih izvora, metoda rješava samo dio prethodno opisanih problema takoda ću ukratko opisati i kako je riješen ostatak problema prema postupku prof.dr.sc. Petrinovića.

Prvi korak pri rekonstrukciji jest pronaći i ručno obilježiti određeni broj najsjajnijih zvijezdi na fotografiji, zatim prema dostupnim i provjerenim bazama zvijezdi konstruiramo datoteku koja će imati podatke o stvarnoj poziciji tih zvijezdi. Program će na temelju datoteke s koordinatama i ručno označenih zvijezdi pronaći i ostale objekte na slici te povezati pronađene objekte s datotekom koja sadrži koordinate zvijezdi na nebu. Na temelju svih tih podataka, konstruira se nova matrica s podacima o poziciji zvijezdi na fotografiji i njihovih pravih koordinata na nebu, matricu ćemo iskoristiti za daljni postupak. Prethodni postupak nećemo pobliže opisivati jer nije u interesu ovoga rada.

Sljedeća faza u rekonstrukciji slike jest upravo ona kojom se bavim u ovome radu, svaka od zvijezda je pomaknuta od svoje prave pozicije na nebu, uz to, nijedna od zvijezdi nije potpuno oštra nego je razmućena zbog svih šumova koji su se dogodili prilikom fotografiranja(atmosfera, kretanje, fotoaparat). S obzirom na udaljenost zvijezdi od promatrača možemo ih promatrati kao točke, sukladno tome zvijezde bi također trebale biti točke na fotografiji što nije slučaj. Sam način razmazivanja svjetlosti zvijezde opisujemo funkcijom širenja točkastih izvora.(eng. point spread function, PSF). Najbolji način za opisivanje PSF-a jest Gaussova funkcija, na temelju empirijskih podataka odnosno djela fotografije odredit ćemo Gaussovu funkciju kojoj odgovara PSF pojedine zvijezde. Šum nije linearan te se mjenj u prostoru tako da je potrebno za svaku zvijezdu posebno estimirati PSF. Prije samog opisa postupka potrebno je naglasiti da postoji mogućnost da neka od zvijezdi slabijeg sjaja može biti nepovratno izgubljena jer je sjajnija zvijezda 'prelila' svoj u svjetlost na piksele koje 'pripadaju' slabijoj zvijezdi. Ne postoji nijedan postupak kako povratiti informaciju o tako zagušenoj zvijezdi. Slučaj je dosta čest kod binarnih zvijezdi(slika 2) koje će nam stvarati poseban problem u našoj rekonstrukciji jer će često dolaziti do preklapanja njihovog sjaja, postojat će zajednički pikseli koji primaju svjetlost s obje zvijezde.



*Slika 2 - binarne zvijezde*

Sam postupak se sastoji od pronalaska regije u kojoj se nalazi zvijezda tako da se centrira stvarna pozicija zvijezde. Obilazak zvijezdi se kreće od najsjajnije do one s najmanjih sjajem, to će biti korisna informacije jer ćemo u slučaju da su dvije ili više zvijezdi blizu obrađivati onu koju nismo već obradili, a ima najveći sjaj. Promatramo kvadrat od 11x11 piksela; prebrojavamo koliko piksela u toj regiji ima vrijednost nula, ukoliko je taj udio veći od 60% onda ćemo odbaciti zvijezdu jer nemamo dovoljno podataka na temelju kojih možemo estimirati PSF. Taj slučaj će se pojaviti ako je promatrana zvijezda na rubu fotografije jer nam tada nedostaju informacije o pikselima (prethodno smo takve piksele popunili nulama). Regiju koju ima dovoljno pozitivnih vrijednosti ćemo dalje obrađivati, za početak ćemo sve nule zamjeniti srednjom vrijednošću pozitivnih piksela u toj regiji. Piksele interpoliramo s faktorom 8.

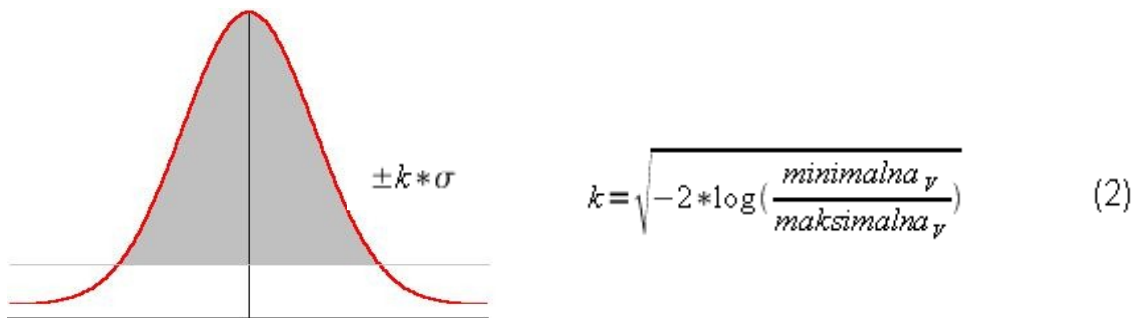
Zvijezdu unutar regije ćemo tražiti kroz 2 prolaska, u prvom prolasku tražit ćemo regiju unutar uskog područja gdje je vrijednost piksela puno veća od srednje vrijednosti regije, a u drugom prolasku ćemo ograničiti pretragu na sve piksele s vrijednosti većom od srednje vrijednosti. Susjedne zvijezde ćemo tražiti unutar područja od 10 piksela što znači da se pretražuju i susjedne zvijezde koje ne pripadaju samoj regiji jer se njihovo područje može preljevati i preko regije koju pretražujemo. Ukoliko ne pronađemo susjednu zvijezdu onda ćemo sve točke unutar kvadrata promatrati kao da pripadaju zvijezdi čija je očekivana pozicija u središtu kvadrata.

Prije estimiranja Gaussove funkcije potrebno je odrediti prag na temelju kojeg ćemo uzimati piksele, ukoliko bi taj prag bio maksimalan onda bismo uzeli samo najsjajniji piksel, a ukoliko je prag minimalan uzeli bi sve piksele veće od srednje vrijednosti što bi uključivalo i niz lokalnih maksimuma, oba izbora bi dovela do lošeg modela. Kako bi izbjegli taj problem estimirati ćemo modele za pragove s koeficijentima od  $p=0.25$  i  $p=0.33$ , time ćemo obuhvatiti regije koje nisu niti preuske niti preobuhvatne za estimaciju. Koeficijent praga će nam poslužiti da izračunamo pravu vrijednost praga, pronaći ćemo maksimum regije ( $maks$ ) te srednju vrijednost regije ( $med$ ) te izračunati prag pomoću formule;

$$prag = med + (maks - med) * p \quad (1)$$

Koristeći gornju formulu za izračunavanje praga nećemo dobiti idealne rezultate jer će u slučaju bliskih zvijezdi postojati poručja koja zadoovljavaju prag, ali ne pripadaju području kojeg tražimo. Pretpostavka je da će maksimum regije pripadati upravo zvijezdi

čije područje određujemo tako da ćemo morfološki odrediti rubove područja oko maksimuma i tako izbaciti iz proračune one piksele koji ne pripadaju traženoj regiji. Nakon što smo odredili regiju izdvojiti ćemo koordinate svih piksela unutar te regije, naravno izbaciti ćemo one koji su ispod praga.



Slika 3 - Gaussova raspodjela

Nakon toga smo uspješno odredili koji pikseli pripadaju traženoj regiji, prije same estimacije još ćemo odrediti koliko područje je zahvaćeno unutar definiranog dijela ulaznih podataka. Izraziti ćemo to područje preko koeficijenta  $k$  gdje vrijedi formula 2,  $\text{minimalna}_v$  i  $\text{maksimalna}_v$  su najmanja i najveća vrijednost koju smo uzeli u obzir za estimaciju. Na temelju koordinata izdvojenih piksela estimirati ćemo parametarski model Gaussove funkcije, estimirati ćemo vektor od 5 parametara, sljedeći objašnjenje vektora za korelirani i dekorrelirani model;

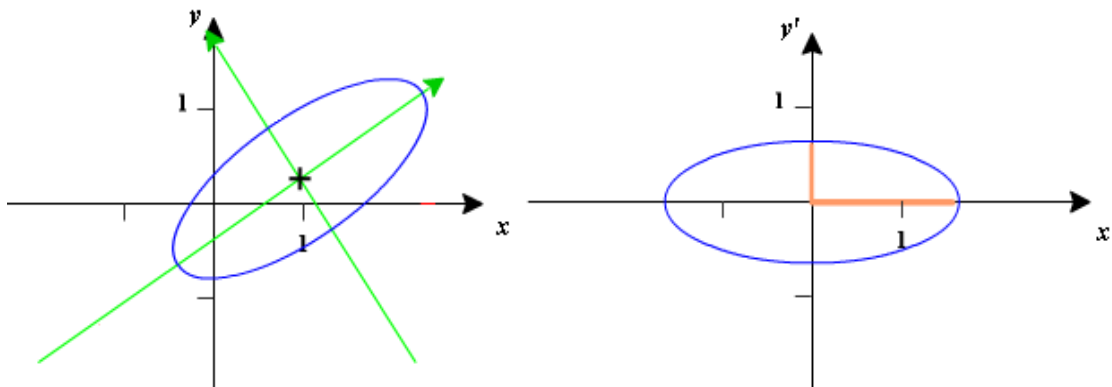


$$\text{korelirani model} = [\sigma_1 \quad \sigma_2 \quad \rho \quad x_0 \quad y_0]$$

$$\text{dekorelirani model} = [\Delta_1 \quad \Delta_2 \quad 0 \quad x_0 \quad y_0]$$

$\sigma_1$  – standardna devijacija po prvoj osi  
 $\sigma_2$  – standardna devijacija po drugoj osi  
 $\rho$  – faktor korelacije prve i druge osi  
 $\Delta_1$  – standardna devijacija glavne dekorelirane osi  
 $\Delta_2$  – standardna devijacija pomoćne dekorelirane osi  
 $x_0$  – sredina po x osi  
 $y_0$  – sredina po y osi

Dobiveni model je koreliran pa ćemo odredit kovarijancijsku matricu i na temelju nje odrediti dekorelirani model.



Slika 4 - lijevo korelirani, desno dekorelirano model

Cilj estimacije je odabrati točke u kontinuiranom prostoru vrijednosti tako da pružaju optimalne rezultate. Optimalni estimator je računalni algoritam koji estimira veličinu od interesa obrađujući dostupna mjerenja(koordinate i vrijednosti piksela regije) i optimirajući određeni kriterij[5]. Za samu estimaciju koristimo pomoćne funkcije koje na temelju podataka pokušavaju pronaći optimalne parametre, to je najbolji način kao iskoristiti sve informacije o sustavu koje smo dobili u prethodnim postupcima. Nedostatak

postupka je relativno velika računaska složenost, no to nam nije toliko bitna za ovu aplikaciju. Nakon što smo odredili parametre izračunat ćemo inicijalni model samo za uzorke iznad praga te ćemo na temelju svih tih podataka napraviti korekciju skale. S obzirom da radimo dvoprolazni postupak, iskoristiti ćemo tako dobiveni model te ćemo odrediti novo područje pretraživanja i nakon drugog prolaska dobiti poboljšani model. Model će biti točniji jer ne moramo više paziti na šum odnosno možemo uzeti šire područje pomoću kojeg ćemo estimirati precizniji model. Proći ćemo kroz analogan postupak prvom prolasku, ali s koeficijentom praga  $p=0.33$  te ćemo koristiti područje cijele regije za estimaciju. U poglavlju evaluacija postupka dan je prikaz kako izgleda softversko ostvarenje postupka.

### 3. Evaluacija postupka

Programsko rješenje razvijeno je u Matlabu, sljedi kratak prikaz evaluacije postupka i programskog rješenja. Na ulaznoj slici(slika 5) odredimo ručno najsjanije zvijezde, zatim program na temelju baze te izabranih zvijezdi odredi pozicije ostalih zvijezdi(uzima samo do određene vidljivosti, 87 zvijezdi za konkretnu sliku). Na slici 6 je prikazan izlaz programa, žuti okvir označuje odabrano područje (zbog interpolacije se ne koriste svi podaci), a prepoznate zvijezde su obilježene zelenim točkama.

*Podaci o fotografiji:*

*Drivenik, Vindol, HR, 20.8.2009. 22:54:00, lat:45°14'26.0"N, lon:14°39'07.5"E, h: 118m*

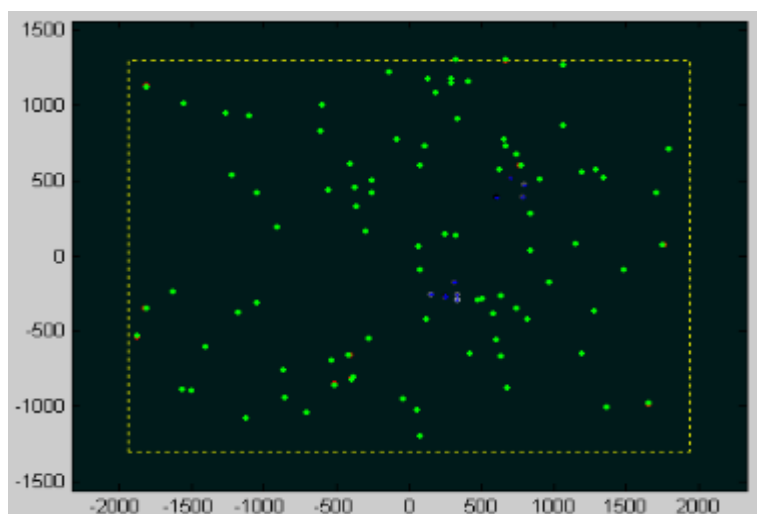
*Canon EOS 400D, Rezolucija 3888x2592, Žarišna duljina 200mm*

*Obuvačeni dio; hori. 06°:20':00.50" / vert. 04°:19':29.6", center tilt: -20°S41':30.6"*

*6.01"/pix horizontalno- 6.01"/pix vertikalno, srednja pogreška=1.9pix, maks. greška 4.3pix*

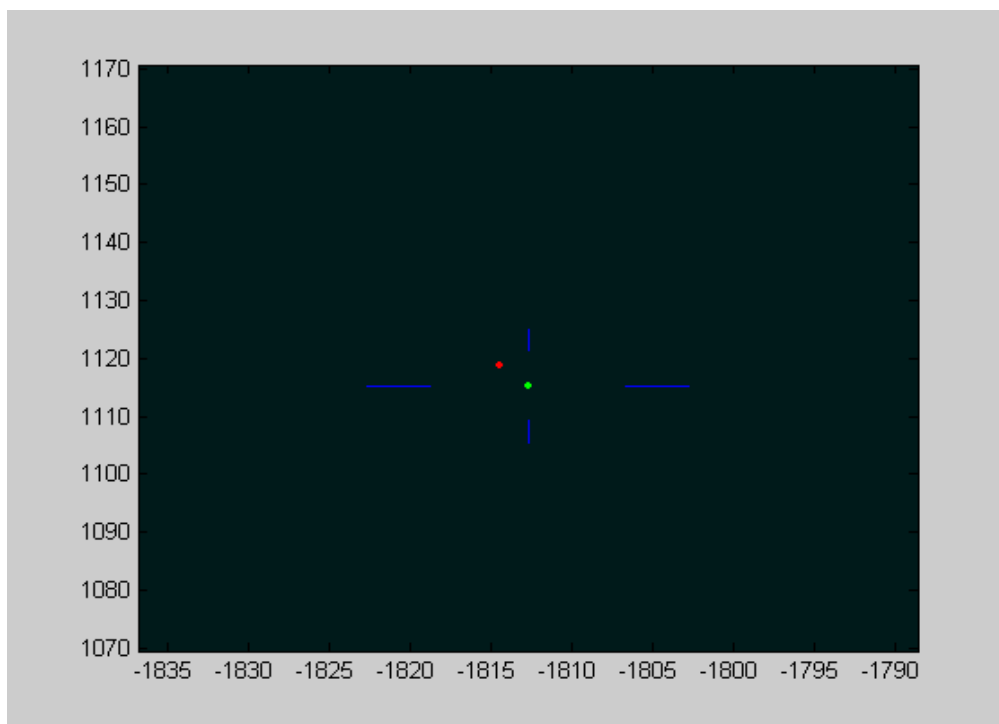


*Slika 5 - ulazna fotografija*

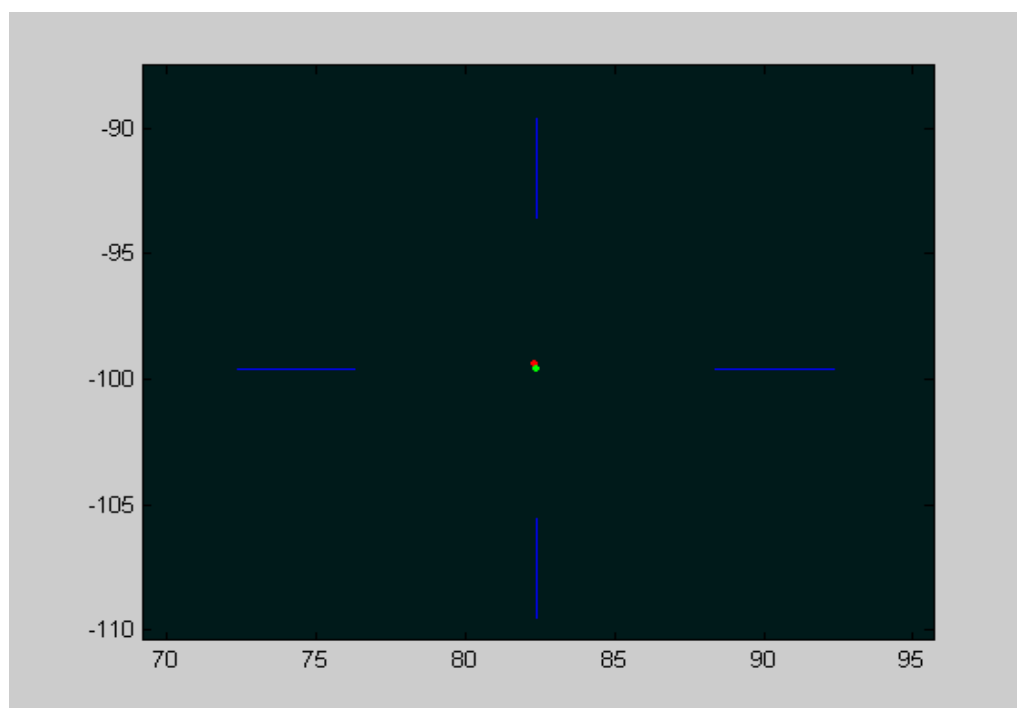


*Slika 6 - izlazna slika s označenim zvijezdama*

Na slici 7 i slici 8 se vidi pogreška gnomonske projekcije na fotografiju, na slici 7 je razlika između zelene(stvarne pozicije) i crvne(projecirane pozicije) točke mala jer je zvijezda blizu centra fotografije te je samim time najbolje očuvana udaljenost. Slika 8 prikazuje zvijezdu u kutu same fotografije tako da je pogreška puno veća.



*Slika 7 - zvijezda pri rubu fotografije*

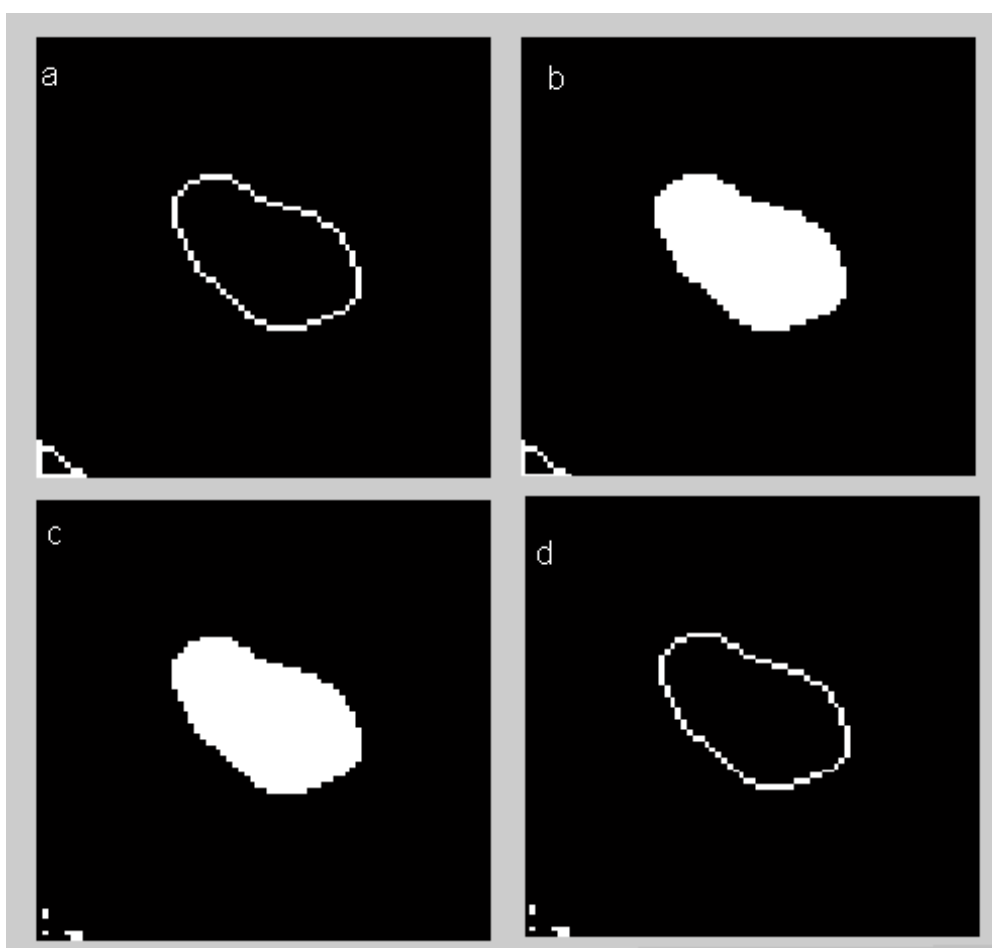


*Slika 8 - zvijezda blizu centra fotografije*

Dosadašnji dio evaluacije je bitan za ovaj rad, ali se bavi postupkom koji nije predmet ovog rada, u nastavku sljedi par slika koje prikazuju razvijeno rješenja.

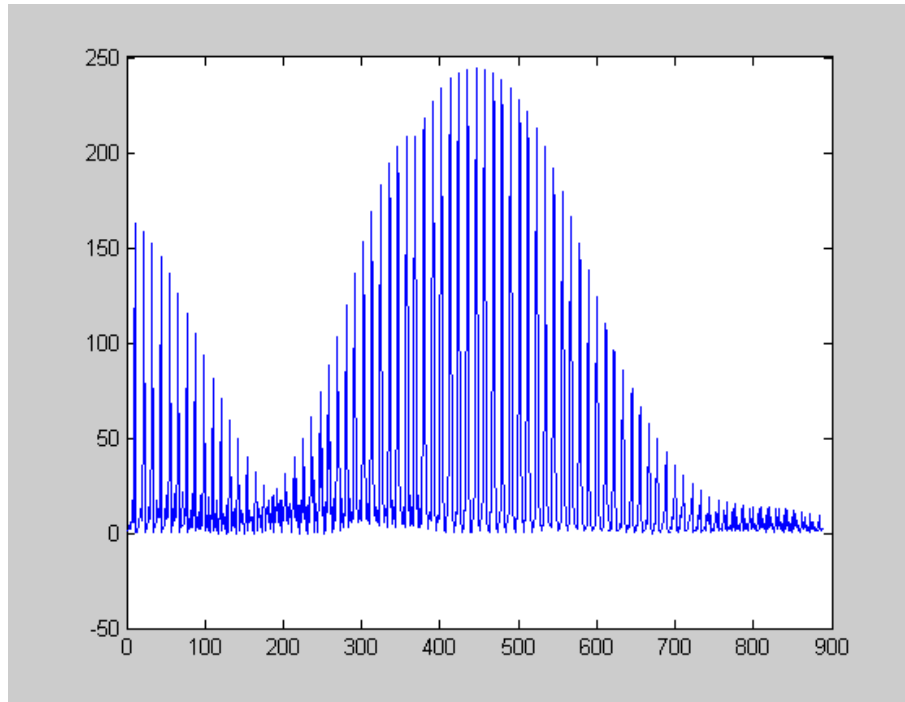


*Slika 9 - regija 11x11 s centrom zvijezde*

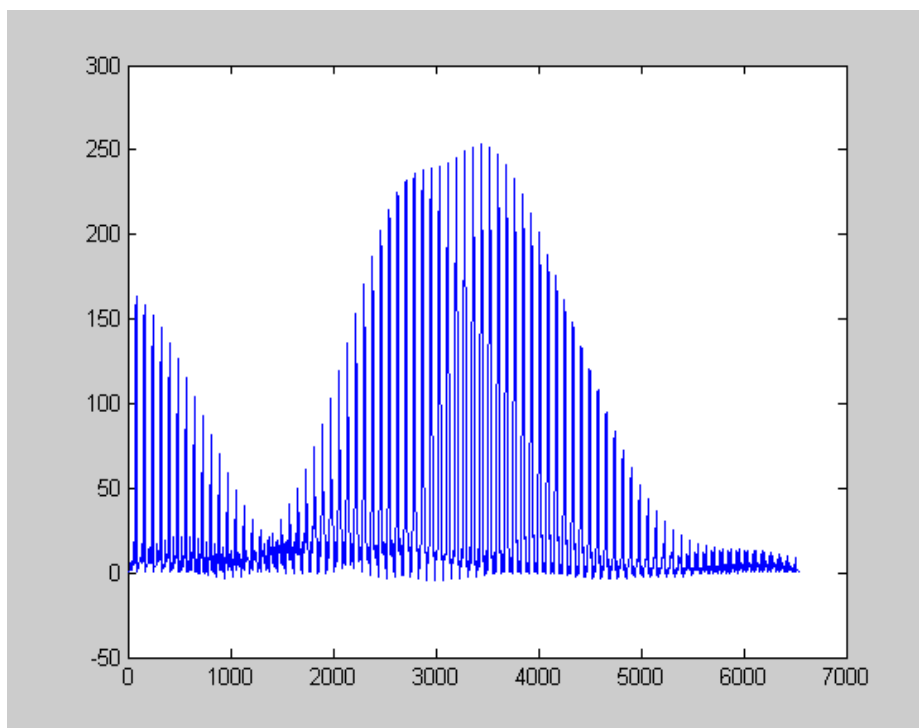


*Slika 10 - a) pronalazak rubova regija , b) ispunjavanje regije zvijezde koju ispitujemo, c) odbacivanje piksela drugih regija, d) pronalazak ruba zvijezde*

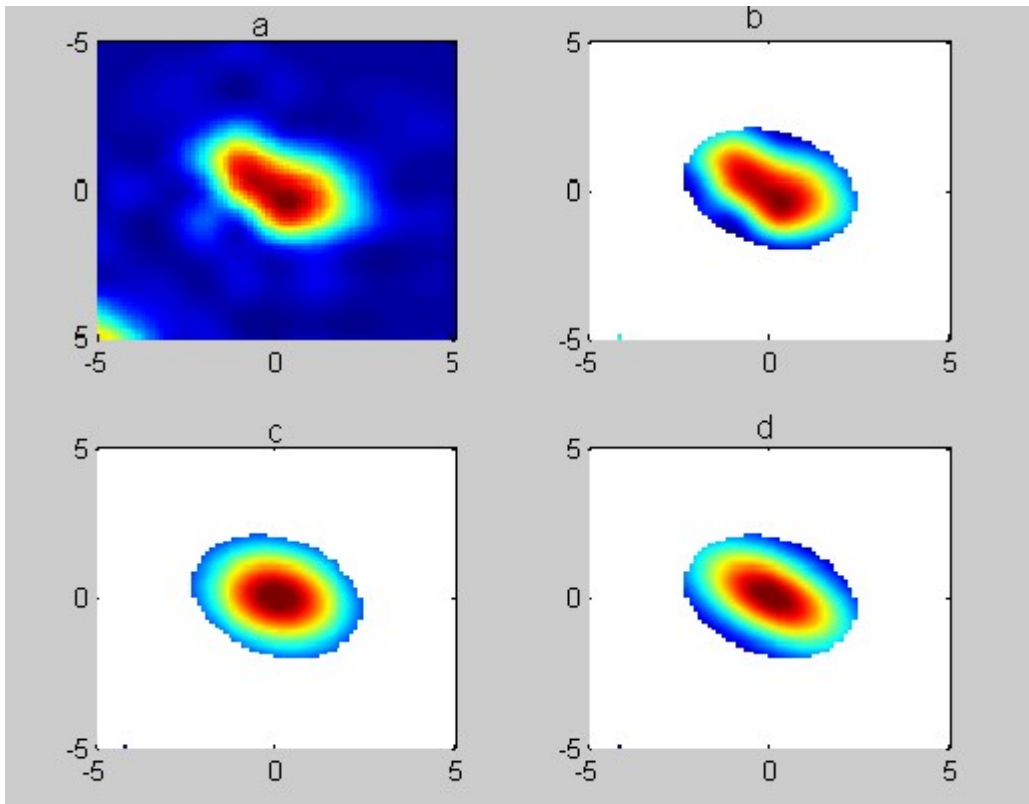
Model se prvo interpolira po retcima(slika 11) pa po stupcima(slika 12), iz slika je očita opravdanost modeliranja Gaussovom funkcijom. Regija koju interpoliramo uključuje i piskele koji ne pripadaju zvijezdi kojoj određujemo PSF te se zato na slikama 11 i 12 lijevo javlja vrijednost(brijeg) koju ćemo poslje izbaciti.



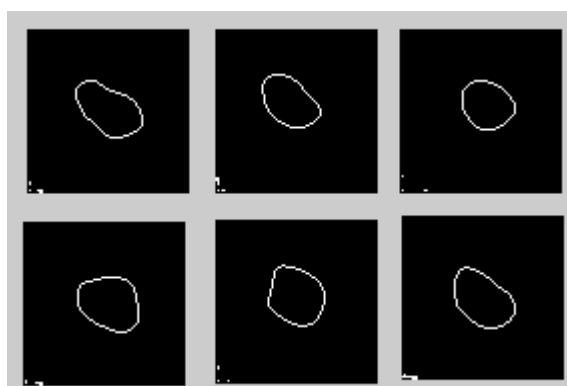
*Slika 11 - interpolacija regije po retcima*



*Slika 12 – interpolacija regije po stupcima*



Slika 13 - a) promatrana regija 11x11, b) odabrano područje, c) inicijalni model d) optimalni model PSF-a



Slika 14 - razni oblici za estimiranje

Rezultati postupka su dovoljno dobri za razne oblike PSF-a, na slici 14 dan je prikaz 6 različitih oblika koje je algoritam bez problema odredio. U donjem lijevom kutu možemo vidjeti par označenih piksela koji ne pripadaju zvijezdi, ali unatoč tome model možemo smatrati dovoljno dobrim. Evaluacija je pokazala opravdanost postupka.



## 4. Pojmovi

U sljedećim je poglavljima dan kratak pregled pojmova koji su bitni za ovaj rad, izložena je motivacija, opravdanost i objašnjenje za neke od koraka objašnjenih u postupku.

### 4.1. Kratki pregled povijesti astronomskih fotografija

Ljudi su se oduvijek orjentirali se prema zvijezdama, tako da su već prve civilizacije uvele podjelu vremena prema kretanju svemirskih tijela, stari astronomi su bili sposobni prepoznavati i složenije cikluse. Sjetve i razne svečanosti planirale su se na temelju položaja zvijezda, a putovanje morem bilo je moguće samo tokom vedrog neba jer bi inače pomorci bili izgubljeni bez ikakve točke orjentiranja.

Tisućljećima su se ljudi promatrali samo golim okom, sve dok 1609. godine Galileo nije započeo pravu revoluciju kada je usmjerio svoj teleskop u nebo i ustvrdio da svemir nije samo zagonetniji od onoga što pretpostavljamo, već je zagonetniji i od onoga što uopće možemo pretpostaviti. Galileo nije razvio teleskop iz ničega, koristio je znanja nizozemskih znanstvenika, a mnogi spominju i danas relativno nepoznatog Rabljanina Marka Antonija de Dominisa<sup>2</sup> kao prethodnika Galilea.

Astrofotografije se počinju razvijati odmah paralelno s fotografijom, do 19. stoljeća nije ni postojao primjer tako brze primjene novih tehnologija u znanosti. Zvijezde su se do pojave fotografije mapirale rukom, prve zapise susrećemo već kod prvih civilizacija, a u 17. stoljeću i razvojem teleskopa kreće se s ozbiljnijim pokušajima kada je većina astronoma radila svoje mape. Zbog tadašnje tehnologije javljali su se problemi razlikovanja pojedinih objekata, stalno pomicanje zvijezda onemogućavalo je kvalitetnu potragu za novim objektima jer je u gomili zvijezdi, maglica i kometa bilo nemoguće međusobno razlikovati te objekte. Danas je najpoznatija skupina popisanih objekata tzv. Messierova lista koju je izradio Messier 1771. godine, bio je lovac na komete, ali nije

---

<sup>2</sup> UNESCO je 2010. proglasio godinom Mark Antuna de Dominisa, a Hrvatske pošte su tiskale posebno markicu u čast tog velikog znanstvenika o čijim je postignućima pisao i Newton. Naš znanstvenik, biskup i humanist nažalost nije dovoljno cijenjen ni u svijetu ni u Hrvatskoj iako je prvi objasnio nastanak duge te plimu i oseku povezao s privlačnom silom mjeseca, također je dao veliki doprinos teoriji teleskopa jer je shvatio bitno u refleksiji i lomu zraka svjetlosti (poslje Snelliusov zakon) i objasnio da se veličina slike mijenja ovisno o sužavanju i širenju vidnog kuta što će Galileo poslje iskoristiti u promatranjima.

uspjevao razlikovati komete od ostalih objekata te je odlučio izraditi listu od stotinjak objekata (u današnjoj verziji 110). Iako malen broj, na liste se nalaze većinom najsvjetliji i najljepši objekti (galaksije, maglice, kuglasti skupovi, ostaci supernova, binarne zvijezde) na nebeskom svodu dostupni amateru na sjevernoj polutki tako da je lista i danas izazov većini astronoma amatera.

Jedan od razloga zašto je tehnika fotografiranja odmah bila primjenjena na slikanje nebeskih objekata je i čisto praktične prirode jer su prve fotografije imale niz problema te je bila potrebna jaka svjetlost kako bi se uopće objekt primjetio na slici. Sunce je bilo idealan objekt za testiranje nove tehnologije (zanimljivo je primjetiti da se samo ime fotografije znači pisanje svjetlom). Prvi primjer fotografija koji se može pronaći u literaturi je fotografija Sunca Thomasa Wedgwooda 1800. godine, no sama fotografija nije dugo trajala zbog primitivne tehnike te bi se brzo gubila informacija odnosno snimak bi nestajao. Joseph Niepce čovjek je koji nije imao nikakve veze s astrofotografijom, ali je promjenio svijet astronomije, on je prvi uspio dobiti fotografije koje su bile dovoljno stabilne tako da i danas imamo očuvane njegove prve fotografije. Niepce je već 1816. godine počeo istraživati materijale osjetljive na svjetlost te je nakon 10 godina rada uspio i snimiti prvu stabilnu sliku. Potpisao je ugovor o partnerstvu s Louisom Daguerrom<sup>3</sup> te su sljedećim deset godina radili zajednički na razvoju novih medija za pohranu slike. Daguerra danas mnogi smatraju izumiteljem fotografije<sup>4</sup>, istina je nešto drugačija, naime Daguerra je bio sposoban poslovni čovjek tako da je uspio izreklamirati uspjehe fotografije i tako pridobiti mnoge ulagače u razvoj novih tehnologija fotografiranja, pritom je privukao i znanstvenu zajednicu što je poslje rezultiralo i razvojem astrofotografije[4].

Lista ljudi koji su sudjelovali u razvoju astrofotografije je dugačka tako da ću nabrojati samo neke istaknutije znanstvenike. John Draper je 1840. godine uspio snimiti prvi kvalitetan snimak Mjeseca, 1845. godine u Priškom opservatoriju Armand Fizeau i Jean Foucault su snimili prve snimke Sunca, neke od njih sačuvane su do danas. John Adams Whipple i William Cranch Bond su 1850. godine snimili prvu fotografiju zvijezde, a 1858, M. Usherwood uspio je snimiti komet. Razvijajući tehnologiju astronomi su polako počeli shvaćati da na temelju fotografija mogu računati sjaj pojedinih zvijezdi, a 1861.

---

3 Znamenita je njegova izjava kojom opisuje 'svoje' otkriće fotografije; *"I have seized the light. I have arrested its flight"*

4 Prve fotografije su bile crno bijele te su stoga mnogi skeptici ismijavali tehnološko dostignuće rječima 'znači i dalje je potrebno znati slikati'. Uskoro se počelo snimati fotografije kroz 3 leće u raznim bojama te su nastale slike u boji po istom modelu kao što i danas nastaju po RGB modelu.

začele su se i prve ideje o mapiranju cijelog nebeskog svoda putem fotografiranja. Zaredali su se razni uspjesi i fotografiranje spektra raznih zvijezda i maglica, veliki broj astronoma počeo je popisivati zvijezde i otkrivati nove objekte na nebu. Angelo Secchi je primjerice popisao 10000 binarnih zvijezdi, te prikupio 4000 zvijezdanih spektrograma na temelju kojih je zaključio da postoje određene klase zvijezda koja se međusobno razlikuju svojim spektrom. Razvio je prvi sustav kalifikacije zvijezda; 5 Secchievih razreda. Mnogi ga smatraju i ocem astrofizike jer je sam temelj astrofizike upravo klasifikacija nebeskih objekata.

Početak 20.stoljeća količina podataka o nebu se počela eksponencijalno povećavati, astronomija je promjenila način na koji razmišljamo o sebi i svijetu, donjela je mnogo znanstvenih sukoba i napretka, saznali smo o postojanju drugih galaksija, raznih zvijezdi, o širenju svemira, relativnosti, crnim rupama i još mnogim drugim fascinantnim otkrićima. Astrofotografija je u svemu tome bila od posebnog značaja, pružila je mogućnost mapiranja neba i provjeravanje niza znanstvenih teorija koje imaju utjecaj na naš svakodnevni život. Uz sve to astrofotografija je omogućila populariziranje astronomije i znanosti te nam omogućila uživanje u pogledu na najljepše prizore u svemiru.

## **4.2. Fotografiranje astronomskih objekata**

Za što kvalitetniju fotografiju(koristeći teleskop) neba odnosno nebeskog tijela potrebno je zadovoljiti više uvijeta;

- pronaći što bolju lokaciju
- imati pogodne atmosferske prilike
- koristiti kvalitetnu optiku
- fokusirati objekt
- adekvatno pratiti objekt
- pamtiti fotografiju u dobrom formatu

Lokacija snimanja je bitna ponajviše zbog svjetlosnog zagađenja koje je najveće u blizini velikih gradova(al i zagađene atmosfere zbog ispušnih plinova)[1]. Bitne su i atmosferske prilike odnosno vedro nebo, fotografije s duljom ekspozicijom neće biti

kvalitetne ukoliko fotografiramo slabovidljivi objekt kojeg ometaju i atmosferske prilike, veće nadomorske visine su preporučljive zbog ostalih problema koji su opisani u ovome poglavlju .

Fotoaparat mora imat što bolju optiku kako ne bi dolazilo da raznih zamućenja i lomljenja svjetlosti, fokusiranost objekta je podjednako važna. S obzirom na stalno rotiranje Zemlje potrebno je imati i sustav praćenja objekta koje 'poništava' ta kretanja jer će u protivnome slika biti mutna zbog kretanja samog objekta[8]. Postoji više načina fotografiranja astronomskih slika, fotoaparat se može prisloniti direktno na okular teleskopa ili može se postaviti leća koja dodatno povećava sliku koja zatim pada na film(ili CCD senzore), postoji još mnogo detalja oko postupka fotografiranja nebeskih tijela, no oni nadilaze interese ovog rada. Fotografija kojom se bavim u ovome radu slikana je iz običnog digitalnog fotoaparata bez ikakvog praćenja i povećanja.

Za kvalitetnu fotografiju bitni su svi gore nabrojani uvjeti, ali ipak se najveća kvaliteta postiže s obradom nakon snimanja(eng. post processing), upravo tim dijelom se bavim u ovome radu.

### **4.3. Oštrina slike**

Funkcija širenja točkastih izvora opisuje raspodjelu svjetlosti koja nastaje od točkastog izvora, samo širenje slike na susjedne regije na kojima se ona u prostoru ne nalazi dovodi do zamućenja slike odnosno defokusiranosti slike. Oštrina slike je bitna jer što je slika oštija veća je jasnoća detalja što je posebno bitno kod astrofotografija kako bi mogli raspoznavati nebeska tijela. Moćne i složene tehnike procesuiranja slika mogu dosta doprinijeti poboljšavanju oštrine slike, ali u konačnici, oštrina je ograničena opremom fotografa(najčešće kvalitetom leća) i uvjetima u kojima je fotografija snimljena.

Generalno, oštrina se zasniva na dva faktora: rezoluciji i kontrastu rubova (acutance). Rezolucija je ograničena izvedbom senzora na digitalnim fotoaparatima, ona je mjera za mogućnost kamere da razluči između vrlo bliskih elemenata na slici. Kontrast rubova je faktor koji pokazuje koliko se brzo informacija na slici mijenja na rubovima, pa visoki kontrast znaci oštrije rubove, tj. detalje s jasno definiranimi granicama. Ovaj je faktor jedini koji je moguće kontrolirati i nakon okidanja kamere, jedini koji u post-procesuiranju slike može doprinijeti oštrini slike.

Mutne slike neće omogućavati razabiranje detalja te će se informacije o mnogim zvijezdama izgubiti, a poseban problem će se pojaviti kod binarnih zvijezdi koje su blizu jedan drugoj te u slučaju loše fotografije dolazi do spajanja dviju zvijezde u jednu. Dodatan problem kod binarnih zvijezdi jest u tome što ni idealna oprema i uvjete ne mogu vidjeti zvijezdu ukoliko je blizu svog para koji ima mnogo veću magnitudu. Oštrina slike je najveća kada je šum najmanji, u dodacima su opisani uzroci nastajanja šuma. Oštrina je bitna za ovaj rad jer što se slika više proširila van svojih realnih granica nastaje mutnija slika tako da nam je cilj izoštriti sliku u smislu da svakoj slici zvijezdi pridodamo granice koja ona ima u stvarnosti, naravno nije moguće idealno rekonstruirati sliku jer zbog šuma dolazi do nepovratnog gubitka informacija.

#### **4.4. Atmosferske prilike**

Osim samih tehnoloških karakteristika za dobre astronomske snimke potrebna je i pogodna atmosferske prilike jer inače nećemo moći razlikovati detalje planeta ili će nam binarne zvijezde izgledati kao jedna. Problemi s prolaskom svjetla kroz atmosferu pojavljuju se zbog temperaturnih fluktuacija te miješenja zraka zbog različitih tlakova i temperatura[1]. Ovisno o visini atmosfere možemo i razlikovati različite smetnje koje ćemo opisati u poglavlju.

Efekti uz samu površinu Zemlje(0-100m) su najveći problem jer većina astronoma promatra neba upravo s površine, s obzirom na promjenu dana i noći dolazi do miješanja tople i hladne masa zraka, noću tlo brzo otpušta svu primljenu toplinu tako da je preporučljivo snimati s lokacija gdje su takva miješanja zraka minimalna(npr. uz velike količine vode). Uz same atmosferske prilike problem je i s teleskopima koji se moraju prvo ohladiti i prilagoditi temperaturi okoline jer inače dolazi do efekta 'ključanja'(eng. boiling effect). Područje centralne troposfere(100m-2km) je najviše podložno topografiji lokaliteta s kojeg snimamo tako da je najpogodnije snimati s mjesta gdje su takva strujanja najmanja. U gornja troposferi(6-12km) postoje rijeke zračnih masa zbog kojih su slike lišene detalja i izgledaju mutno. Svjetlost zvijezda dok prolazi kroz atmosferu mora prolaziti kroz slojeve koji su međusobno različite temperature i gustoće te dolazi do loma svjetlosti te se tako gubi prvotna informacija o samom izgledu zvijezdu što rezultira mutnim slikama.

Poseban problem je i svjetlosno zagađenje atmosfere koje je najveće u blizini velikih gradova, a postaje sve veći problem jer se sve više prostora osvjetljava noću što rezultira najvećim zagađenjem u povijesti jer se svjetlost odbija kroz atmosferu i onemogućava vidljivost neba. Zbog gore navedenih razloga profesionalni observatoriji se nalaze na povišenim područjima, daleko od gradova, u područjima gdje nema toliko strujanja zraka. Najpoznatiji observatoriji su smješteni na Hawaima La Palmi, Tenerifima, Paranalu, dok je u Hrvatskoj poznatija zvjezdarnica Višnjan, a poznato okupljalište astronoma amatera Petrova gora. Naravno nemoguće je utjecati na atmosferu tako da su najkvalitetnije snimke s teleskopa koji nisu na zemlji nego su u orbiti te zbog toga nemaju navedene probleme, najpoznatiji takav teleskop je Hubble teleskop.

#### **4.5. CCD senzori**

Posljednjih godina razvili su se digitalni fotoaparati, razlikuju se od prijašnjih fotoaparate u načinu stvaranja slike, digitalne kamere ne koriste film nego koriste senzore, najčešće CCD(charge-copuled device) ili CMOS senzore. Na svakome senzoru nalazi se veliki broj fotodioda koje su osjetljive na svjetlost te svaka od njih predstavlja jedan piksel na dobivenoj fotografiji.

Otvaranjem zaslona svaki senzor(piksel) je izložen svjetlosti te bilježi vrijednost jačine svjetlosti koja pada na njega te tako izaziva električni naboj, što više svjetla pada u jedan piksel to će i naboj biti veći. Nakon zatvaranja zaslona naboj na svakom senzoru se pretvara u digitalni broj, prikaz slike kao niz digitalnih brojeva omogućit će nam daljnju manipulaciju sa slikom. Digitalizacija vrijednosti jest proces pretvaranja analogne vrijednosti naboja CCD senzora u binarnu formu koju računalo može pamtit. CCD dektori detektiraju i do 60% upadnih fotona, a neki od senzora su dizajnirani tako da sprečavaju zasićenje piksela te nastajanje crte na fotografiji.(eng. anti blooming gate)[3]. Problem s dužim ekspozicijama jest u pregrijavanju senzora koje zatim rezultira šumom odnosno lošijom fotografijom, postoje razvijeniji fotoaparati koji imaju hlađenje te izbjegavaju taj efekt, no većina aprata će ohladiti senzore, ali nedovoljno. Šum može nastati kao posljedica nagle fluktuacije prilikom čitanja(eng. reading noise) vrijednosti piksela senzora ili kao prostorni šum(eng. spatial noise) koji nastaje jer se svaki piksel drugačije ponaša dok nije izložen svjetlosti(eng. dark current). Šum se rješava okidanjem

više fotografija istog objekta koje se onda usrednjavaju i tako nastaje nova slika s boljim svojstvima. Svi CCD pikseli nemaju istu osjetljivost na svjetlost, posljedica toga jest da fotografija jednolikog objekta ne mora nužno biti jednolika. Boja jednog piksela se često kasnije interpolira preko 8 susjednih piksela kako bi se postigao točniji rezultat. Kada su u zamračenju CCD senzori nemaju vrijednost 0, srećom moguće je izračunati pogrešku pojedinog piksela te kasnije oduzimati te vrijednosti od fotografija kako bi se riješili tog šuma.

Današnji fotoaparati u samo par sekundi obave milijune operacija kako bi interpolirali, kompresirali, isfiltrirali, spremili i prikazali sliku, uz sve to komercijalni aparati često imaju i niz dodataka za fokusiranja, uvećanja, prepoznavanje lica, određivanja granica objekata, spajanje panoramskih snimaka i ostalih manipulacija. Sve to nije dovoljno pa je u većini slučajeva potrebna i daljnja obrada slika što je poseban izazov kod astrofotografije.

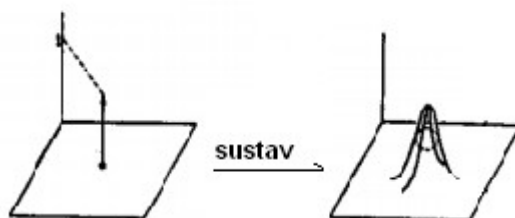
#### **4.6. Funkcija širenja točkastih izvora**

Funkcija širenja točkastih izvora (eng. Point spread function, u daljnjem tekstu PSF) je matematički opis rezultata isijavanja svjetlosti točkastog izvora u prostoru odnosno PSF opisuje raspodjelu zračenja svjetlosti izvora. U realnim sustavima ne možemo govoriti o točkastim izvorima, ali u ovome radu ću zbog udaljenosti, iz praktičnih razloga, promatrati zvijezde kao točkaste izvore. Iako promatramo zvijezdu odnosno izvor svjetlosti kao točku slika koju dobijemo fotografiranjem takve zvijezde nije točka jer će lom svjetla (aberracija) dovesti do toga da se slika proširi na određenu površinu, čak i u slučaju da ne postoji lom svjetlosti opet će doći do širenja slike zbog difrakcije. Poznavanje PSF sustava je bitno za mnoge algoritme jer primjerice dekonvolucijom možemo odrediti izgled objekta na temelju njegove slike i poznavanju PSF [9].

Samu PSF opisujemo u radu kao trodimenzionalnu funkciju; prostorna raspodjela piksela daje nam 2 dimenzije, a vrijednosti po pikselima promatramo kao visinu odnosno treću dimenziju slike te ćemo tako u ovome radu estimirati PSF kao Gaussovu 2D funkciju jer atmosferske turbulencije odgovaraju upravo toj raspodjeli. U radu ću opisati parametarsko određivanje PSF na primjeru astronomskih fotografija, no određivanje te

funkcije je bitno i kod elektronskih mikroskopa te općenito u Fourierovoj optici. Samo širenje slike točkastog izvora možemo opisati kao mutnoću slike, što je slika mutnija reći ćemo da je nekvalitetnija odnosno da dolazi do smetnji u sustavu promatranog i promatrača. Sam sustav kojim se bavim u radu nije linearan tako da ne mogu odrediti PSF pojedine zvijezde na slici, potrebno je estimirati PSF za svaku zvijezdu.

Jedna od primjena PSF jest i u oftamologiji, senzori mjere 'odziv' ljudskog oka te se određenim softverskim alatima računa PSF pacijentovog oka. To omogućava daljnje liječenje i dijagnosticiranje bolesti te predviđanje djelotvornosti određenih terapija. Postoji niz primjera uporabe znanja o PSF, a određivanje te funkcije pruža veliki izazov i vrijednost za veliki broj algoritama obrade fotografija.

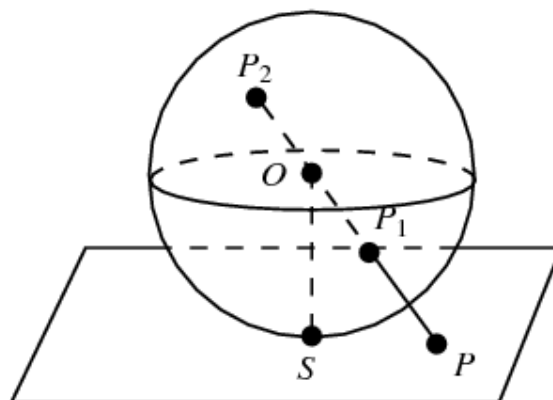


*Slika 15 - Lijevo idealni odziv, desno točkasti izvor se raspršuje na ravnini po okolnim pikselima*

#### **4.7. Gnomonska projekcija**

Gnomonska projekcija je način projiciranja točka u prostoru na dvodimenzionalnu plohu, najpoznatiji primjeri takvih projekcija su karte svijeta. Točka na površini sfere se projicira na plohu tako da se povuče pravac kroz točku i centar sfere, točka sjecišta pravca i plohe je upravo projekcija točke na sferi.

Iz slike 16 očito je da je istodobno moguće prikazati samo polovica sfere odnosno konkretno za Zemlju postoje karte gornje i donje hemisfere. Točka O predstavlja centar sfere, točka S je središte projekcije, a točka P projekcija točke P<sub>2</sub>, ujedno projekcija

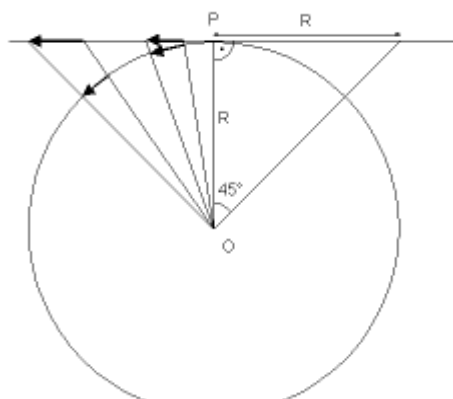


*Slika 16 - 3D prikaz gnomonske projekcije*



točke P1. Kružnice sfere se projiciraju kao ravne linije što znači da će putanja meteora biti prikazana kao ravna crta, na slici Y vidimo 2 meteora i njihove projekcije. S obzirom na zakrivljenost svemira, fotografije koje dobijemo promatranjem zvijezda odgovaraju upravo gnomonskoj projekciji.

Gnomonska projekcija osim što prikazuje kružnice kao ravne dužine također ne zadržava kutnu udaljenost što znači da će točke na rubovima mape uvelike odudarati od pravog stanja, ukoliko projiciramo samo mali dio sfere neće doći do velikog odudaranja, ali ako uzmemo veći dio samo će centar projekcije odgovarati pravom stanju, a ostale će točke imati velika odudaranja, maksimalan pri rubovima projekcije. Upravo je to problem sa zvijezdama i njihovim fotografijama, u ovome radu smo namjerno evaluirali fotografiju većeg djela neba što je rezultiralo s velikim razlikama na rubovima.



Slika 17 – gibanje po kružnici izgleda poput gibanja po pravcu

#### 4.8. Kovarijancijska matrica

Elemente kovarijancijske matrice  $\Sigma$  ćemo općenito definirati po formuli;

$$\Sigma_{ij} = \text{cov}(X_i, X_j) = E[(X_i - \mu_i)(X_j - \mu_j)] \quad (3)$$

gdje vrijedi

$$\mu_i = E(X_i) \quad (4)$$

za vektor  $X$  čiji su elementi nasumični brojevi.

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

Matrica je definirana kao;

$$\Sigma = \begin{bmatrix} E[(X_1 - \mu_1)(X_1 - \mu_1)] & E[(X_1 - \mu_1)(X_2 - \mu_2)] & \cdots & E[(X_1 - \mu_1)(X_n - \mu_n)] \\ E[(X_2 - \mu_2)(X_1 - \mu_1)] & E[(X_2 - \mu_2)(X_2 - \mu_2)] & \cdots & E[(X_2 - \mu_2)(X_n - \mu_n)] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ E[(X_n - \mu_n)(X_1 - \mu_1)] & E[(X_n - \mu_n)(X_2 - \mu_2)] & \cdots & E[(X_n - \mu_n)(X_n - \mu_n)] \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Za Gaussovu funkciju definiramo kovarijancijsku matricu koreliranog modela C

$$C = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \rho \sigma_1 \sigma_2 \\ \rho \sigma_1 \sigma_2 & \sigma_2^2 \end{bmatrix} = \Sigma \quad (7)$$

gdje za dekorelirani model vrijedi;

$$C = V D V^T \quad (8)$$

za unitarnu ortonormalnu matricu rotacije V i dijagonalnu matricu vlastitih vrijednosti D

$$V = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad D = \begin{bmatrix} \Delta_1^2 & 0 \\ 0 & \Delta_2^2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$\sigma_1$  – standardna devijacija po prvoj osi

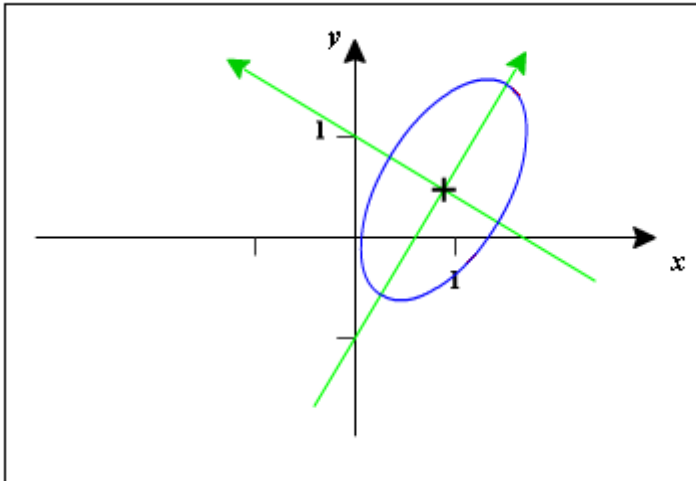
$\sigma_2$  – standardna devijacija po drugoj osi

$\rho$  – faktor korelacije prve i druge osi

$\Delta_1$  – standardna devijacija glavne dekorelirane osi

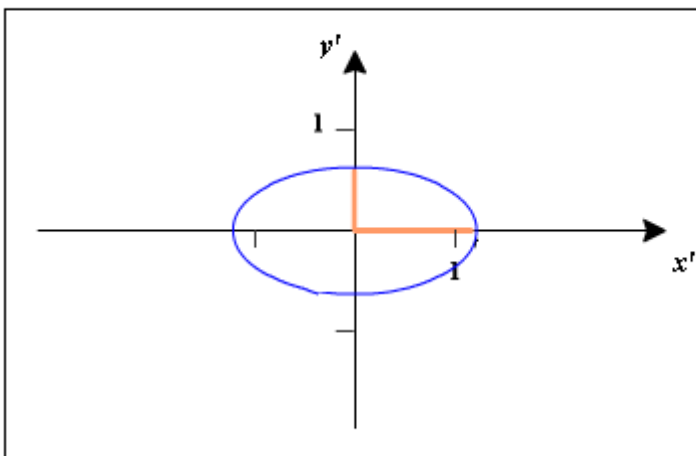
$\Delta_2$  – standardna devijacija pomoćne dekorelirane osi

Gaussova 2D krivulja gledana pod pravim kutom odozgo izgleda poput elipse, na slici 18 možemo vidjeti primjer Gaussove funkcije u prostoru. Plavom bojom označena je Gaussova krivulja, a zelene linije pokazuju smjer male i velike osi elipse. U donjem dijelu slike možemo vidjeti elipsu (tzv. dekorelirani model) koja je rotirana i pomaknuta.



kovarijancijska matrica

$$\begin{bmatrix} 0.68 & 0.47 \\ 0.47 & 1.19 \end{bmatrix}$$



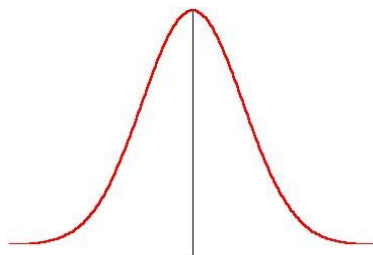
dijagonalna matrica  
vlastitih vrijednosti

$$\begin{bmatrix} 1.48 & 0 \\ 0 & 0.39 \end{bmatrix}$$

Slika 18 - Gornja slika prikazuje korelirani model, donja dekorrelirani model

#### 4.9. Gaussova krivulja

Gaussova krivulja izgleda poput zvona (eng. bell curve), graf je simetričan, vrijednosti naglo opadaju prema formuli 5 (varijabla  $a$  je najveća vrijednost funkcije, varijabla  $b$  je pozicija te vrijednost, a varijabla  $c$  pokazuje širinu funkcije).



$$f(x) = ae^{-\frac{(x-b)^2}{2c^2}} \quad (10)$$

slika 19- Gaussova razdioba

Gaussovu funkciju koristimo u obradi slika (ovome radu) za opisivanje šumova, u statistici opisuje normalnu distribuciju, u društvenim znanostima opisuje mnoge fenomene, a ima i niz primjena u inženjerstvu i ostalim prirodnim znanostima. U radu ćemo se baviti 2D Gaussovom funkcijom (formula 6) kako bi opisali svjetlost zvijezdi, zapravo točnije kako bi opisali funkciju širenja točkastih izvora. U formuli koordinate najveće vrijednosti su  $x_0, y_0$ , varijabla  $A$  je amplituda te najveće vrijednosti, a sigme opisuju brzinu pada vrijednosti u  $x$  odnosno  $y$  smjeru.

$$f(x, y) = Ae^{-\left(\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma_x^2} + \frac{(y-y_0)^2}{2\sigma_y^2}\right)}. \quad (11)$$

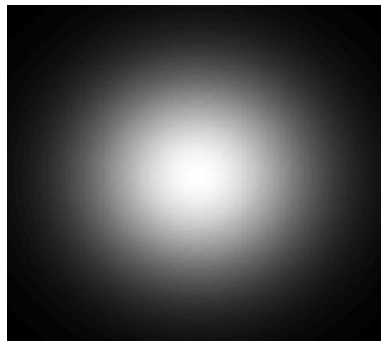
Postoje i alternativni načini zapisa 2D Gaussove funkcije;

$$f(x, y) = Ae^{-\left(a(x-x_0)^2 + 2b(x-x_0)(y-y_0) + c(y-y_0)^2\right)} \quad (12)$$

gdje su parametri  $a, b, c$  opisani kao;

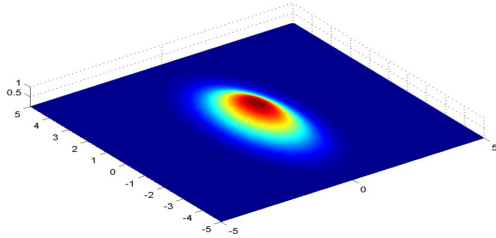
$$\begin{aligned} a &= \frac{\cos^2 \theta}{2\sigma_x^2} + \frac{\sin^2 \theta}{2\sigma_y^2} & b &= -\frac{\sin 2\theta}{4\sigma_x^2} + \frac{\sin 2\theta}{4\sigma_y^2} \\ c &= \frac{\sin^2 \theta}{2\sigma_x^2} + \frac{\cos^2 \theta}{2\sigma_y^2} \end{aligned} \quad (13)$$

PSF pojedinih zvijezdi opisat ćemo 2D Gaussovom tako što ćemo prostornu raspodjelu piksela promatrati kao  $x$  i  $y$  dimenzije, a sama vrijednost piksela će biti vrijednost te funkcije.

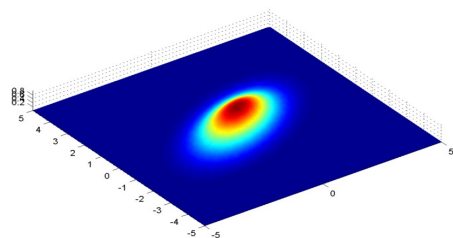


*Slika 20 - prikaz vrijednosti Gaussove 2D funkcije*

Problem koji se pojavljuje na fotografijama zvijezdi jest pomak i zaokrenutost pojedinih Gaussovih funkcija kojima opisujemo PSF tih zvijezdi. Sve opisane parametre bit će potrebno estimirati u ovome radu kako bi dobili željeni rezultat.

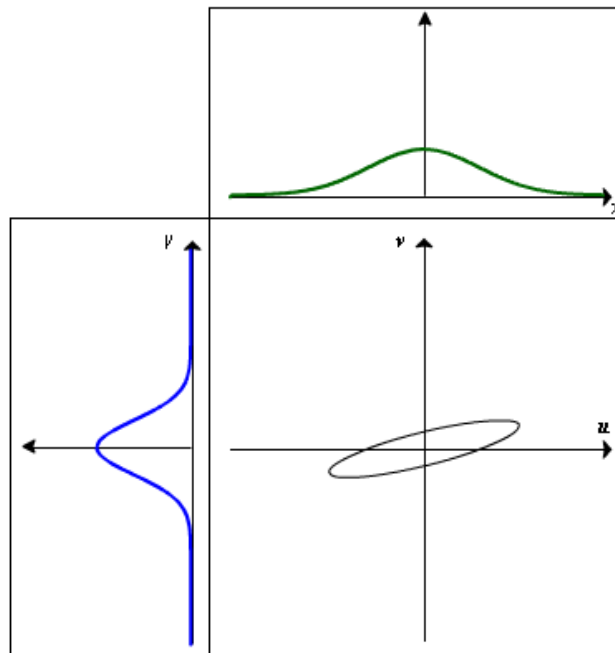


Slika 21 - Gauss bez rotacije



Slika 22 - Gauss s rotacijom

Kako bi je bolje razumjeli, Gaussovu 2D funkciju možemo opisati kao kombinaciju dvaju 1D funkcija, ukoliko ne postoji faktor korelacije između dviju funkcija onda će dobiveni Gauss izgledat(gledajući Z os) kao elipsa kojoj su maksimalne udaljenosti od maksimalne vrijednosti upravo na apcisi i ordinati, a ako postoji korelacija onda će cijela kombinacija biti usmjerena u prostoru, u ekstremnom slučaju kada je korelacija 1 ili -1 Gaussova 2D funkcija će biti(gledajući Z os) dužina. Na slici 23 možemo promotriti slučaj 2D funkcije kao kombinacija dviju jednodimenzionalnih, po osi x je prikazana zelenom krivuljom, a os y plavom krivuljom. Plava i zelena linija opisuju brzinu pada vrijednosti po pojedinoj osi.



Slika 23 – Korelirani model, y-os ima strmiji pad od x

## 5. Zaključak

Rezultati evaluacije postupka i programskog ostvarenja su zadovoljavajući. Početni cilj je postignut; uspjeli smo obraditi fotografiju zvijezdi te modelirati funkciju širenja točkastih izvora. Gaussova funkcija se pokazala kao opravdan izbor za opisivanje izobličenja nastalih zbog nesavršenog optičkog sustava i greški koje unosi CCD senzor. Postupak se pokazao učinkovitim za zvijezde različitog sjaja, oblika i položaja na fotografiji. Algoritam za određivanje regije pojedine zvijezde pokazao se dovoljno dobrim i za slučajeve bliskih zvijezdi, a estimacijom parametara 2D Gaussove raspodjele na temelju odabrane regije uspjeli smo dobiti modele koji su se pokazali uspješnim u modeliranju linearnih i nelinearnih šumova.

## 6. Literatura

- [1] Ratledge, D., Digital astrophotography: The state of the art, New York, Springer, 2005.
- [2] Peach, D., <http://www.damianpeach.com/> , svibanj 2010.
- [3] Pedro Re, <http://www.astrosurf.com/re/index.html>, svibanj 2010
- [4] <http://www.artdeciel.com/default.aspx>, lipanj 2010.
- [5] Perić, N., Petrović, I., "Teorija estimacije: prezentacije s predavanja", FER, Zagrebačko sveučilište, 2010.
- [6] Seršić, D., Lončarić, S., "Obradba informacija: prezentacije s predavanja", FER, Zagrebačko sveučilište, 2010.
- [7] Fleck, M., "Perspective projection: The wrong imaging model", technical report, Computer science, Universtiy of Iowa, 1995.
- [8] Klapp, I. Yitzhaky, Y., "Angular motion point spread function model considering aberrations and defocus effects", Journal of the optical society of America, Vol. 23, No.8, 2008.
- [9] Rossman, K., "Point spread function, line spread function, and modulation transfer function: tools for the study of imaging systems", Radiology, 93, 257-272, 1969.

# Objektivno vrednovanje kvalitete astronomske slike estimacijom funkcije širenja točkastih izvora

## Sažetak

U radu je predloženo rješenje problema estimacije funkcije širenja točkastih izvora. Glavna motivacija je obrada astronomske fotografije zvijezdi u koje je unesena projekcijska pogreška te šum zbog atmosfere, leće i senzora fotoaparata. Predložen je postupak za automatiziranu korekciju fotografija zvijezdi. Za svaku zvijezdu posebno se određuje funkcija širenja točkastih izvora i kovarijancijska matrica. Programsko rješenje se nastavlja na rad prof.dr.sc. Davora Petrinovića. Postupak se sastoji od tri koraka. U prvom koraku pronalazimo zvijezdu s pripadnom regijom i odbacujemo sve pozadinske piksele koji ne pripadaju zvijezdama. U drugom koraku rješavamo problem susjednih zvijezdi, određujemo koje područje odgovara zvijezdi koju obrađujemo. Treći korak se sastoji od estimiranja parametra funkcije širenja točkastih izvora na temelju dobivene regije te računanja kovarijancijske matrice kako bismo dobili dekokorelirani model. Opisani su procesi zbog kojih dolazi do šumova, teorijsko opravdanje postupka te evaluacija postupka i programskog sustava razvijenog u Matlabu.

**Ključne riječi:** *funkcija širenja točkastih izvora, astronomska fotografija, kovarijancijska matrica, Gaussova funkcija*



# Objective quality estimation of astronomical images using point spread functions

## Abstract

We propose a method for estimating point spread function. Motivation for our work is processing astronomical images and removing noise produced by optical system, camera sensors and gnomonical projection. We propose an automated method for correction of stars photography. It is necessary to estimate point spread function and covariance matrix for each star on image. Software solution is based on work by professor Davor Petrinović, PhD. There are three main steps in algorithm; First we find a star on image to process and ignore pixels that don't belong to stars. In second step we define a region of pixels for that particular star. That is important because of binary stars. Thirdly, based on the region, we estimate parameters of point spread function and covariance matrix so that we can calculate uncorrelated model. Theoretical justification for method is given. Also, evaluation of method and software solution in Matlab is presented.

**Keywords:** *point spread function, astronomical photography, covariance matrix, Gaussian function*