

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

ZAVRŠNI RAD br. 2717

**IDENTIFIKACIJA I KOREKCIJA
GEOMETRIJSKIH DEFORMACIJA SLIKA U
SUSTAVIMA ZA DIGITALNO
OSLIKAVANJE**

Sandra Šumiga

Zagreb, lipanj 2012.

SADRŽAJ

UVOD	1
VRSTE GEOMETRIJSKIH DEFORMACIJA	2
LINEARNA TRANSFORMACIJA	4
AFINA TRANSFORMACIJA	6
POLINOMNA TRANSFORMACIJA	7
KOREKCIJA GEOMETRIJSKIH DEFORMACIJA.....	10
ALGORITMI ZA KOREKCIJU DEFORMACIJA UNUTAR <i>MATLAB</i> -a.....	11
IDENTIFIKACIJA ZVIJEZDA	13
IDEJNO RJEŠENJE ZADATKA	16
IMPLEMENTACIJA ALGORITMA.....	18
DETEKCIJA GEOMETRIJSKE DEFORMACIJE.....	18
POLINOMNA FUNKCIJA GEOMETRIJSKE DEFORMACIJE	24
TRANSFORMACIJE FOTOGRAFIJA	27
ZAKLJUČAK.....	30
LITERATURA.....	31
SAŽETAK.....	32
SUMMARY	33

UVOD

Digitalna fotografija je oblik fotografije koja nastaje projiciranjem slike na niz fotosenzora osjetljivih na svjetlo koji digitaliziraju elemente slike, tj. svjetlosne veličine pretvaraju u skup podataka o položaju, nijansi boje i stupnju osvijetljenosti pojedinih mikroskopskih površina koje čine sliku (tzv. piksel, eng. *pixel*). Tako dobiveni digitalni podatci upisuju se u odgovarajućem obliku na memoriju računala ili prijenosnog medija. Pohranjivanje digitalne fotografije sa mogućnošću najraznovrsnije obrade iste, je uz način nastajanja slike, najveća razlika od analogne fotografije. Uz pomoć računalnih programa digitalnu fotografiju možemo prikazivati, spremiti, prenositi, poboljšati, ispraviti nepravilnosti, mijenjati boje i položaje objekata, itd. Kvaliteta fotografije ovisi o nekoliko faktora. Najčešće spominjani je broj piksela (obično naveden u megapikselima) kojeg proizvođači ističu zbog potrošača da bi mogli jednostavnije uspoređivati kvalitetu digitalnih aparata. Sustav za obradu unutar fotoaparata koji pretvara izvorne podatke u uravnotežene boje i zadovoljavajuću sliku je uglavnom bitniji uvjet za kvalitetnu fotografiju.

U ovom radu koncentrirati ćemo se na ispravljanje deformacija digitalne fotografije djelića neba, konkretnije maglice M29. Općenito, fotografiranje zvjezdanog neba naziva se astrofotografija; to su dakle fotografije nebeskih tijela kojima se u današnje vrijeme vrlo uspješno mogu prikazati raznorazni dijelovi svemira. Tomu pridonose svakako i dodatna oprema kojom se može pratiti kretanje zvijezda zajedno sa fotoaparatom, ali i ranije spomenuta obrada digitalne fotografije. Koristiti će se prethodno snimljene slike pomoću digitalnog fotoaparata i Celestron teleskopa te svi postupci implementirati i evaluirati u programskoj okolini *Matlab*.

VRSTE GEOMETRIJSKIH DEFORMACIJA

Geometrijske deformacije fotografije posljedica su nesavršenosti objektiva pomoću kojih je fotografija nastala. Za početak, navesti ćemo par osnovnih pojmova vezanih za objektiv.

Žarišna duljina (eng. *Focal length*) – predstavlja udaljenost žarišta objektiva (točke u kojoj se sijeku zrake svjetlosti) od senzora ili filma u fotoaparatu. Žarišna duljina zapravo određuje vidni kut objektiva. Izražava se u milimetrima. Veća žarišna duljina za posljedicu ima užu kut snimanja. Udaljeniji predmeti će se doimati bližima. Kraća žarišna duljina ima za posljedicu širi kut snimanja. Time je moguće snimanje širih kadrova.



Slika 1. Primjer istog kadra fotografiranog različitim žarišnim duljinama – s lijeva nadesno: 24mm, 50mm, 200 mm, 800 mm

Zoom faktor – omjer maksimalne i minimalne žarišne duljine nekog objektiva. Na primjer: teleobjektiv oznake 80-200 mm ima zoom faktor 2,5, dok objektiv 17-55 ima zoom faktor 3,235. Kod objektiva fiksne žarišne duljine, npr. 28, 35, 50, 85,

105 mm zoom faktor je po definiciji jednak jedinici. Neki kompakti iz ultrazoom klase imaju objektivne zoom faktora do 26x. Međutim, kvaliteta fotografije u usporedbi sa profesionalnim objektivima i nije baš neka. Najkvalitetniji objektivni imaju zoom faktor objektivna između 2,5 – 3.

Faktor izreza (eng. *Crop factor*) – faktor kojim se množi žarišna duljina 35mm ekvivalenta da se dobije stvarna žarišna duljina uslijed drugačije dimenzije senzora. Digitalni fotoaparati imaju nešto manje senzore od 35 mm filma. Za posljednicu se dobija veća žarišna duljina jer objekti snimanja ispadaju još bliže. Kod kompaktnih aparata se u pravilu ne izražava faktor izreza već se preračunata fokalna duljina izražava na samom objektivu. Kod DSLR-a se ona mora računati, jer je u pravilo izražena za 35mm standard. Npr., crop factor za Nikon digitalna tijela koja nisu full frame je 1,5. Što znači, ako na njega npr. imamo postavljen objektiv 80-200, stvarne žarišne duljine su 120-300 mm.

Blenda, otvor objektiv (eng. *Aperture*) – svaki objektiv ima mogućnost reguliranja otvora kroz koji prolazi svjetlost. Ukoliko je više otvoren, prolazi više svjetla i vrijeme potrebno za osvjetljavanje filma ili senzora je kraće. Ako je manje otvoren, ekspozicije su dulje. Otvor blende izražava se takozvanim f-brojem. On je po definiciji omjer žarišne duljine objektiv i promjera otvora objektiv. Znači, čisto matematički gledano, što je f-broj manji, otvor je veći.

Dubinska oštrina (eng. *Depth of Field, DOF*) - raspon udaljenosti ispred i iza objekta snimanja koji će se na fotografiji činiti oštrim. Ovisi o f-broju: što je objektiv bolje zatvoren, to je dubinska oštrina veća i obratno.



Slika 2. Ilustracija različitih dubinskih oštrina: lijevo snimljeno sa f=5.6, desno sa f=32

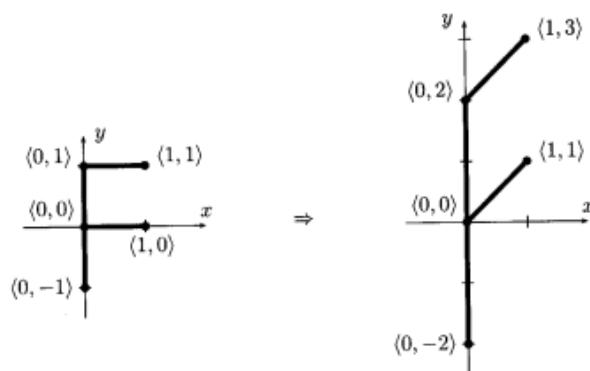
Minimalna udaljenost izoštravanja (eng. *Minimal Focus Distance*) – objektivni su, uslijed svoje konstrukcije, ograničeni na minimalnu blizinu objekta kojeg mogu izoštriti. Ukoliko je objekt bliže, nije ga moguće ni na koji način izoštriti. Jedino rješenje je odmaknuti se od objekta snimanja. Minimalna udaljenost izoštravanja je dana uobičajeno za svaki objektiv u tablici proizvođača. Postoje makro (mikro) objektivni kojima je minimalna udaljenost smanjena pa se je moguće bliže približiti objektu snimanja. Idealni za insekte, cvjetice tj. općenito za makro fotografiju.

Kao što je već ranije spomenuto, geometrijska deformacija slike nastaje zbog fizičkog oštećenja ili nesavršenosti leće, a uzrok će se nalaziti na jednom od gore opisanih dijelova objektiva. U daljnjem tekstu slijedi opis najpoznatijih i najčešćih vrsta geometrijskih deformacija koje se mogu pronaći na fotografijama.

LINEARNA TRANSFORMACIJA

Linearna transformacija je linearni operator $\mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2$ ili $\mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3$. Linearne transformacije određene su linearnim funkcijama koje transformiraju neku geometrijsku figuru. Transformacije se primjenjuju na pojedine točke (u našem slučaju, piksele). Svaka koordinata piksela (x, y) nakon djelovanja linearne funkcije (skaliranje ili rotacija oko ishodišta) na nju ima svoj par (x', y') . Linearnu transformaciju zapisujemo formulom

$$A(x) = B(x). \quad (1)$$



Slika 3. Primjer linearne transformacije

Linearnu deformaciju fotografije golim okom se najjednostavnije može identificirati ako su na slici prikazane zgrade i slični 'ravni' objekti. Tada primjećujemo na rubnim dijelovima slike da oblici objekata nisu savršeno vodoravni ili okomiti na fotografiji kao u stvarnosti. Na Slici 4 vidljiv je jedan takav očit primjer linearne deformacije.



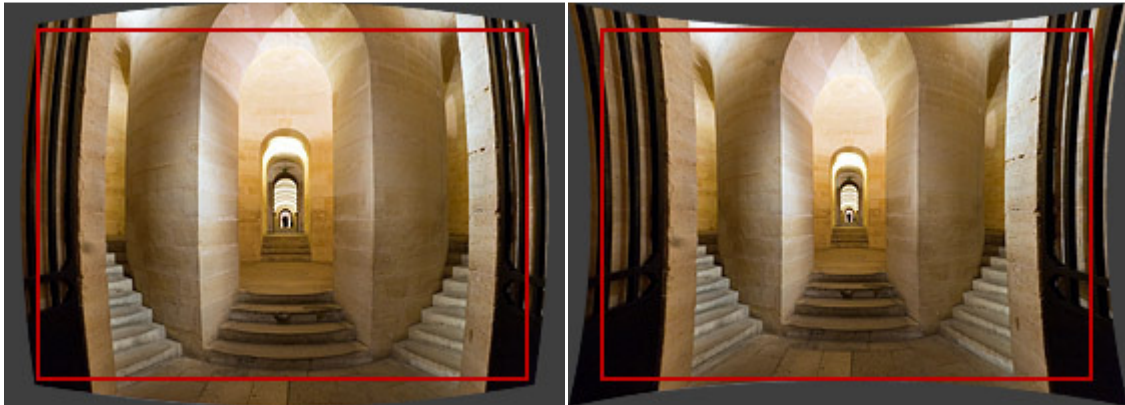
Slika 4. Lijevo - linearna deformacija, desno – ispravljena slika

Razlikujemo tri vrste linearnih deformacija slika: bačvasta (eng. *barrel*), u obliku jastučića za pribadače (eng. *pincushion*) i perspektivna deformacija.

'Barrel' deformacija na fotografiji inače ravne linije iskrivljuje 'prema van'. Uglavnom se pojavljuje kod širokokutnih leća (leće s kojima se može fotografirati puno veći kut nego sa uobičajenim lećama) i širokokutnih 'zoom' leća (leće koje se dodatno postavljaju i služe za fotografiranje jako velikih ili jako malih objekata uz jednaku kvalitetu). Do izobličenja dolazi jer udaljenost od optičke osi leće uzrokuje smanjenje povećanja. Promatraču slika izgleda kao da je omotana oko neke okrugle površine te je zaista bačvastog izgleda, otkud je deformacija i dobila naziv.

'Pincushion' deformacija ravne linije na rubovima fotografije iskrivljuje 'prema unutra'. Do deformacije dolazi zbog 'telephoto' leća (leće koje kontroliraju količinu propuštene svjetlosti, namijenjene za snimanje jako udaljenih objekata i objekata u pokretu). Izobličenje nastaje povećavanjem slike koje uzrokuje udaljavanje od optičke osi leće. Pošto je fotografija najviše 'razvučena' u kutevima, oblikom podsjeća na jastuk, i tako je ova deformacija dobila ime.

Perspektivna deformacija fotografije jednostavna je za detektiranje, čim primjetimo da linije na slici koje bi trebale biti paralelne konvergiraju prema nekoj točki. Uzrok ove deformacije je krivo postavljen fotoaparata.



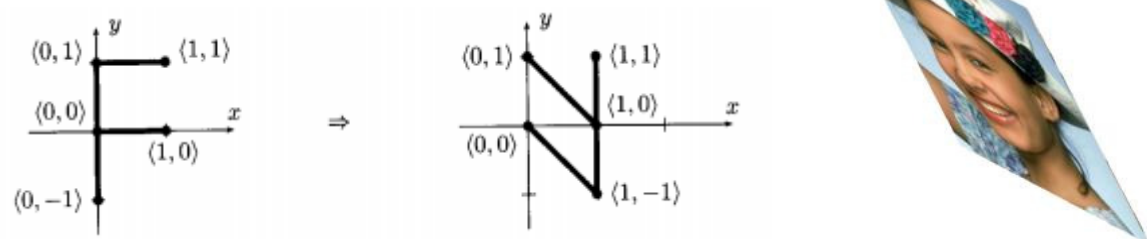
Slika 5. Lijevo - 'Barrel' deformacija, desno - 'Pincushion' deformacija

AFINA TRANSFORMACIJA

Transformacija je afina ukoliko se može zapisati kao kompozicija translacije i linearne transformacije. Za nju vrijedi formula

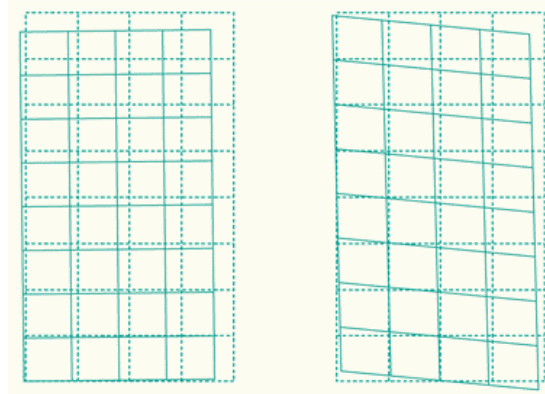
$$A(x) = B(x) + u. \quad (2)$$

Svaka linearna transformacija je afina. Ako je $u \neq 0$, afina transformacija nije linearna.



Slika 6. Primjeri afine transformacije

Na sljedećoj slici ilustrirana je dakle jedina razlika između linearne i afine transformacije slike. Pošto su obje linearne, linije mreže na obje slike ostaju potpuno ravne nakon transformacije.



Slika 7. Linearna i afina transformacija

POLINOMNA TRANSFORMACIJA

Polinomna transformacija je nelinearna transformacija koja dva dvodimenzionalna Kartezijeva koordinatna sustava povezuje translacijom, rotacijom i skaliranjem. Funkcija transformacije može imati beskonačan broj članova. Najčešće se primjenjuje u slučajevima kada jedan ili oba sustava nemaju homogenu distribuciju i orijentaciju. Ako se sa (u, v) označe koordinate neke točke u koordinatnom sustavu originalne slike, a sa (x, y) koordinate u sustavu u koji treba transformirati sliku, može se napisati osnovna veza:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = T \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Uvodeći polinomnu aproksimativnu funkciju dobije se:

$$x = \sum_{p=0}^n \sum_{q=0}^{n-p} a_{pq} u^p v^q \quad (4)$$

$$y = \sum_{p=0}^n \sum_{q=0}^{n-p} b_{pq} u^p v^q; \quad (5)$$

pri čemu je n stupanj polinoma.

Stupanj polinoma ovisi o broju referentnih točaka, tj. o broju nepoznatih koeficijenata a_{pq} i b_{pq} koje u postupku transformacije treba odrediti. Minimalan broj kontrolnih točaka k , u ovisnosti o stupnju polinoma n (Tablica 1), izražava se na sljedeći način:

$$k = \frac{(n+1)(n+2)}{2}. \quad (6)$$

Tablica 1. Odnos stupnja polinoma i minimalnog broja referentnih točaka

broj referentnih točaka k	stupanj polinoma n
3	1
6	2
10	3
15	4
21	5

Naravno, u praksi se uvijek uzima veći broj referentnih točaka od neophodnog, što daje bolju mogućnost ispravljanja. Ispravljanje se vrši po teoriji najmanjih kvadrata.

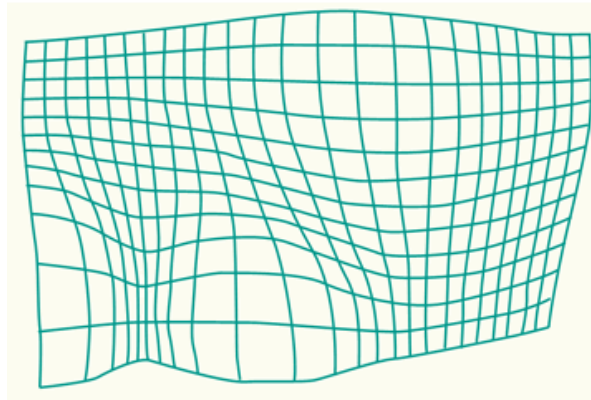
Jednadžbe polinomne transformacije 2. stupnja:

$$\begin{aligned}
 x_1 &= a_0 + a_1 u_1 + a_2 v_1 + a_3 u_1 v_1 + a_4 u_1^2 + a_5 v_1^2 \\
 x_2 &= a_0 + a_1 u_2 + a_2 v_2 + a_3 u_2 v_2 + a_4 u_2^2 + a_5 v_2^2 \\
 &\dots \\
 x_m &= a_0 + a_1 u_m + a_2 v_m + a_3 u_m v_m + a_4 u_m^2 + a_5 v_m^2 \\
 y_1 &= b_0 + b_1 u_1 + b_2 v_1 + b_3 u_1 v_1 + b_4 u_1^2 + b_5 v_1^2 \\
 y_2 &= b_0 + b_1 u_2 + b_2 v_2 + b_3 u_2 v_2 + b_4 u_2^2 + b_5 v_2^2 \\
 &\dots \\
 y_m &= b_0 + b_1 u_m + b_2 v_m + b_3 u_m v_m + b_4 u_m^2 + b_5 v_m^2
 \end{aligned}$$

Polinomna deformacija može se ispraviti ovisno o tome koliki stupanj transformacije se odredi. Što je veći stupanj polinoma, dobiva se kvalitetnija

rekonstrukcija slike. U praktičnom dijelu ovoga rada koristiti će se polinomna transformacija trećeg stupnja za korekciju fotografija.

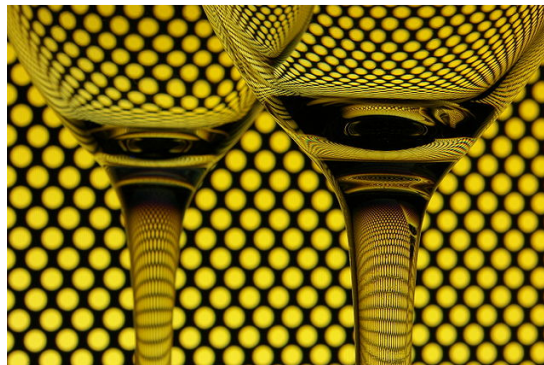
Na Slici 8 prikazana je mreža jedne neuniformne polinomne deformacije. Takve deformacije mogu se pojaviti u slučaju da se objekt fotografiranja pomiče ili fotoaparat nije pravilno namješten i kod njega dolazi do pomaka.



Slika 8. Mreža bez uniformnih deformacija

Točnost transformacije može se procijeniti na temelju broja referentnih točaka koji se odabere i njihovih pozicija. Srednja kvadratna pogreška transformacije m_t predstavlja mjeru odstupanja transformiranih vrijednosti referentnih točaka $(x_i^{tr.}, y_i^{tr.})$ od njihovih teoretskih vrijednosti (x_i, y_i) . Ukupna srednja pogreška, standardno odstupanje, iznosi:

$$m_t = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m ((x_i - x_i^{tr.})^2 + (y_i - y_i^{tr.})^2)}{m-1}}. \quad (7)$$



Slika 9. Neuniformna deformacija pozadine

KOREKCIJA GEOMETRIJSKIH DEFORMACIJA

Nakon što je identificirana deformacija na fotografiji, slijedi postupak ispravljanja slike. Osim fizičkog 'popravljanja' leće ili nabavke novog aparata, kvalitetniju fotografiju možemo dobiti i softverskom obradom na računalu. Obradom se ispravljaju nepravilnosti na fotografiji iskrivljavanjem slike pomoću obrnute deformacije. Upravo zato je najbitnije odrediti točno o kojoj vrsti deformacije se radi na fotografiji. Postupak iskrivljavanja slike u umjetničke svrhe ili ispravljanja deformacija naziva se *warping*. Točan model po kojem će se nepravilna fotografija transformirati dobiva se jednostavno usporedbom piksela po piksela, sa originalne slike i snimljene fotografije, te se bilježi njihova razlika. Ukoliko su pikseli linearno 'pomaknuti' od pozicije na kojoj bi trebali biti, koristiti će se linearna ili afina transformacija. Ako se radi o većoj deformaciji leće i usporedba piksela ne daje nijednu linearnu funkciju, koristiti će se polinomna transformacija. Usporedbom piksela dobiju se koeficijenti polinoma određenog stupnja (koji se odabere) te se zatim uzima inverzna funkcija od dobivenog polinoma za korekciju deformacije fotografije.

U sklopu ovoga rada koristiti ćemo programsku okolinu *Matlab* sa nekim već ugrađenim funkcijama za analizu i obradu slike te sa dodatno implementiranim funkcijama. Pošto se radi o fotografijama dobivenim tehnikom digitalnog oslikavanja projekcije slike okulara (eng. *Eyepiece Projection*), ispravljanje slike ćemo vršiti polinomnom transformacijom.

ALGORITMI ZA KOREKCIJU DEFORMACIJA UNUTAR *MATLAB*-a

Matlab Image Processing Toolbox pruža sveobuhvatan skup referentno-standardiziranih algoritama i grafičkih alata za obradu slika, analize, vizualizacije i razvoj algoritama. Omogućava poboljšanje slike, uklanjanje 'blur efekata' (zamućenje), otkrivanje određenih značajki na slici, smanjenje šuma, segmentaciju slike i geometrijske transformacije. Pomoću geometrijskih transformacija slike je moguće rotirati, mijenjati im rezoluciju, ispravljati geometrijske deformacije itd.

Image Processing Toolbox podržava jednostavne operacije (mijenjanje veličine, rotiranje, izrezivanje), ali i složenije 2D geometrijske transformacije, kao što su afina i projektivna (translacija, rotacija, promjena mjerila po osima, promjena kuta između koordinatnih osi sustava).

Unutar *Matlab*-a, već implementirane, nalaze se sljedeće najčešće korištene transformacije: linearna (linearno prilagodljiva i djelomično linearna), afina, projektivna, polinomna (stupnja 2, 3 ili 4), LWM (*Local Weighted Mean*). Sve transformacije osim LWM i djelomično linearne su 'globalne', što znači da se jedan matematički model primjenjuje na cijelu sliku. Ostale dvije su 'lokalne' transformacije, koje na različite dijelove slike djeluju sa različitim matematičkim modelom.

Za provođenje bilo koje transformacije prvo nam je potrebna naredba `cp2tform`. Ona koristi parove odabranih referentnih točaka na slici da bi se provela transformacija ili inverzno preslikavanje. Naredba `cp2tform` vraća strukturu `TFORM` koja sadrži prostornu transformaciju. Postupak ovisi o tipu transformacije koju mi zadamo.

Kod afine transformacije dimenzije x i y mogu biti nezavisno skalirane te je transformacija u potpunosti izvediva. Paralelne linije ostaju paralelne i ravne linije ostaju ravne. Koeficijenti inverznog preslikavanja su pohranjeni u `t_affine.tdata.Tinv`. Primjer određivanja afine transformacije slike u kodu:

```
t_affine = cp2tform(input_points,base_points,'affine'); .
```

Nakon projektivne transformacije četverokuti ostaju četverokuti i ravne linije ostaju ravne. Afine transformacije spadaju u podskup projektivnih transformacija. Koeficijenti inverznog preslikavanja su pohranjeni u `t_proj.tdata.Tinv`. Primjer korištenja projektivne transformacije u kodu:

```
t_proj = cp2tform(input_points, base_points, 'projective'); .
```

U polinomnoj transformaciji, polinomna funkcija od x i y određuje preslikavanje. Slijedi primjer korištenja projektivne transformacije u kodu za različite stupnjeve polinoma:

- polinom 2. stupnja

```
t_poly_ord2 = cp2tform(input_points, base_points, 'polynomial');
```

- koeficijenti inverznog preslikavanja su pohranjeni u `t_poly_ord2.tdata`

- polinom 3. stupnja

```
t_poly_ord3 = cp2tform(input_points, base_points, 'polynomial', 3);
```

- koeficijenti inverznog preslikavanja su pohranjeni u `t_poly_ord3.tdata`

- polinom 4. stupnja

```
t_poly_ord4 = cp2tform(input_points, base_points, 'polynomial', 4);
```

- koeficijenti inverznog preslikavanja su pohranjeni u `t_poly_ord4.tdata`

Kod djelomično linearne transformacije, linearne (afine) transformacije se primjenjuju zasebno za svaku trokutastu regiju slike. Prvo se pronalazi Delaunayeva triangulacija¹ baznih referentnih točaka, a zatim koristeći tri vrha svakog trokuta, se provodi afina transformacija baze za unešene koordinate.

U LWM transformaciji se za svaku referentnu točku prvo pronađe N najbližih referentnih točaka. Zatim se te točke koriste zajedno sa svojim odgovarajućim točkama iz originala slike kako bi se dobio polinom drugog reda. Na kraju se računa radijus utjecaja tog polinoma kao udaljenost centralne referentne točke i najudaljenije točke korištene za dobivanje polinoma.

¹ U matematici i računalnoj geometriji Delaunayeva triangulacija za skup točaka P u ravnini je triangulacija $DP(P)$ takva da nijedna točka u skupu P nije unutar opisane kružnice bilo kojeg trokuta u $DP(P)$. Delauney maksimizira minimalni kut svih kutova trokuta u triangulaciji.

IDENTIFIKACIJA ZVIJEZDA

Kako je tema ovoga rada korekcija geometrijskih deformacija fotografija zvjezdanog neba, konkretnije maglice **M29**, u ovom poglavlju biti će ukratko opisani način dobivanja fotografija jako udaljenih nebeskih objekata digitalnim fotoaparatom, postupak korištenja već postojećih kataloga zvijezda te ćemo se dotaknuti problema identifikacije s obzirom na referentni izvor za kalibraciju.

Digitalno oslikavanje projekcije slike okulara (*eng. Eyepiece Projection*) naziva se i okularna projekcija, a to je metoda u kojoj fotoaparat nema objektiv, dok se u fokuseru teleskopa nalazi okular. Znači, slika se projicira iz okulara direktno na fotosenzor fotoaparata. Za takav način snimanja potreban je također adapter za povezivanje aparata i teleskopa. Ukoliko se koristi običan digitalni fotoaparat, najčešće se njegov objektiv ne može skinuti. Takvu podvrstu digitalnog oslikavanja nazivamo *afokalna metoda* – aparat je u neutralnoj poziciji, u ulozi ljudskog oka: ono što se vidi okom kroz okular to vidi i fotoaparat (teleskop je fokusiran na 'beskonačno'). Tom metodom su nastale fotografije koje su služile za izvedbu ovog rada. Na Slici 10 prikazan je teleskop korišten prilikom oslikavanja maglice M29.



Slika 10. Celestron teleskop

Na internetskoj stranici <http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR> dostupan je velik broj kataloga objekata dalekog svemira gdje korisnici mogu odabrati koji točno katalog žele pregledavati i sa kojim specifikacijama. Nakon odabira

potrebnih podataka, dobiva se tablični prikaz zvijezda poredanih po željenom parametru. Na dnu stranice nalaze se i poveznice na slikovni prikaz odabranog područja.

Za izvođenje funkcija u Matlabu potrebni su nam sljedeći podaci iz kataloga Tycho2: oznake zvijezda u katalogima Tycho i GSC (prva tri reda tablice), zatim desno uzdizanje uz 'proper motion', deklinacija te BT i VT magnitude². Vrijednosti će se uzimati sa područja širine 30 kutnih minuta sa maksimalnom magnitudom 14, a količina zvijezda će biti ograničena na 10 000.



Slika 11. Parametri položaja zvijezde

Gore navedene podatke tim redoslijedom upisujemo u .m skriptu naziva M29_region_r30min_mall. Ta funkcija će spremiti parametre iz kataloga Tycho2 u matricu u kojoj će se nalaziti podaci potrebni za daljnje izvođenje transformacija. Istovremeno će se, pomoću desnog uzdizanja i deklinacije, kojima se prikazuje pozicija zvijezde u kutnim stupnjevima, izračunati pozicija pojedine zvijezde u 3D prostoru (odnosno x, y i z koordinate). Za izvođenje zadatka koristiti

² Svjetlina objekta na noćnom nebu. Svjetle zvijezde su opisane malim ili negativnim brojevima, dok su slabo vidljivi objekti opisani velikim vrijednostima. Skala je logaritamska, što znači da je zvijezda magnitude 1 točno 100 puta svjetlija od zvijezde magnitude 6.

ćemo samo koordinate x i y jer treću dimenziju ionako ne možemo prikazati na digitalnoj slici. Slika 12 prikazuje izračun pozicije `pos` i magnitude zvijezde `Vmag`.

```
TYC=ma_tycho2(:,2:4);
ang=ma_tycho2(:,5:6)/180*pi;

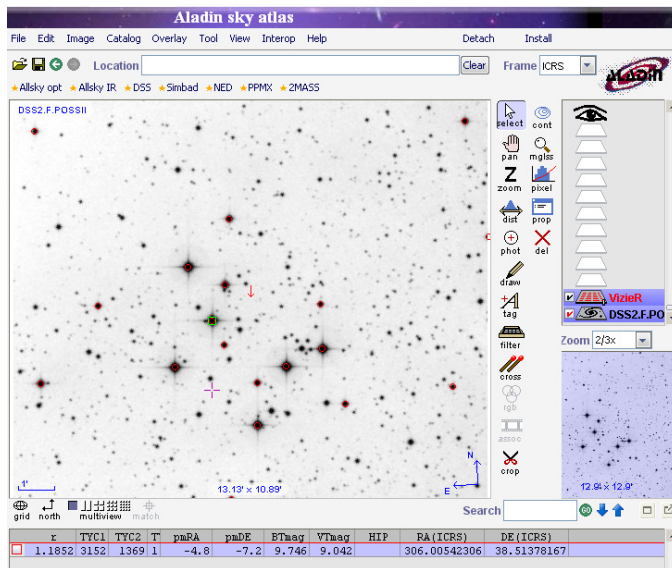
BTmag=ma_tycho2(:,7);
VTmag=ma_tycho2(:,8);
Vmag=VTmag-0.09*(BTmag-VTmag);

x=cos(ang(:,2)).*cos(ang(:,1));
y=cos(ang(:,2)).*sin(ang(:,1));
z=sin(ang(:,2));

pos=[x y z];
```

Slika 12. Dio koda funkcije `M29_region_r30min_mall` za izračunavanje pozicije zvijezda

Kalibracija je po definiciji usporedba između dvije mjere, jedne mjere poznate veličine sa mjerom nepoznate veličine dobivene nekim mjernim uređajem. U našem slučaju uspoređivati će se *VizieR*-ov prikaz položaja zvijezda (poznata veličina) i fotografija maglice snimljena digitalnim fotoaparatom. Povezivanje tih podataka radi se na sljedeći način: Potrebno je napraviti tablicu sa tri stupca koja se popunjuje što većim brojem referentnih zvijezda. Snimljenu fotografiju zvjezdanog neba otvorimo u nekom *picture editoru* (npr. *Photoshop*) i što preciznije odredimo koordinate (u pikselima) najsjajnijih zvijezda na slici. Pomnim uspoređivanjem jedne po jedne, povezujemo broj zvijezde u katalogu sa odgovarajućom zvijezdom na vlastitoj fotografiji i zapisujemo vrijednosti u svaki redak posebno. Na Slici 13 vidljiv je prikaz zvijezda iz odabranog kataloga pomoću alata *Aladin Sky atlas* koji je dio sustava *VizieR*. Izvođenjem skripte `im8161_stack_ref_stars` svi podaci se spremaju u matricu `ref_st` koja je zatim spremna za daljnje korištenje.



Slika 13. Grafički prikaz odabrane maglice pomoću sustava VizieR

'Proper motion' zvijezde je njezina kutna promjena položaja tokom vremena ovisno o centru mase solarnog sustava. Mjeri se u kutnim sekundama po godini (arcsec/yr), gdje 3600 arcsekundi odgovara jednom stupnju. Kod određivanja 'proper motion'-a nebeskog objekta (jer svaki objekt ima individualnu brzinu kretanja) treba uzeti u obzir također kretanje samog sustava te zbog toga ne možemo odrediti u potpunosti točan iznos. Još jedan razlog tomu su i jako velike udaljenosti izvora svjetlosti. 'Proper motion' koji se određuje na temelju zabilježenih promjena položaja je samo odraz originalnog kretanja objekta koji se dogodio u trenutku kada je svjetlost stvarno emitirana. No, zbog vrlo malog područja kojime se u ovom radu bavimo, taj parametar se neće uzimati u obzir.

IDEJNO RJEŠENJE ZADATKA

Postupci opisani u prethodnom poglavlju koristit će nam za provedbu rješenja osnovnog zadatka – uklanjanje geometrijske deformacije na fotografiji maglice M29 nastale digitalnim oslikavanjem. No, pribavljanje i korištenje podataka iz već postojećih kataloga (kao što su Tycho2, GSC, itd.) može se koristiti i za bilo koju drugu svrhu uz odabir prikaza potrebnih informacija o nekom

dijelu svemira. U nastavku teksta biti će opisana ideja rješenja zadatka te korištenja ranije pripremljenih tablica.

Fotografije nastale digitalnim fotoaparatom gotovo uvijek imaju neke deformacije. Prvo što je potrebno učiniti jest odrediti vrstu te deformacije te ukoliko se radi o nekoj pravilnoj, moguće ju je odmah ispraviti već implementiranim funkcijama transformacija. U najčešćem slučaju deformacije nisu pravilne, te je potrebno koristiti polinomnu i LWM transformaciju. Kao što je ranije već opisano, za polinomnu transformaciju potrebna su dva para koordinata – koordinate piksela na originalnoj, pravilnoj slici te koordinate na slici sa deformacijom. Usporedbom ta dva podatka kroz cijelu fotografiju, može se dobiti poprilično točna polinomna funkcija deformacije na slici. Kada se napravi inverz funkcije te se taj inverz primjeni na fotografiju, deformacija se uklanja.

LWM transformacija služi za ispravljanje potpuno nepravilnih geometrijskih deformacija, no kod nje nalazimo na neka ograničenja. LWM radi na principu ispravljanja slike samo na određenom radijusu oko referentne točke. Ukoliko se deformacija nalazi i na rubovima okvira, gdje nema označenih zvijezda, LWM ne zna na koji način da ispravi to područje. Isto tako, transformacija je ograničena brojem referentnih točaka, tako da ukoliko na popisu ima više od 30-40 pronađenih referentnih zvijezda, LWM neće znati izračunati model po kojem bi se slika sa deformacijom ispravila. Upravo zbog takvih nedostataka ima slučajeva kada je efikasnije koristiti geometrijsku transformaciju.

Kako bi odredili položaje zvijezda na fotografiji sa deformacijom, koristiti će se skripta `point_stars_on_image` koja analizom slike pronalazi najsvjetlije dijelove (što je osnovna procedura kod pronalaženja zvijezda na fotografiji – gledaju se pikseli sa najvećim vrijednostima) te se od korisnika programa traži da ručno označi središte zvijezde i njen oblik po slojevima svjetline. Nakon toga se računa polinomna funkcija deformacije digitalne fotografije.

Za bolji i precizniji efekt, postupak se najčešće ponavlja nekoliko puta i time smanjujemo svaki puta srednju kvadratnu pogrešku transformacije m_t . Koordinate na slici sa deformacijom određene su u matrici `ref_st` koja se dobiva 'ručnom' usporedbom i zapisom koordinata piksela.

IMPLEMENTACIJA ALGORITMA

Posljednje poglavlje opisivati će praktičnu primjenu dosad objašnjenih pojmova, sakupljenih potrebnih podataka te implementaciju algoritama za ispravljanje geometrijskih deformacija u programskoj okolini *Matlab*. Rješenje problema biti će izvedeno pomoću tri glavne skripte, u kojoj će dodatno biti implementirane funkcije radi jednostavnijeg i preglednijeg izvođenja algoritma.

DETEKCIJA GEOMETRIJSKE DEFORMACIJE

Rad ćemo započeti pripremom dviju funkcija, `M29_region_r30min_mall` i `im8161_stack_ref_stars` (broj 8161 je oznaka slike) na već opisan način u prethodnom poglavlju. One će nam biti potrebne u prvoj skripti koja se pokreće, a to je `proc_base`. Na samom početku skripte potrebno je odabrati vrstu kamere kojom je digitalna fotografija nastala da bi program znao sa kojom maksimalnom rezolucijom barata. Slijedi učitavanje već popunjenih kataloga sazviježđa i imena zvijezda. Nakon toga dolazimo do glavnog dijela ove skripte, a to je pronalazak odgovarajuće transformacije za dani set referentnih zvijezda. Prvo upisujemo željenu minimalnu magnitudu zvijezda koje će biti izdvojene iz tablice sa podacima i koje ćemo tražiti na fotografiji. Sljedeće je potrebno zabilježiti točan naziv (broj) fotografije, za koju je bitno da obavezno bude u istom direktoriju kao i sve skripte i funkcije koje se koriste. U nastavku koristimo postojeće funkcije `im8161_stack_ref_stars` i `M29_region_r30min_mall` iz kojih se računa broj referentnih točaka zabilježenih u tablici te osnovni podaci iz kataloga.

Na Slici 14 prikazan je dio koda gdje se vide netom opisane stavke koje je potrebno ručno promijeniti u skripti.

```

out_gen=0;
n_stack=1;
redf=1; % faktor redukcije veličine frame-a
redf2=1.2; % faktor ekspanzije
min_mag=14; % Minimalna magnituda zvijezda

plot_star_dots=0;
min_di=10; % najmanja dozvoljena udaljenost duplih
           % zvijezda

stick_offset=10;
star_based_annot=1;
ar=1; % Initial aspect ratio ar=ky/kx

img_num=8161; % naziv fotografije
im8161_stack_ref_stars; % tablica referentnih zvijezda
n_ref=size(ref_st,1); % broj referentnih zvijezda
BD=zeros(n_ref,1);
if (read_database==1 && Tycho2==1),

    TYC,ang_tyc,pos_tyc,Vmag_tyc,BTmag_tyc,VTmag_tyc]=
    M29_region_r30min_mall;
    ang=[ang; ang_tyc];
    pos=[pos; pos_tyc];
    Vmag=[Vmag; Vmag_tyc];
    coni=[con; ones(size(Vmag_tyc))];

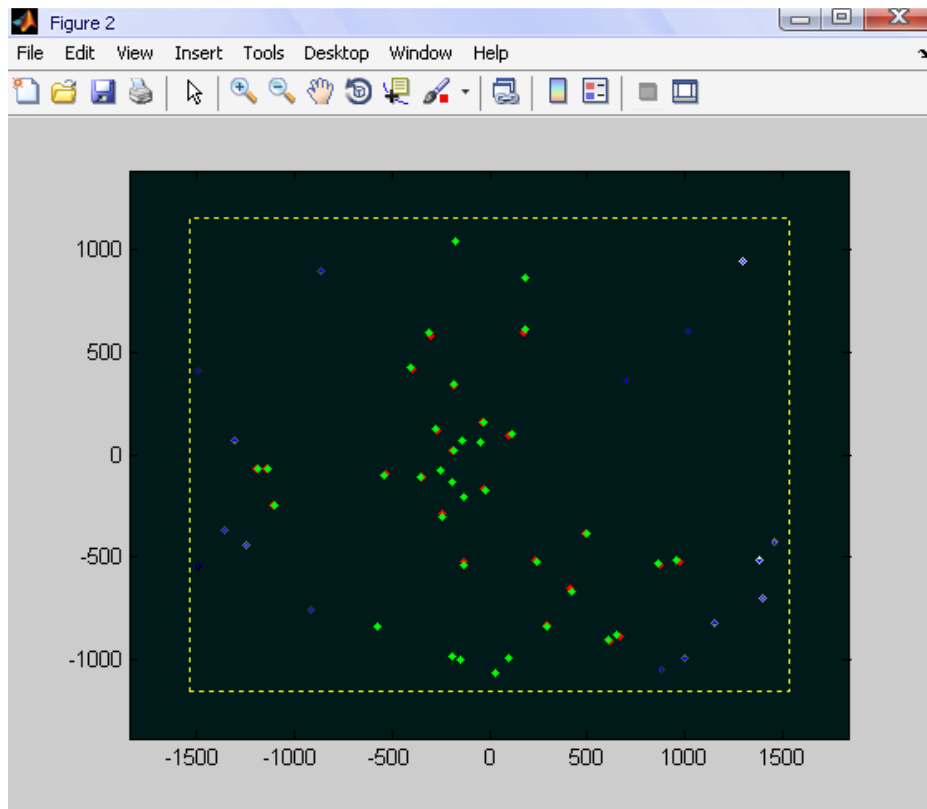
end;

```

Slika 14. Dio koda koji prikazuje unos potrebnih funkcija i parametara

Kako bi uspješno podesili da se poklapaju naša fotografija nastala digitalnim oslikavanjem, za koju smo odredili skup referentnih zvijezda, i već postojeći katalogizirani podaci o maglici M29, potrebni su sljedeći postupci: Transformacija koordinata referentnih zvijezda u pozitivan/negativan koordinatni sustav centriran u sredinu slike. Zatim slijedi optimizacija parametara i rotacija same slike. Nakon rotacije sve referentne zvijezde se projiciraju na *frame* te se moraju izdvojiti samo one zvijezde koje su unutar *frame*-a i odabrane magnitude.

Na sljedećoj slici prikazan je rezultat izvođenja skripte `proc_base`. Kao što možemo primjetiti, označene su naše referentne točke (zelene boje) i očekivane koordinate parova referentnih zvijezda (crvene boje). Zvijezde se uglavnom poklapaju, što znači da postoji deformacija na fotografiji, a možemo zaključiti i da se ne radi o nikakvoj linearnoj deformaciji jer odstupanja idu u svim smjerovima, nisu pravilna.



Slika 15. Usporedba koordinata referentnih zvijezda i pozicija iz kataloga

Sada kada su naša fotografija i originalna slika 'poravnate', može se krenuti sa preciznim označavanjem koordinata referentnih zvijezda. U glavnom programu pokreće se skripta `point_stars_on_image`, koju smo prethodno samo upisali točan naziv fotografije koja se obrađuje. Skripta učitava sliku te ju pretvara u crno-bijelu radi jednostavnije detekcije zvijezda i njihovih središta. Za očekivati je da će središte zvijezde biti najsvjetlije, a ako se svjetlost oko centra ne širi relativno radijalno može se pretpostaviti da se radi o takozvanoj *duploj zvijezdi*. Dio koda koji prolazi kroz svaku referentnu zvijezdu i računa potrebne parametre prikazan je na Slici 16.

```

for i=1:bs, % petlja za sve referentne zvijezde

figure(1) % prikaz očekivanog područja
axis([xc(i)-R2 xc(i)+R2 yc(i)-R2 yc(i)+R2]);
title(sprintf('i=%d Klik na zvijezdu ili ENT ako je nema',i));
gpoz=ginput(1); % kliknuta pozicija
if (length(gpoz)==0), % ako nema zvijezde, idi dalje
    foun(i)=0;
    continue;
end;
foun(i)=1; % zvijezda pronađena
pozxy(i,:)=gpoz; % spremi inicijalnu poziciju
plot(xc(i),yc(i),'*b',...
     pozxy(i,1),pozxy(i,2),'rx',...
     [xc(i) pozxy(i,1)],[yc(i) pozxy(i,2)],'b');
hold off;
pozt=round(pozxy(i,:)); % zaokružena odabrana pozicija
x_mi=max(1,pozt(1)-R); % lijevi rub
y_mi=max(1,pozt(2)-R); % gornji rub
x_ma=min(sx,pozt(1)+R); % desni rub
y_ma=min(sy,pozt(2)+R); % donji rub

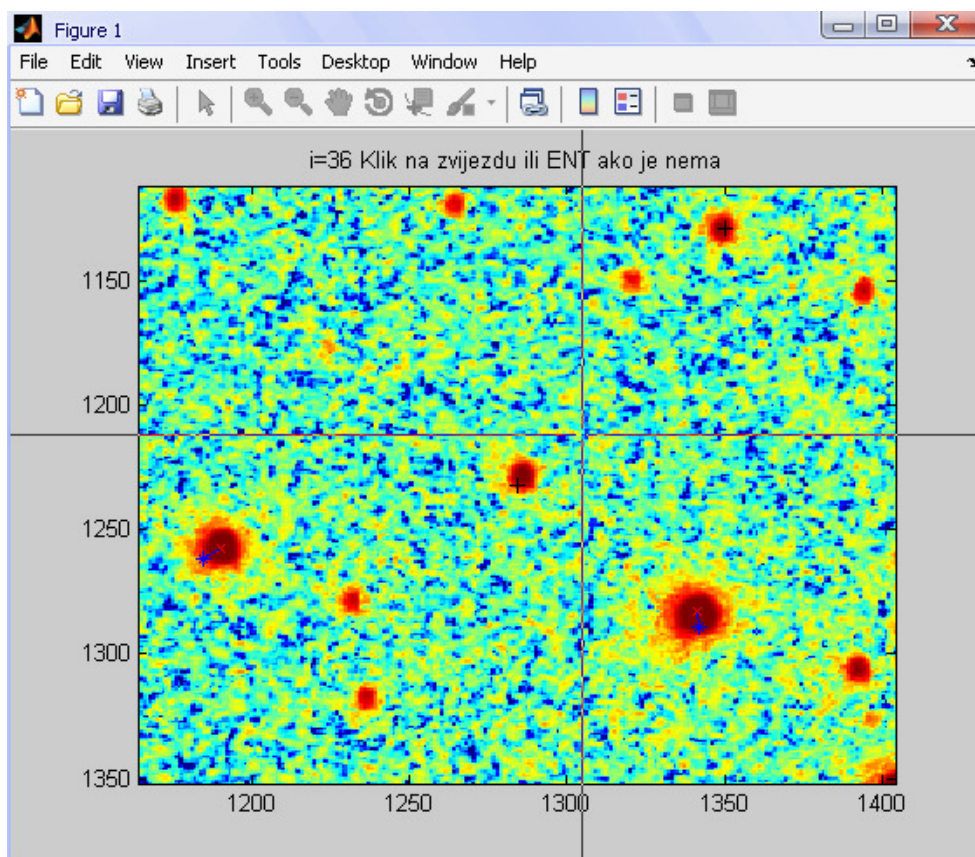
xi=[-R*in:R*in]/in; % interpolirana x-os
xm=ones(length(xi),1)*xi;% x-matrica
ym=xm'; % y-matrica
yi=zeros(length(xo),length(xi));
for j=1:length(xo),
    yi(j,:)=spline(xo,zd(j,:),xi); % interpolacija j-tog retka
end;
yii=zeros(length(xi),length(xi));
for j=1:length(yi),
    yii(:,j)=spline(xo,yi(:,j),xi)'; % interpol. j-tog stupca
end;
figure(7); % prikaz interpoliranog područja
imagesc(xi,xi,yii);colormap jet;colorbar;
cen_ran=[-R3*in:R3*in]; % izdvoji središnji dio označenog dijela
yii_cen=yii(R*in+1+cen_ran,R*in+1+cen_ran);
[mz,myi]=max(yii_cen); % traži maksimum
[mz,mxi]=max(mz);
myi=myi(mxi);
ma_x(i)=xi(mxi)+pozt(1); % spremi maksimum
ma_y(i)=xi(myi)+pozt(2);
ma_z(i)=mz;
figure(8);
contour(yiif,[0.1:0.1:0.9]*mz);
title('Klikni na konturu zvijezde');
poz_edge=round(ginput(1));
edge=yiif(poz_edge(2),poz_edge(1));
edg(i)=edge/mz;
figure(7) % prikaz interpoliranog odabranog oblika
imagesc(xi,xi,bw3);

end;

```

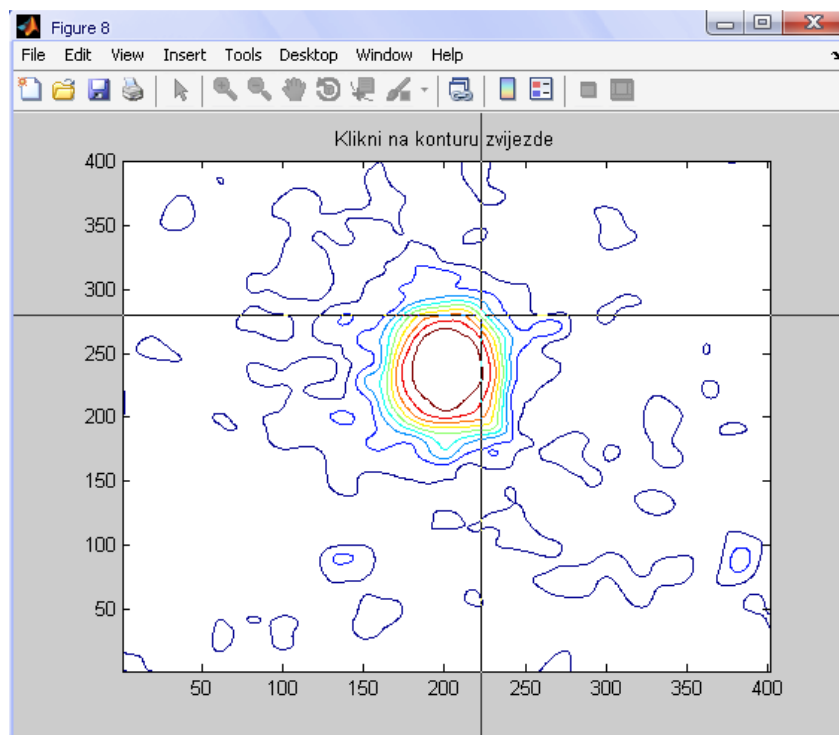
Slika 16. Dio koda za označavanje zvijezda od strane korisnika programa

Pokretanjem skripte odmah nam se na ekranu prikazuje slika očekivanog područja prve zvijezde. Ukoliko korisnik prepozna zvijezdu na tom području, potrebno je klikom miša označiti središte zvijezde. Koordinate označenog središta koristiti će se u izračunu polinomne funkcije kao parametar iz slike sa deformacijom. Ako na slici nema strukture zvijezde, slika se preskače pritiskom tipke *Enter*. Nakon određivanja središta, prikazuje se uvećana zvijezda sa nekoliko slojeva svjetline gdje je potrebno označiti 'pravi' dio zvijezde, što je korisno ukoliko se radi o duploj zvijezdi da ih program ne prepozna kao jednu. Zatim se prikaže netom odabran 'oblik zvijezde', te se kreće na sljedeću referentnu zvijezdu. Na sljedećim slikama prikazan je upravo opisan postupak.

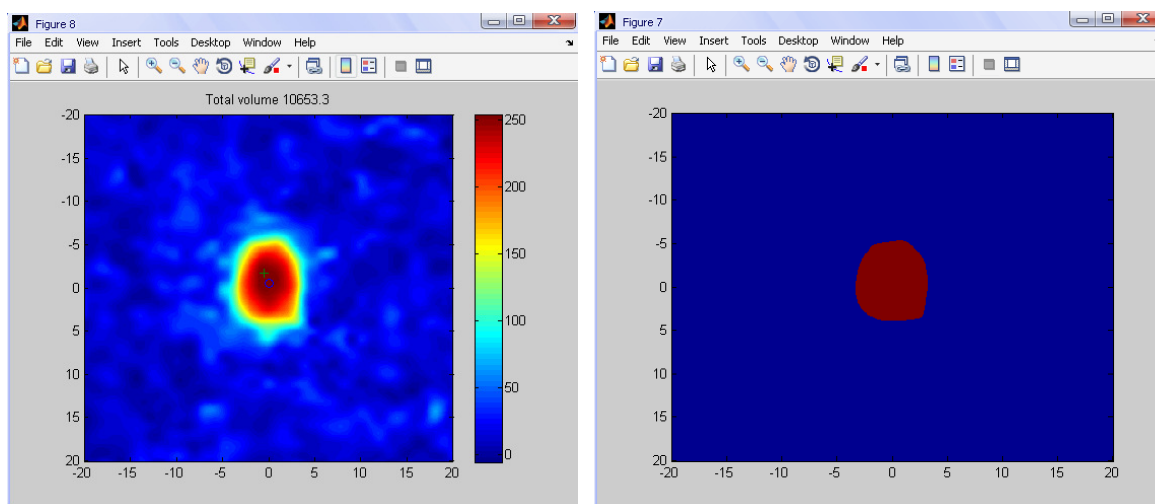


Slika 17. Odabir središta referentne zvijezde

Ovdje možemo vidjeti i označena središta u prethodnim koracima te kako su vektori razlike pod različitim kutovima. Po tome je jasno vidljivo da se na ovoj fotografiji radi o nelinearnoj deformaciji.



Slika 18. Odabir korisnog dijela zvijezde



Slika 19. Lijevo – dva različita središta, desno - oblik zvijezde

Slika 18 prikazuje uvećani prikaz referentne zvijezde i nekoliko slojeva jačine njezine svjetlosti. Na Slici 19 vidi se razlika između stvarnog i izračunatog središta zvijezde.

Kao rezultat izvođenja `point_stars_on_image` skripte, u glavni program ispisuje se nova tablica koja sadrži broj zvijezde u Tycho2 katalogu i koordinate referentnih zvijezda. Rješenje jednostavno kopiramo te ih ubacimo u novu funkciju, npr. `im8161_stack_ref_stars_2`. Ponovno se pokreće glavna skripta `proc_base`, nakon nje `point_stars_on_image`, itd. Postupak bi bilo dobro ponoviti nekoliko puta jer sa svakim ručnim odabirom središta referentnih zvijezda dobivamo točnije koordinate iz kojih se kasnije računa polinomna funkcija, čiji će inverz na kraju i ispraviti deformacije na fotografiji.

POLINOMNA FUNKCIJA GEOMETRIJSKE DEFORMACIJE

Posljednja skripta za otkrivanje deformacije koju je potrebno izvršiti zove se `bazu_prilagodi_slici`. Ona izvršava više različitih transformacija kako bi na kraju dobili optimalan rezultat ispravljanja geometrijske deformacije.

Ulazne vrijednosti funkcije su **xy** ((x,y) parovi pozicija referentnih zvijezda na slici u koordinatnom sustavu s ishodištem u sredini slike), **xybr** ((x,y) parovi najboljeg linearnog modela odgovarajućih pozicija referentnih zvijezda iz kataloga koje su projicirane u frame i najbolje odgovaraju (x,y) parovima) i **xyb** (isto kao i `xybr`, samo što su ovdje i sve odabrane zvijezde iz kataloga, a ne samo referentne). Pomoću tih vrijednosti računa se model preslikavanja polinomnom transformacijom iz stvarnih pozicija na slici u linearni model kataloga i sprema se u strukturu `t_param`. Nju ćemo koristiti dalje za inverzno transformiranje referentnih zvijezda u frame i posebno svih zvijezda u bazi iz kataloga.

Usporedbom stvarnih pozicija na slici i kataloga koji je inverzno nelinearno modificiran da odgovara slici može se izračunati razlika i pogreške pri transformaciji. Kada se ta razlika prikaže slikom (radi lakše usporedbe oba skupa zvijezda crtamo na jedan graf) može se vidjeti sitan pomak u parovima originalnih koordinata i referentnih zvijezda). Sljedeća slika prikazuje dio upravo opisanog koda.

```

typ='polynomial';
ord=3;

if (typ=='polynomial'),           % traži linearni model
    t_param=cp2tform(xy,xybr,typ,ord);
else,
    t_param=cp2tform(xy,xybr,typ);
end;

xy_i=tforminv(t_param,xybr); % inverzne transformacije
xyb_i=tforminv(t_param,xyb);

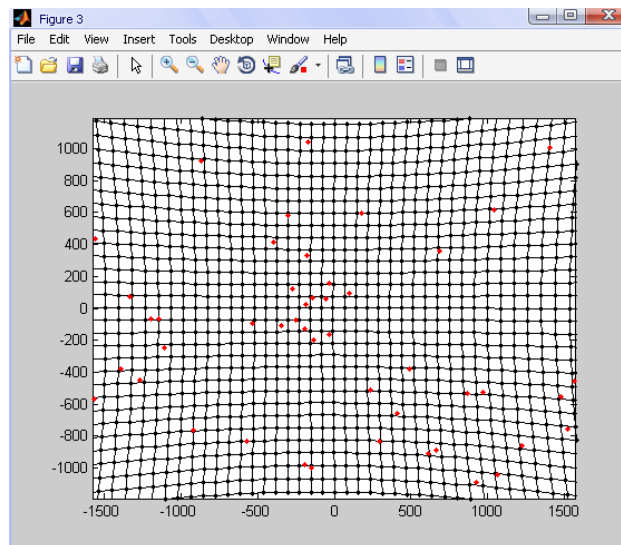
er=xy_i-xy;                       % pogreške
rms_trans=sqrt(sum(mean(er.^2)));
max_trans=max(sqrt(sum((er').^2)));
mea_trans=mean(sqrt(sum((er').^2)));
disp([rms_trans; max_trans; mea_trans])

figure(4);                          % grafički prikaz razlike
plot(xy_i(:,1),xy_i(:,2),'.',xy(:,1),xy(:,2),'.')

```

Slika 20. Dio koda za računanje polinomne transformacije

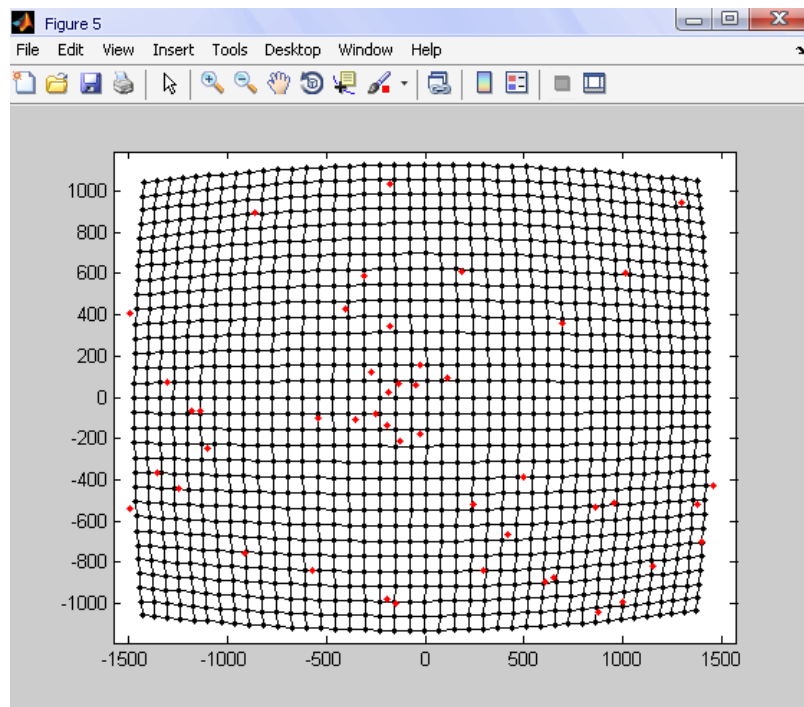
Za prikaz geometrijske deformacije koristit će se matrični prikaz, što i logično odgovara dvodimenzionalnom sustavu - slici. Inverzno ćemo transformirati pravilnu mrežu iz domene kataloga u domenu slike korištenjem inverzne transformacije. Rezultat prebacimo u matrični oblik i prikažemo ga grafički. Na slici se nalaze 'izobličena' mreža koja prikazuje geometrijsku deformaciju i crvene točkice koje predstavljaju vrijednosti xyb.



Slika 21. Geometrijska deformacija fotografije

Sada kada imamo pravilni grid možemo odrediti LWM transformaciju u oba smjera kojom rješavamo problem nepostojanja inverza od t_param . Dvostrukim inverzom možemo stvarne pozicije na slici prebaciti u domenu kataloga što odgovara forward transformaciji koja se ne može dobiti izravno iz t_param . Radi kontrole inverznosti vraćamo nazad stvarne pozicije u domenu slike pomoću inverza polazne transformacije.

Korištenjem dvostrukog inverza LWM modela izračuna se FWD transformacija iz domene slike u domenu kataloga, te isto tako grafički prikazemo matrični FWD model sa pozicijama referentnih zvijezda prema najboljem linearnom modelu kataloga.



Slika 22. Matrični model za transformaciju pozicija zvijezda na slici

U glavnom programu, na temelju formule o pogrešci transformacije (7), za sliku im8161 ispisuju se sljedeći rezultati:

Maksimalna apsolutna pogreška dvije INV transformacije (0.0796, 0.1137).

Maksimalna apsolutna pogreška inverznosti LWM modela (0.0070, 0.0055).

TRANSFORMACIJE FOTOGRAFIJA

Nakon dobivenih modela za inverznu transformaciju slika sa geometrijskom deformacijom, još je samo preostalo tu transformaciju primjeniti na skup fotografija maglice M29 nastale digitalnim oslikavanjem projekcije okulara. Ispravljanje započinjemo popunjavanjem funkcije `rot_params_autofind_M2` koju koristi glavna skripta za ispravljanje, `geom_corr_img`, čijim izvršavanjem dobivamo 'paket' korektiranih fotografija. Na sljedećoj slici prikazan je postupak pripremanja funkcije `rot_params_autofind_M2`.

```
im_pref='D:\Sumiga_ZR\M29_2\'; % lokacija ulaznih slika
imo_pref='D:\Sumiga_ZR\M29_2\'; % lokacija transformiranih slika

im_seq=[ % popis slika za korekciju
'IMG_8111.JPG'
'IMG_8112.jpg'
'IMG_8113.jpg'
'IMG_8114.jpg'
'IMG_8115.jpg'
'IMG_8116.jpg'
'IMG_8117.jpg'
...
'IMG_8203.jpg'
'IMG_8204.jpg'
'IMG_8205.jpg'
'IMG_8206.jpg'
'IMG_8207.jpg'
];

qual=3*ones(1,96);
qual=qual(:);

qual_ok=find(qual>=2);
im_seq=im_seq(qual_ok,:);
qual=qual(qual_ok);

mir_img=1;
[TYC,ang_tyc,pos_tyc,Vmag_tyc,BTmag_tyc,VTmag_tyc]=M29_region_r30min_mall;
```

Slika 23. Dio koda za prikaz slika koje treba ispraviti

Pokretanjem skripte `geom_corr_img` započinje transformacija odabranih fotografija i izvršava se ranije objašnjena funkcija `rot_params_autofind_M2`. Nakon toga slijedi korekcija slike te zapisivanje transformiranih fotografija u željenom obliku i formatu. Za veličinu slike uzima se originalan format ulazne fotografije. Slika 24 prikazuje samo najbitniji dio koda skripte `geom_corr_img`.

```
tim2=imtransform(im,tp_param,'FillValues',0,...
                'XData',[1 size(im,2)],...
                'YData',[1 size(im,1)]);

naziv_out=[imo_pref 'g' im_seq(i_img,:)];
imwrite(tim2,naziv_out,'JPG','Quality',100);
```

Slika 24. Dio koda za transformaciju ulaznih slika

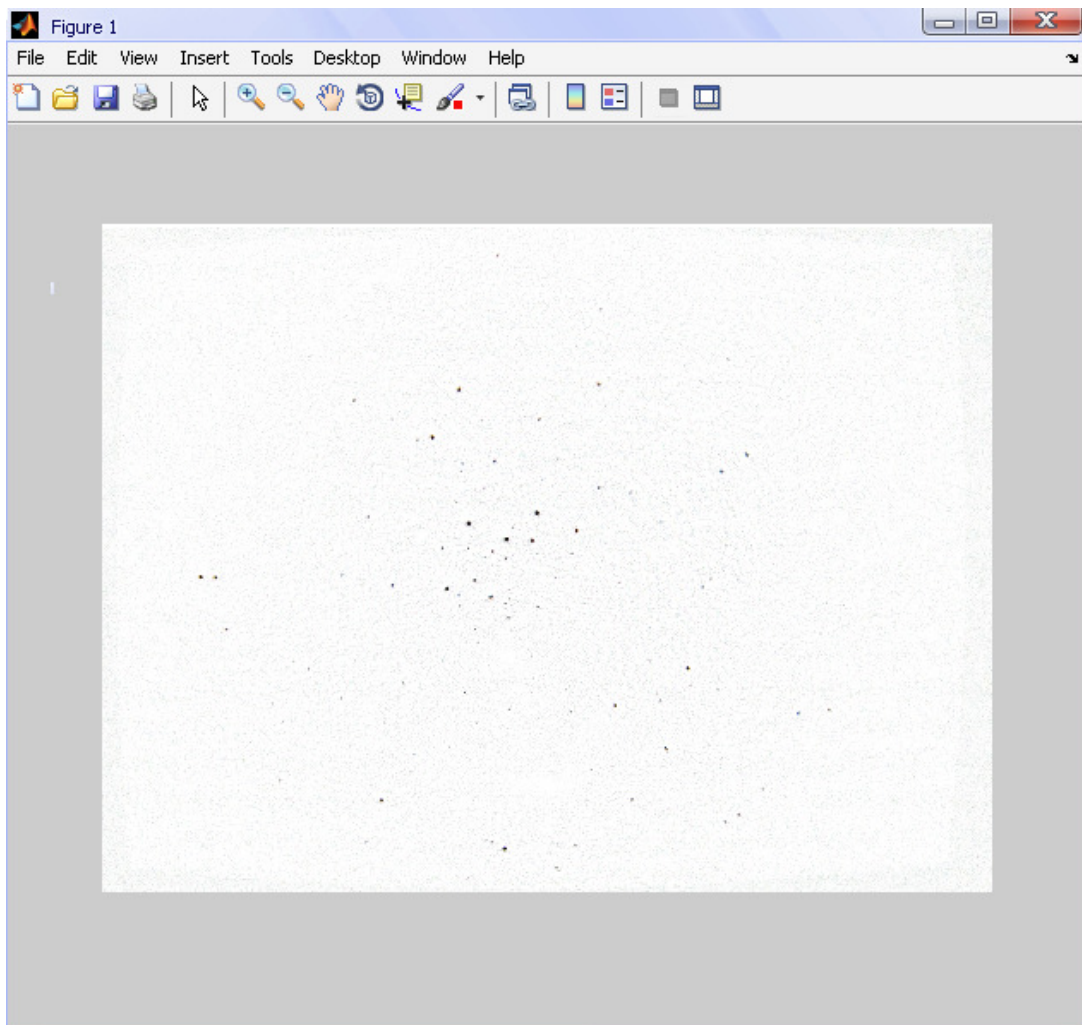
Kao što je vidljivo na slici, *Matlab*-ova funkcija `imtransform` koristi sljedeće parametre: ulaznu sliku, strukturu `tp_param` popunjenu izvođenjem funkcije `bazu_prilagodi_slici` a za sve piksele koji bi ostavili prazninu nakon korekcije dodaje se piksel sa vrijednosti 0, tj. crna boja. Naziv fotografije je prijašnji naziv sa prefiksom 'g' što označava da je slika geometrijski transformirana. Krajnji rezultat korekcije pokazan je na slikama sljedećim slikama.



Slika 25. Fotografija maglice M29 prije i poslije geometrijske transformacije

Kako su razlike fotografija na Slici 25 vrlo slabo vidljive, jednostavnom operacijom oduzimanja originalne slike od ispravljene u *Matlab*-u se može dobiti

bolji prikaz geometrijske korekcije. Slika 26 prikazuje matematičku razliku tih dviju fotografija, još dodatno komplementiranu da bi rezultat bio lakše uočljiv.



Slika 26. Razlika ispravljene i originalne fotografije maglice M29

ZAKLJUČAK

Korekcija geometrijskih deformacija na fotografijama u sustavima za digitalno oslikavanje može se provoditi na mnogo načina. Razne funkcije za transformacije već su implementirane i ugrađene u programe koji služe za obradu slika i izmjenjivanje njihovih parametara. Isto tako se pomoću tih funkcija mogu nadograditi programi koji bi onda bili prilagođeni za određeni zadatak. Na taj način je riješen problem identifikacije izobličenja fotografija maglice M29 te njihovog ispravljanja u programskoj okolini *Matlab*.

Kako bi dobili vjerni prikaz nekog nebeskog objekta, koji je toliko udaljen od objektiva i gdje postoji vrlo mala osvjetljenost, nakon ispravljanja deformacija na način opisan u ovom radu potrebno je još nekoliko koraka za obradu fotografije koji su izvan domene zadanog zadatka.

Unatoč tome što se u krajnjem slučaju do formule geometrijske transformacije dolazi aproksimacijom korisnika i ovisi o njegovoj preciznosti označavanja referentnih točaka, označavanja središta zvijezda te broju izvođenja određenih skripti, implementirani algoritam odrađuje svoj zadatak vrlo korektno. Nakon korekcije snimljene fotografije dobiva se prikaz odabranog kadra kao da je nastao digitalnim sustavom savršenih specifikacija na pozadini koja mirno stoji. Pomicanje pozadine je također dosta veliki problem kod oslikavanja nebeskih tijela koja se kreću pa se pojavljuju razlike u pozicijama nakon određenog broja nastalih fotografija.

Astrofotografija kao znanost je još relativno mlada pa samim time i obrada slika zvjezdanog neba. Zsigurno se ne mogu primjenjivati isti postupci kao za oslikavanje npr. prirode i potrebno je prilagoditi sustave za digitalno oslikavanje svemira na tu razinu. Tada će i same deformacije slika biti manje ili drugačije pa će se i algoritmi za njihovo ispravljanje usporedno mijenjati.

LITERATURA

1. Reponj D., Štajcar B., Gazibara B., etc. (skupina autora) *Vodič kroz digitalnu astrofotografiju* (2009)
2. de Villiers J. P., Leuschner F.W., Geldenhuys R. *Centi-pixel accurate real-time inverse distortion correction* (2008)
3. Knippers R.A, Hendrikse J. *Coordinate transformations*
4. VizieR catalogs, katalog *Tycho2*, <http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR>
5. [http://en.wikipedia.org/wiki/Distortion_\(optics\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Distortion_(optics))
6. <http://www.cambridgeincolour.com/lens-corrections.htm>

SAŽETAK

Naslov rada:

Identifikacija i korekcija geometrijskih deformacija slika u sustavima za digitalno oslikavanje

U okviru rada razmatrani su algoritmi za identifikaciju i korekciju geometrijskih deformacija pomoću inverznih prostornih transformacija digitalne fotografije. Opisane su vrste geometrijskih deformacija koje se mogu pojaviti na fotografijama zbog fizičkog nedostatka leće ili nestručnog rukovanja opremom.

Kod izvođenja implementiranog sustava, koristeći referentne zvijezde čije pozicije je potrebno odrediti kao koordinate piksela na slici, algoritam računa polinomnu funkciju koja opisuje izobličenje slike s obzirom na položaje zabilježene u *Tycho2* katalogu. Pomoću inverza dobivene funkcije djeluje na originalnu fotografiju te se kao rezultat dobiva fotografija bez identificirane geometrijske deformacije.

Ključne riječi:

astrofotografija, katalog zvijezda, geometrijska deformacija, transformacija

SUMMARY

Title:

Identification and Correction of Geometric Image Deformations in Digital Imaging Systems

This thesis discussed algorithms for the identification and correction of geometric distortions using the inverse spatial transformation of digital photography. The types of geometric distortions that may appear in the images because of physical damaged lenses or improper equipment handling were also described.

When executing the implemented system, using reference stars whose positions are specified as the coordinates of pixels in the image, the algorithm computes polynomial function describing the distortion due to the positions from *Tycho2* catalog. Using the inverse function of the obtained function, algorithm transforms original image and as a result we get an image without previously identified geometric deformation.

Keywords:

astrophotography, stars catalog, geometric deformation, transformation