**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

**Obrada slike i računalni vid**

**SEMINARSKI RAD**

„Implementacija afine registracije slike“

Matej Karapetrić

**Osijek, 2024.**

**Sadržaj**

[1. Uvod 3](#_gjdgxs)

[2. Generiranje target i moving slike 4](#_30j0zll)

[3. Harrisova detekcija kutova 6](#_1fob9te)

[4. Translacija moving slike 12](#_3znysh7)

[5. Rotacija moving slike 15](#_2et92p0)

[6. Skaliranje moving slike 20](#_tyjcwt)

[7. Zaključak 23](#_3dy6vkm)

[8. Literatura 23](#_1t3h5sf)

### 1. Uvod

U ovom seminaru ćemo prikazati implementirani postupak afine registracije slike u programskom jeziku Python koristeći samo biblioteku za rad s matricama (NumPy) i matematičke operacije.

Registracija slike je postupak usklađivanja dviju ili više slika kako bi se postiglo preklapanje istih obilježja ili struktura [1]. Proces svake registracije slike čini detekcija značajki, podudaranje značajki, procjena modela transformacije te ponovno uzorkovanje i transformacija slike. Prvo se obavlja detekcija značajki što je proces pronalaženja specifičnih dijelova slike koji su zanimljivi ili karakteristični, u našem slučaju vrhovi pravokutnika. Nakon toga, slijedi podudaranje značajki što je proces uspoređivanja značajki između dvije ili više slika kako bi se pronašle odgovarajuće značajke između njih, što omogućava njihovo poravnanje. Kada se značajke usporede, na redu je procjena modela transformacije što je postupak određivanja matematičkog modela koji ovisi o transformaciji koju želimo izvršiti, a u našem slučaju to će biti translacija, rotacija i skaliranje. Ponovno uzorkovanje i transformacija slike je zadnji korak registracije slike i to je proces promjene veličine, rotacije, pomicanja ili drugih transformacija slike, uz korištenje algoritama za ponovno uzorkovanje kako bi se očuvala kvaliteta slike prilikom transformacije. Postoji više metoda registracije slike, a glavne kategorije metoda su ručna registracija, automatska registracija, intenzitetna registracija i deformabilna registracija. U ručnoj registraciji korisnik ručno označava točke na slikama koje se koriste kao značajke, u automatskoj registraciji se preko algoritama automatski određuje transformacija slike, u intenzitetnoj registraciji se usklađuju intenziteti pikseli između slika koristeći intenzitetske razlike ili slične metrike, a deformabilna registracija se koristi kada se slike međusobno razlikuju po obliku ili veličini. U ovom seminarskom radu se koristi automatska registracija za pronalazak značajki i prikladne transformacije slika.

Afine transformacije su matematičke transformacije kojima je zadatak očuvati pravce i paralelnost te su jedan od načina registracije slike [2]. Osnovne afine transformacije uključuju translaciju, rotaciju i skaliranje, koje ćemo sve koristiti u ovom radu. Transformacijska matrica za afine transformacije je 3x3 matrica koja uključuje rotacijske, skalirane i translacijske komponente u ovisnosti koju transformaciju želimo [2]. Uz afinu transformaciju koristit ćemo i interpolaciju. Interpolacija je proces određivanja vrijednosti piksela između poznatih vrijednosti u digitalnoj slici [3]. Koristi se prilikom transformacije slika kako bi se očuvala kvaliteta slike. Primjeri interpolacijskih metoda su nearest neighbor, bilinearna interpolacija i bikubična interpolacija [3]. U ovom seminaru će se koristiti bilinearna interpolacija koja koristi težinske faktore kako bi izračunala vrijednost piksela između četiri susjedna piksela sa slike, stvarajući glatku tranziciju između intenziteta piksela [4].

U registraciji slika, imamo dvije slike: target i moving sliku. Slike na kojima algoritam radi su vrlo jednostavne. Target slika je generirana tako da se sa OpenCV bibliotekom nacrta pravokutnik nasumičnih dimenzija, a moving slika je taj pravokutnik nasumično rotiran, skaliran i translatiran. U konačnici, moving slika je transformirana tako da izgleda kao target slika, odnosno vraćena je natrag kakva je i bila.

### 2. Generiranje target i moving slike

Prvo je potrebno generirati target i moving slike. To je napravljeno uz pomoć NumPy biblioteke za određivanje nasumičnih vrijednosti i OpenCV biblioteke za iscrtavanje pravokutnika te početnu afinu transformaciju target slike u moving sliku.

Prije svega potrebno je dodati biblioteke koje će biti korištene u kodu.

Slika na kojoj se prikazuje tekst, snimka zaslona, Font, posjetnica

Opis je automatski generiran

Na početku se stvara target slika koja će služiti kao temelj za stvaranje moving slike i kao cilj za transformaciju te moving slike.

Slika na kojoj se prikazuje tekst, zaslon, snimka zaslona, softver

Opis je automatski generiran

Jedan primjer target slike izgleda ovako:

Slika na kojoj se prikazuje Trokut, dijagram, crta, snimka zaslona

Opis je automatski generiran

Nakon toga, target slika je nasumično translatirana, rotirana i skalirana kako bi dobili moving sliku.

Slika na kojoj se prikazuje tekst, snimka zaslona, zaslon, Font

Opis je automatski generiran

Jedan primjer moving slike izgleda ovako:

Slika na kojoj se prikazuje dijagram, snimka zaslona, Trokut, crta

Opis je automatski generiran

### 3. Harrisova detekcija kutova

Harrisova detekcija kutova je tehnika u računalnom vidu i obradi slike koja se koristi za pronalaženje kutova ili "cornera" na slici [5]. Ova tehnika je korisna u raznim slučajevima, uključujući praćenje pokreta, registraciju slika i prepoznavanje objekata.

Glavna ideja iza Harrisove detekcije kutova je da kutovi imaju karakteristične promjene u intenzitetu piksela kada se gledaju u različitim smjerovima [5]. Kod promatranja slike pravokutnika, rubovi pravokutnika imaju nagli prijelaz u intenzitetu piksela, dok unutarnji dijelovi pravokutnika imaju manje promjene u intenzitetu.

Harrisova detekcija kutova koristi konvoluciju u svrhu određivanja gradijenata slike kako bi se identificirala područja na slici gdje su promjene intenziteta najizraženije. Prvi korak je primjena Sobelovog filtera na x-os i y-os slike kako bi se izračunali gradijenti. Nakon toga se računaju kvadratni gradijenti koji se tada filtriraju Gaussovom maskom kako bi se postigla blaga glatkoća i smanjila osjetljivost na šum. Na temelju tih gradijenata se računa Harrisova funkcija. Potrebno je provesti normalizaciju te je tada moguće odrediti lokacije kutova pronalaženjem lokalnih maksimuma Harrisove funkcije iznad određenog praga. [5] Pronađeni kutovi su označeni crvenim točkama.

Sobelov i Gaussov filter su napravljeni na sljedeći način:

Slika na kojoj se prikazuje tekst, zaslon, snimka zaslona, softver

Opis je automatski generiran

Funkcija konvolucije je implementirana na sljedeći način:

Slika na kojoj se prikazuje tekst, snimka zaslona, zaslon

Opis je automatski generiran

Tada konačna funkcija Harrisove detekcije kutova izgleda ovako:

Slika na kojoj se prikazuje tekst, snimka zaslona, zaslon

Opis je automatski generiran

Kada je uspješno implementirana Harrisova detekcija kutova, primjenjujemo ju na target i moving sliku. Kod target slike je to jednostavno s jednim pozivom funkcije, pri čemu je threshold određen isprobavanjem različitih vrijednosti za različite slike pravokutnika.

Slika na kojoj se prikazuje tekst, posjetnica, snimka zaslona, Font

Opis je automatski generiran

Rezultat Harrisove detekcije kutova kod target slike:

Slika na kojoj se prikazuje snimka zaslona, Trokut, dijagram, crta

Opis je automatski generiran

Kod moving slike je ipak malo kompliciranije postaviti threshold zbog beskonačnog broja načina na koji može izgledati pravokutnik u moving slici. Dok je pravokutnik s target slike uvijek centriran i paralelan s koordinatnim osima, pravokutnik s moving slike će svaki put imati drugačiji kut rotacije, dužinu stranica i centar. Iz tog razloga je threshold postavljen niži nego što bi trebao biti kako bi sigurno bili pronađeni kutovi pravokutnika, ali zbog toga dolazi i do označavanja točaka koji nisu kutovi pravokutnika.

Napravljena je funkcija koja pretvara array odvojenih x i y koordinata u listu točaka s tim koordinatama.

Slika na kojoj se prikazuje tekst, posjetnica, snimka zaslona, Font

Opis je automatski generiran

Kada pogledamo listu pronađenih kutova i prikažemo na moving slici, jasno je da se “lažni“ kutovi stvaraju ili na mjestu tik do “pravog“ kuta ili u samim kutovima slike.

Slika na kojoj se prikazuje snimka zaslona, dijagram, tekst, crta

Opis je automatski generiran

To ćemo riješiti tako da prvo maknemo duple kutove sa slike, a onda kutove s rubova slike.

Slika na kojoj se prikazuje tekst, zaslon, snimka zaslona, softver

Opis je automatski generiran

Slika na kojoj se prikazuje tekst, snimka zaslona, zaslon, računalo

Opis je automatski generiran

Nakon obavljenih funkcija imamo ispravnu listu kutova za moving sliku. Sada ih je potrebno nacrtati na moving slici jednako kao i na target slici.

Slika na kojoj se prikazuje tekst, posjetnica, snimka zaslona, Font

Opis je automatski generiran

Konačno, rezultat Harris detekcije kutova kod moving slike:

Slika na kojoj se prikazuje snimka zaslona, dijagram, crta, Trokut

Opis je automatski generiran

### 4. Translacija moving slike

Nakon što smo odredili kutove oba pravokutnika potrebno je manipulirati njima kako bismo napravili određene transformacije nad slikama. Prva takva transformacija je translacija slike.

Za translaciju su nam potrebni centri oba pravokutnika.

Slika na kojoj se prikazuje tekst, snimka zaslona, Font, dizajn

Opis je automatski generiran

Kada imamo centre, možemo izračunati pomak, po x i y osi, centra moving slike od centra target slike i zapisati to kao točku.

Slika na kojoj se prikazuje tekst, posjetnica, snimka zaslona, Font

Opis je automatski generiran

Nakon toga imamo sve što nam treba da napravimo translaciju moving slike tako da centar pravokutnika s te slike bude jednak centru pravokutnika target slike. Translaciji, ali i rotaciji i skaliranju slike, pristupit ćemo tako da napravimo novu praznu sliku na koju ćemo iscrtavati svaki piksel posebno nakon što na njemu primijenimo prikladnu transformacijsku matricu [1]. Translacija je napravljena na idući način:

Slika na kojoj se prikazuje tekst, zaslon, snimka zaslona, softver

Opis je automatski generiran

Rezultat translacije moving slike u usporedbi s target slikom:

Slika na kojoj se prikazuje dijagram, Trokut, crta, snimka zaslona

Opis je automatski generiran

Pošto je cijela slika pomaknuta, a ne samo pravokutnik, moving slika otkriva crnu pozadinu koja se nalazi “iza“ moving slike. Kako bismo to popravili, napravljena je posebna funkcija koja će promijeniti svu crnu boju sa slike u bijelu jednaku kao na slici. Također, to ne uključuje pravokutnik jer je on jednu nijansu svijetliji od crne boje.

Slika na kojoj se prikazuje tekst, zaslon, snimka zaslona, multimedija

Opis je automatski generiran

Upotrebivši navedenu funkciju na sliku translatiranog pravokutnika, nova slika s prikazom pripadajućih kutova izgleda ovako:

Slika na kojoj se prikazuje snimka zaslona, dijagram, crta, Trokut

Opis je automatski generiran

### 5. Rotacija moving slike

Nakon što smo uspjeli smjestiti pravokutnik na moving slici tako da ima isti centar kao pravokutnik s target slike, potrebno je napraviti rotaciju moving slike s ciljem da pravokutnici s obje slike imaju paralelne stranice.

Prvi korak je sortirati listu vrhova oba pravokutnika tako da u listi vrhova idu redom u smjeru obrnutom od kazaljke na satu.

Slika na kojoj se prikazuje tekst, posjetnica, snimka zaslona, Font

Opis je automatski generiran

To radimo iz razloga da možemo uspoređivati prikladne vrhove oba pravokutnika, odnosno vrh target pravokutnika s tim istim rotiranim vrhom u moving pravokutniku. No, ponekad to nije moguće zbog većeg kuta rotacije, pa će biti dovoljno usporediti vrh target pravokutnika s njemu najbližim vrhom moving pravokutnika. U oba slučaja, pod usporediti misli se na pronaći kut između ta dva vrha. Određivanjem kutova između vrhova target i moving pravokutnika želimo dobiti sveukupni kut rotacije, ali ne kut rotacije kojim je na početku rotirana target slika, već obrnuti kut rotacije od tog. Potrebno je još istaknuti kako drugi slučaj od navedenih često izračuna kut rotacije pogrešno za 90 stupnjeva što ćemo u nastavku provjeriti.

Slika na kojoj se prikazuje tekst, snimka zaslona, zaslon, Font

Opis je automatski generiran

Kada smo izračunali kut rotacije, sljedećom funkcijom obavljamo rotaciju moving slike.

Slika na kojoj se prikazuje tekst, snimka zaslona

Opis je automatski generiran

U funkciji koristimo bilinearnu interpolaciju zato što njezin postupak omogućuje glatku tranziciju između poznatih piksela, što rezultira prirodnijim i glađim prijelazima u transformiranoj slici [4]. Često je korištena kod skaliranja i rotacije slike te ćemo ju i mi koristiti u oba slučaja radi očuvanja kvalitete slike.

Nakon što smo obavili rotaciju moving slike, slika zajedno s pripadajućim kutovima izgleda ovako:

Slika na kojoj se prikazuje snimka zaslona, dijagram, Trokut, tekst

Opis je automatski generiran

Primjećujemo da slika ne odgovara target slici. To je upravo iz gore navedenog razloga, kada nije moguće usporediti prikladne vrhove pravokutnika, već one najbliže. U tom slučaju potrebno je rotirati novu moving sliku za još 90 stupnjeva. No, kako bismo izbjegli dodatnu rotaciju kada nije potrebna, napravljena je funkcija koja koristi vrhove pravokutnika i provjerava odgovaraju li kutovi između vrhova target i nove moving slike nakon prve rotacije moving slike.

Slika na kojoj se prikazuje tekst, zaslon, snimka zaslona

Opis je automatski generiran

U našem slučaju kutovi target i moving slike će biti prerazličiti te će slika biti dodatno rotirana za 90 stupnjeva. Odmah ćemo i pronaći vrhove pravokutnika na novoj moving slici.

Slika na kojoj se prikazuje snimka zaslona, dijagram, Trokut, tekst

Opis je automatski generiran

### 6. Skaliranje moving slike

Zadnji korak u transformaciji moving slike natrag u početnu target sliku je skaliranje. Skaliranje ćemo obaviti tako da prvo odredimo koliki je faktor skaliranja iz moving u target sliku.

Slika na kojoj se prikazuje tekst, snimka zaslona, Font

Opis je automatski generiran

Kod skaliranja nismo implementirali bilinearnu interpolaciju unutar funkcije, kao što smo to napravili kod funkcije za rotaciju slike, već smo napravili posebnu funkciju za bilinearnu interpolaciju. To je napravljeno da što više optimizira i poboljša bilinearnu interpolaciju zato što kod skaliranja dolazi do popriličnog oštećenja slike.

Slika na kojoj se prikazuje tekst, elektronika, zaslon, snimka zaslona

Opis je automatski generiran

Funkcija za skaliranje slike glasi:

Slika na kojoj se prikazuje tekst, zaslon, snimka zaslona, računalo

Opis je automatski generiran

Nakon što primjenimo navedenu funkciju skaliranja na moving sliku dobijemo završnu sliku koja je jednaka početnoj target slici.

Slika na kojoj se prikazuje dijagram, tekst, snimka zaslona, Trokut

Opis je automatski generiran

Kako bismo provjerili jesu li slike uistinu jednake, prikazat ćemo ih u dva sloja, jednu iza druge. Tako ćemo najbolje vidjeti poklapaju li se na svim mjestima.

Slika na kojoj se prikazuje Trokut, snimka zaslona, dijagram, crta

Opis je automatski generiran

Vidimo da se slike savršeno poklapaju što znači da je zadatak afine registracije slike pravokutnika uspješno obavljen.

### 7. Zaključak

U ovom seminarskom radu implementiran je postupak afine registracije slike koristeći Python i biblioteke NumPy za rad s matricama. Registracija slike predstavlja kompleksan proces usklađivanja više slika koji omogućuje usklađivanje različitih perspektiva istog objekta ili scene. Koristi se afina registracija, koja uključuje rotaciju, skaliranje i translaciju slike.

Nakon generiranja target i moving slika, primjenjuje se Harrisova detekcija kutova, tehnika koja se koristi za pronalaženje kutova na slici. Implementacija uključuje korištenje Sobelovog filtera za izračun gradijenata slike, Gaussove maske za glađenje slike i konvoluciju te Harrisovu funkciju za pronalazak kutova.

Dalje se provodi translacija moving slike tako da njezin centar bude jednak s centrom target slike. Rotacija moving slike se obavlja pronalaženjem kuta rotacije između vrhova pravokutnika moving i target slike pri čemu se koristi i bilinearna interpolacija za glatke prijelaze. Na kraju, skaliranje moving slike se provodi prema faktoru skaliranja između target i moving slike, također uz korištenje bilinearne interpolacije za održavanje kvalitete slike.

Rezultat je uspješna implementacija afine registracije slike, u ovom slučaju slike pravokutnika, pri čemu se target i moving slike savršeno poklapaju, što potvrđuje uspješnost procesa registracije.

### 8. Literatura

[1] [Yabo Fu](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?term=Fu%20Y%5BAuthor%5D), [Yang Lei](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?term=Lei%20Y%5BAuthor%5D), [Tonghe Wang](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?term=Wang%20T%5BAuthor%5D), [Walter J Curran](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?term=Curran%20WJ%5BAuthor%5D), [Tian Liu](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?term=Liu%20T%5BAuthor%5D),and [Xiaofeng Yang](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?term=Yang%20X%5BAuthor%5D), (2020.), “Deep learning in medical image registration: a review”

[2] Emmanuel D. Crainic, Alexander I. Petroianu (2006), “Application of affine transformations to real-time power system ems functions”

[3] [S. E. El-Khamy](https://journal-bcs.springeropen.com/articles/10.1007/BF03192383#auth-S__E_-El_Khamy-Aff1), [M. M. Hadhoud](https://journal-bcs.springeropen.com/articles/10.1007/BF03192383#auth-M__M_-Hadhoud-Aff2), [M. I. Dessouky](https://journal-bcs.springeropen.com/articles/10.1007/BF03192383#auth-M__I_-Dessouky-Aff3), [B. M. Salam](https://journal-bcs.springeropen.com/articles/10.1007/BF03192383#auth-B__M_-Salam-Aff3) & [F. E. Abd El-Samie](https://journal-bcs.springeropen.com/articles/10.1007/BF03192383#auth-F__E_-Abd_El_Samie-Aff3) (2005), “A new approach for regularized image interpolation”

[4] Mieczysław Mastyło (2013), “Bilinear interpolation theorems and applications”

[5] Harris C, Stephens M (1988.), "A Combined Corner and Edge Detector". Alvey Vision Conference. Vol. 15.