

Detektor kutnih značajki na slici

Milan Hrga, mag.ing.comp.,pred.

Veleučilište u Šibeniku, milan.hrga@vus.hr

Ivan Hrga mag.ing.ind.ing.

ivan@hima.hr

U današnje vrijeme umjetna inteligencija je postala svakodnevni sastavni dio našeg života. Računalni vid je dio umjetne inteligencije, primjenu kojeg vidimo npr. kroz kamere na izlazu s parkirališta s naplatom ili npr. na graničnim prijelazima, što doprinosi borbi protiv kriminala. Računalni vid je također bitan u medicini, primjenom u analizi krvi i u analizi medicinskih slika, bilo da je riječ o rendgenskim snimkama, radiološkim ili slikama ultrazvuka. Mnoge visokoobrazovne institucije, iz područja informatike i računarstva, su uočile sve veću važnost računalnog vida, te uvode kolegije iz tog područja u svoje programe obrazovanja. Kroz ovaj rad, dana je veza, od samog nastanka fotografije, do uključeno pojave računalnog vida. Cilj ovog rada je upoznati se s osnovama računalnog vida, predstaviti primjene istog te objasniti što je detektor kutnih značajki, čemu služi te njegovu svrhu i primjenu u računalnom vidu. Također, cilj je predstaviti tipične vrste značajki, usporedno prikazati njihove funkcionalnosti, usporediti ih te pobliže objasniti u kojoj primjeni je koja od značajki najadekvatnija, prikazati na stvarnim primjerima prikazanim kroz slike njihovu efikasnost i komentirati rezultate. Na početku svog studiranja, mnogi studenti ne vide praktičnu primjenu više matematike i programiranja. Kroz rad se prikazuje kako je viša matematika potrebna u razumijevanju principa funkcioniranja detektora kutnih značajki. Rad također prikazuje kako se poznavanjem matematike, konkretno Taylorovog reda, vlastitih vrijednosti matrice i vlastitih vektora matrice, dolazi do algoritma koji detektira kutne značajke na slici.

Ključne riječi: *digitalna slika, računalni vid, Moravec detektor, Harrisov detektor, vlastite vrijednosti matrice*

1. UVOD

Za ljude, kao i mnoga druga živa bića, vid je razvijena funkcija koja nam pomaže obraditi vizualne podatke te sposobnost da vidimo i razumijemo svijet oko sebe i jedan je od ključnih faktora za našu svakodnevnu interakciju s okolinom. Možemo reći da je ljudsko i životinjsko oko iznimno sofisticiran organ koji nam omogućuje prepoznavanje oblika, boja, tekstura i svih ostalih vizualnih karakteristika objekta.

Računalni vid je zasebna grana znanosti koja se bavi detekcijom, obradom i razumijevanjem vizualnih informacija i interpretacijom slika i videa pomoću matematičkih algoritama obrađenih uz pomoć računala. U grani koja se naziva računalnim vidom postoji sve veća potreba za razvojem algoritama koji mogu obraditi vizualne podatke i izvući korisne informacije iz njih što brže i uz što manju potrošnju energije potrebne za obradu istih. Također, činjenica je da su fotografije i videozapisi postali dio svakodnevice većine ljudi koji koriste svoje pametne telefone svakodnevno za stvaranje novih „uspomena“ kroz fotografije i videozapise te možemo smatrati da se nalazimo u digitalnom dobu.

Primjena računalnog vida je svakim danom sve šira i koristi se od detekcije vozila u prometu, preko medicinskih detekcija i dijagnosticiranja raznih bolesti, sredstva za otključavanje pametnih telefona, pa sve do proširene stvarnosti (eng. *augment reality*). Dolaskom novih tehnologija, računalni vid se koristi i u ranim detekcijama požara, traženju ljudi u moru kod havarija brodova, autonomnoj vožnji automobila (robotaksiji), autonomnoj kupovini u dućanima bez radnika, provjeri ispravnosti proizvedenih dijelova u tvornicama, snalaženju robota u kretanju i još mnogočemu.

Jedan od ključnih koraka u razumijevanju slika je identifikacija značajki koje su relevantne za određenu analizu. Harrisov detektor kutnih značajki spada u skupinu algoritama koji se koriste za pronalaženje kutnih točaka na slici koje su stabilne i dobro odražavaju karakteristike objekata. Ovaj detektor razvijen je 1988. godine od strane Chrisa Harris i Mikea Stephensa te je i dalje široko korišten u području računalnog vida.

U ovom radu opisani su Harrisovim i Moravec detektori, njihovim primjenama u računalnom vidu i detaljno je objašnjen matematički model Harrisovog detektora te način na koji se koristi za pronalaženje kutnih točaka na slikama. Prikazana je tablica detektora značajki nakon čega je objašnjen matematički postupak rada Harrisovog detektora kutnih značajki. Razumijevanje Harrisovog detektora kutnih značajki bit će korisno za sve one koji se bave računalnim vidom i žele proširiti svoje znanje o algoritmima za ekstrakciju značajki iz slika. Ovaj detektor pruža vrijedne informacije o strukturi i geometriji slike, čime olakšava daljnju analizu i obradu vizualnih podataka.

2. FOTOGRAFIJA

Fotografija je umjetnost i znanost snimanja slika koristeći svjetlost. U ovom poglavlju istražene su osnove fotografije, fizika fotografije i ključni koncepti koji su bitni za razumijevanje fotografije u kontekstu računalnog vida.

2.1. Pojmovi vezani za fotografiju

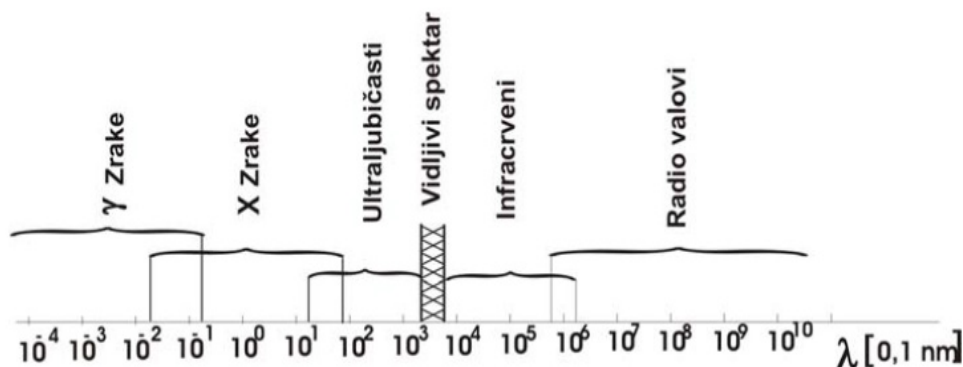
Osnovni pojmovi vezani za fotografiju su:

- Ekspozicija – količina svjetlosti koja pada na senzor kamere tijekom snimanja
- Fokus – odnosi se na oštrinu snimanog objekta (kao i ljudsko oko i kameri u fokusu može biti bliži
- ili dalji objekt ali ne i oba istovremeno)
- Kompozicija – način na koji su elementi raspoređeni unutar kadra (razmatranje linija, oblika, boja, perspektive i drugih faktora)
- Dinamički raspon – opseg svjetlosti koji kamera može zabilježiti

2.2 Fizika fotografije

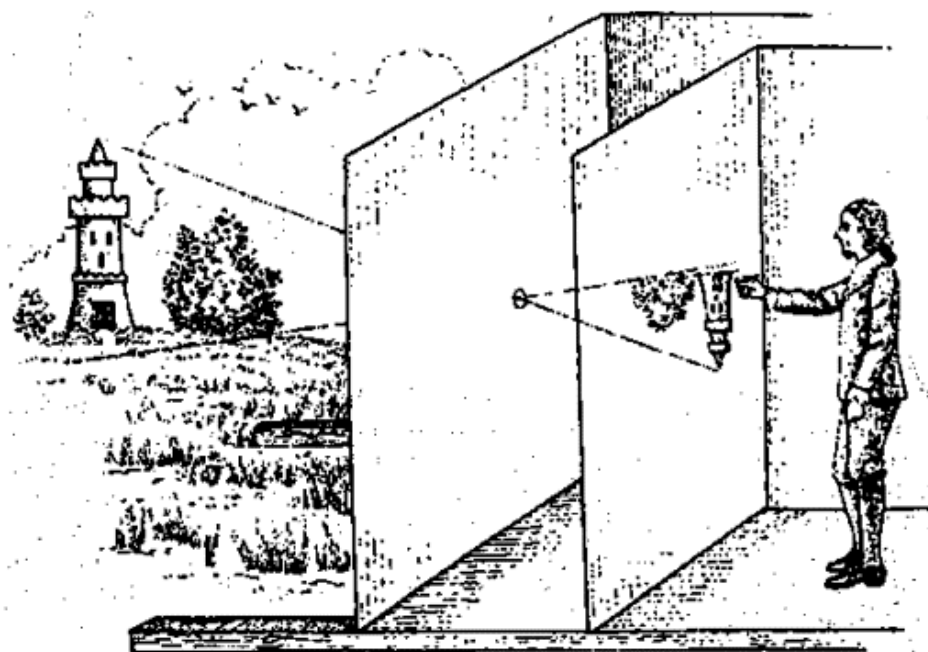
Svjetlo se može definirati kao elektromagnetno zračenje koje je vidljivo ljudskom oku. Spektralni raspon elektromagnetnih zračenja vidljivih ljudskom oku spada u raspon valnih duljina od 0.43 mm – ljubičasto svjetlo do 0.79 mm – crveno svjetlo (Slika 1). Spektralni raspon boja se može rastaviti u 6 dijelova: ljubičasta, plava, zelena, žuta, narančasta, crvena te se iz tih boja mogu iskombinirati sve postojeće boje.

Da bi nastala fotografija potrebno je svjetlo. Doslovan prijevod riječi fotografija na hrvatski znali svjetlopis. Značenje riječi photos na grčkom jeziku znači svjetlo, a graphein znači pisati ili zapis.

Slika 1: Valne duljine svjetlosti

Izvor: Izrada autora

Ljudi su odavno pokušavali zabilježiti odnosno pohraniti sliku na neki medij (Slika 2). Izumitelj prvog oblika fotoaparata, a koji potječe čak iz 11. stoljeća je Ibn Al-Haytham. Camera obscura je u potpunosti zatamnjena, tamna prostorija koja ima mali otvor kružnog oblika kroz koju prolazi svjetlo. Prvi napredak u fotografiji se dogodio tek 5 stoljeća nakon izuma Camere obscure, tako što je povećana svjetlost i oštrina, što je izvedeno povećanjem otvora za prolaz svjetlosti te je u otvor kroz koju prolazi svjetlost postavljena leća. Ovu tehnologiju su iskoristili umjetnici i primjenjivali su je u svom radu prilikom izrade slika. Na potpuno istom principu temelji se funkcioniranje svih fotoaparata.

Slika 2: Camera Obscura – prolaz svjetlosti kroz otvorIzvor: <https://fotografija.hr/10-2/>

2.3. Osnovni pojmovi o slici

Monokromatska slika definirana je kao dvodimenzionalna funkcija $f(x,y)$, gdje su x i y prostorne koordinate, a vrijednost funkcije predstavlja razinu sivila (osvijetljenost) slike u svakoj od točaka koordinatnog sustava. Digitalna slika $a[m,n]$ u 2D prostoru se izvodi iz analogne slike $a(x,y)$ iz 2D kontinuiranog prostora procesom digitalizacije ili snimanjem pomoću digitalnih

fotoaparata. U prvom slučaju kontinuirana 2D slika se podijeli na M redaka i N stupaca. Presjek redaka i stupaca je piksel, dok u drugom slučaju odmah dobijemo digitalnu fotografiju.

2.4. Primjena digitalne obrade

Danas se rezultati razvoja digitalne obrade slika primjenjuju u mnogim područjima ljudskog djelovanja: industrijska primjena, komunikacija i arhiviranje, potrošačka elektronika, daljinska istraživanja, vojna primjena, primjena u kriminalistici, medicinska istraživanja, bankarstvo itd. Primjeri konkretnih primjena digitalne obrade i analize slika su: upravljanje vozilima i plovilima, detekcija potencijalnih sudara, automatsko praćenje kupovina u autonomnim dućanima bez radnika (skeniranje osobe koja dolazi i naplata kartice osobe koja je došla u trgovinu), CT snimke, očitavanje registracije vozila, praćenje i detekcija dima kod požara, praćenje tijeka razvoja proizvoda u proizvodnim procesima te detekcija neispravno proizvedenih proizvoda, čitanje bar koda, detekcija i očitavanje otisaka, analiza tragova, čitanje prometnih znakova, te još mnoga druga rješenja.

Prilikom digitalne obrade slika često se javljaju problemi analize oblika i pokreta, teksture i značajki, registracije i detekcije objekata na slikama i slično čemu se svakim danom i učenjem računala na dobivene rezultate dolazi do sve preciznijih, bržih i egzaktnijih rezultata detekcije pomoću računalnog vida.

3. ZNAČAJKE NA FOTOGRAFIJI

3.1. Značajke – Lokalne značajke

Značajka označava uzorak koji se primjećuje da se znatno razlikuje po svojim karakteristikama od svih drugih uzoraka koji se nalaze u neposrednoj blizini promatranog područja. Laički rečeno, primjer bi bio crna točka u polju bijelih točaka. Kombinacije oštine, intenziteta, boje, strukture mogu pomoći u detekciji jedinstvenosti određene promatrane značajke. Značajke mogu biti predstavljene u različitim oblicima. Tako primjerice značajke mogu biti obične točke ali i kutovi, rubovi ili čak regije.

3.2. Idealna značajka

Idealna situacija bi bila kada bi lokalne značajke semantički jednoznačno odgovarale dijelovima slike i time predstavljale određene objekte na slici, no kao što je već spomenuto to najčešće nije slučaj. Ipak, definirajmo svojstva značajki koja bi bila poželjna:

1. Ponovljivost – u nizu različitih slika značajka bi trebala biti prisutna na svima
2. Prepoznatljivost – svaka značajka bi trebala imati što specifičnija svojstva da ju to čini jedinstvenom i u potpunosti drugačijom od ostalih značajki.
3. Lokalnost – Definiranje susjedstva nad kojim se promatra lokalnost značajke.
4. Kvantiteta – broj detektiranih značajki koje čine razliku.
5. Preciznost – cilj je što preciznije definirati značajke koristeći interpolacije
6. Efikasnost – računski nezahtjevna radnja s ciljem što brže detekcije

3.3. Vrste značajki (karakteristika)

1. Kutne karakteristike. Pojam kutne značajke se odnosi na točke u slici koje imaju izraženu zakrivljenost. Ovakve točke ne moraju nužno predstavljati projekcije pravih kuteva iz trodimenzionalnog svijeta, mogu se detektirati na različitim spojevima ili čak na hrapavim površi-

nama. Međutim, za većinu primjena, ovo nije bitno, jer je cilj dobiti dobru karakteristiku koja je visoko ponovljiva, otporna i robusna.

2. Grudaste značajke se znatno razlikuju od kutnih karakteristika po tome što se one odnose i promatraju segment cijele slike, a ne samo određenu točku. Jako su korisne kod detektiranja kontrasta kao npr. svijetlih dijelova slike u odnosu na tamne.

3. Regionalne karakteristike. Značajke koje su, slično kao i grudaste, a fokusirane su na promatranje i izdvajanje segmenata slike.

4. DETEKTORI LOKALNIH ZNAČAJKI

Za mnoge usporedbe potrebno je poznavati odnos između dviju ili više slika ili dva ili više videozapisa. Ako se nađe matematička veza između promatranih i uspoređivanih dokumenata, tada je moguće dobiti informaciju o dubini objekta sa slike i također se može izračunati brzina kretanja kamere. Za otkrivanje značajki sa slike koriste se razni detektori poput: Moravec-, Harris-corner, Hessian, SUSSAN, MSER i ostali.

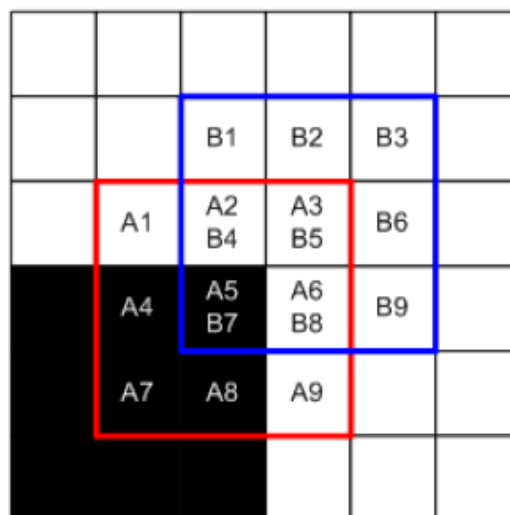
4.1. Moravec detektor

Ovo je jedan od najstarijih detektora značajki. Prvi detektor značajki radili su na principu određivanja značajki kao piksela s malom autokorelacijom unutar prozora. Primjeri prozora gdje pomicanjem dobijemo različite promjene intenziteta slike prikazani su na slici 3. Prozor se pomiče u 4 smjera tj. za kut 0° , 45° , 90° i 135° odnosno rade se pomaci $(\Delta x, \Delta y) = (1, 0)$, $(1, 1)$, $(0, 1)$, $(1, 0)$. Slika 4 prikazuje situaciju za pomak $(\Delta x, \Delta y) = (1, 1)$ tj. za $a = 45^\circ$.

Slika 3: Primjeri prozora s različitim promjenama intenziteta svjetla prilikom pomicanja istih



Slika 4: Pomak prozora u smjeru kuta 45°



Izvor: Izrada autora

Sumu kvadrata razlike intenziteta E prozora, možemo zapisati:

$$E(u, v) = \sum_{x, y} [I(x + u, y + v) - I(x, y)]^2$$

gdje $I(x, y)$ predstavlja intenzitet originalnog prozora, a $I(x + u, y + v)$ je intenzitet svjetla prozora pomaknutog za (u, v) .

Ako je suma razlike kvadrata E malog iznosa, nema bitne promjene intenziteta između originalnog i pomaknutog prozora. Ako je suma razlike kvadrata E malog iznosa nema bitne promjene intenziteta između originalnog i pomaknutog prozora. Ako je suma razlike kvadrata E velikog iznosa postoji bitna promjena intenziteta I ako imamo u 2 ili više smjerova E velikog iznosa te ako je E lokalni maksimum tada točku (x,y) u centru prozora određujemo za značajku.

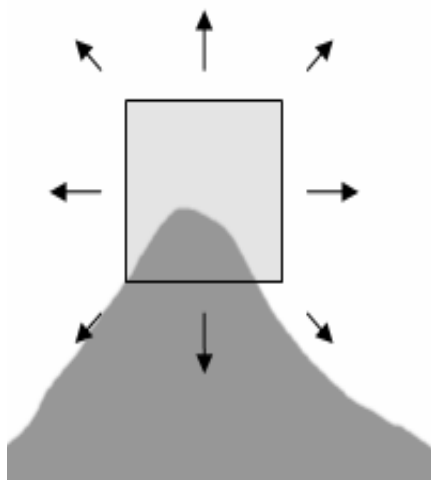
Nedostaci Moravec detektora:

- Prisutan je šum, a uzrok je korištenje prozora s dvije vrijednosti;
- Rezultat je rijetko jednolik zbog korištenja pomaka od 45° i 135° ;
- Lažne značajke (vrhove) predstavljaju izdvojeni rubovi, zbog minimuma od E .

5. HARRISOV DETEKTOR KUTNIH ZNAČAJKI

Harris također počiva na principu pomicanja prozora, ali za razliku od Moravec detektora, prozor se pomiče u svih 8 smjerova slike (Slika 5). Kao što sam naziv kaže Harris Corner (hrv. kut) detektor je detektor kutnih značajki. Dobar detektor kutnih značajki treba imati sljedeća svojstva: sve „prave kutne značajke“ treba detektirati, sve „lažne kutne značajke“ treba odbaciti, kutne značajke treba dobro lokalizirati, detektor treba imati visoku stopu ponovljivosti (dobar stabilitet), detektor treba biti robustan na smetnje na slici, detektor treba biti efikasan pri računanju kojim pronalazi značajke.

Slika 5: Pomak prozora u 8 smjerova na slici



Izvor: Izrada autora

Promjena kvadrata razlike intenziteta za pomak $[u, v]$, pomnožena s težinskom vrijednošću:

$$E(u, v) = \sum_{x,y} w(x, y) [I(x + u, y + v) - I(x, y)]^2$$

gdje je $w(x,y)$ težinska funkcija.

Iz matematike je poznato da se vrijednost funkcije u okolini točke može aproksimirati Taylorovim redom, što je Harris primijenio i tako pokušao dobiti opis promjene intenziteta osvjetljenja oko točke (x,y) .

Razvoj funkcije s dvije varijable u Taylorov red:

Izvor:

$$f(x+u, y+v) = f(x, y) + uf_x(x, y) + vf_y(x, y) + \frac{1}{2!} [u^2 f_{xx}(x, y) + uv f_{xy}(x, y) + v^2 f_{yy}(x, y)] + \dots$$

aproksimacijom se dobiva:

$$f(x+u, y+v) \approx f(x, y) + uf_x(x, y) + vf_y(x, y)$$

$$\sum [I(x+u, y+v) - I(x, y)]^2 \approx \sum [I(x, y) + uI_x + vI_y - I(x, y)]^2$$

aproksimacija prvog reda.

$$\sum [I(x, y) + uI_x + vI_y - I(x, y)]^2 = \sum u^2 I_x^2 + 2uv I_x I_y + v^2 I_y^2$$

$$= \sum [u \ v] \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \quad (\text{zapis u matričnom obliku})$$

$$E(u, v) \cong [u \ v] M \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}$$

M je matrica dimenzija (2, 2) koja se računa iz derivacije slike:

$$M = \sum_{x,y} w(x, y) \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix}$$

I_x i I_y označavaju parcijalne derivacije intenziteta varijable x i varijable y , $M(x, y)$ je auto-korelacijska matrica koja prikazuje strukturu intenziteta svjetline u okolini piksela (x, y) , a $w(x, y)$ je težinska funkcija, najčešće Gaussova funkcija

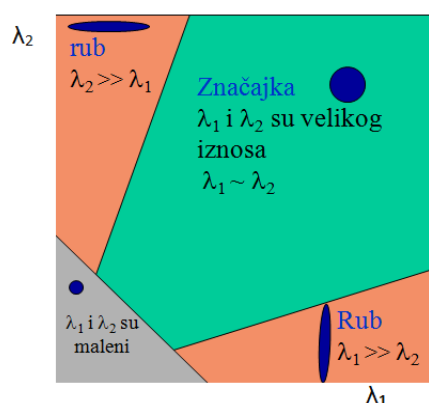
$$g(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

Korištenjem Gaussove funkcije udaljenijim pikselima se pridjeljuju manje težinske vrijednosti. Matrica M je simetrična i pozitivno definirana što znači da su joj vlastite vrijednosti λ_1 i λ_2 veće od nule.

Definicija vlastitih vrijednosti i vlastitih vektora matrice:

Neka je M realna matrica 2-og reda. Realni broj λ zove se vlastita vrijednost (ili karakteristična vrijednost) matrice M i piše se $\lambda = \text{eig}(M)$ onda i samo onda ako postoji vektor x takav da zadovoljava jednadžbu $\lambda x - Mx = (\lambda I - M)x = 0$.

Značajke se mogu razvrstati u 3 različita područja ovisno o iznosima vlastitih vrijednosti (Slika 6). Područje u kojem su obje vlastite vrijednosti male je područje slabo promjenljivog intenziteta. U području gdje je jedna vlastita vrijednost znatno veća (višestruko) od druge imamo rub.

Slika 6: Područja određena vlastitim vrijednostima matrice M 

Izvor: Izrada autora

Saznanje da vlastite vrijednosti λ_1 i λ_2 moraju biti približno jednake i velikog iznosa Harris je iskoristio i uveo mjeru kutnosti značajke R :

$$R = \det(M) - k(\text{trace } M)^2$$

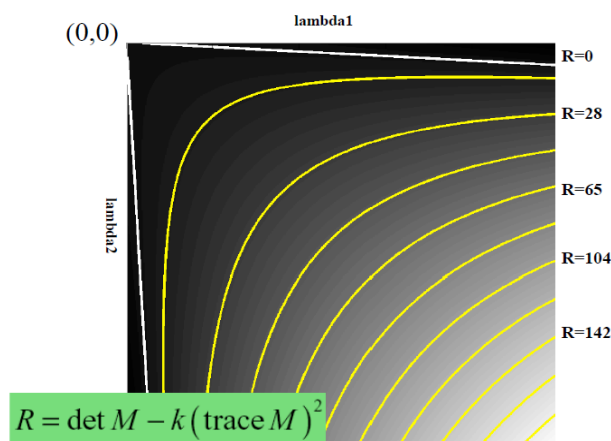
$$\det(M) = \lambda_1 \times \lambda_2$$

$$\text{trace } M = \lambda_1 + \lambda_2$$

$$R = \lambda_1 \times \lambda_2 - k(\lambda_1 + \lambda_2)^2$$

gdje su λ_1 i λ_2 svojstvene vrijednosti matrice, $\det(M)$ je determinanta matrice M , $\text{trace } M$ je trag matrice M , a k je eksperimentalna konstanta najčešće u iznosu od 0,04 do 0,06. Determinanta i trag matrice M se koristi da bi se izbjeglo računanje vlastitih vrijednosti matrice i vektora u izračunu mjere kutnosti R .

$R = \det(M) - k(\text{trace } M)^2$ je računski manje zahtjevan, a daje dobru informaciju o kutnosti značajke (Slika 7) R je pozitivan u području vrhova, a negativan u području rubova. U području konstantnog intenziteta osvijetljena, na slici, R je relativno malog iznosa, a prijelaz u područje kutnih značajki određuje se odabirom vrijednosti praga. Da bi se takve točke zaista smatrale kutnim značajkama njihova mjera kutne značajke R treba biti lokalni maksimum.

Slika 7: Krivulje mjera kutnih značajki za $k=0.02$ 

Izvor: Collins, R., Lecture 06: Harris Corner Detector

5.1. Algoritam Harrisovog detektora kutnih značajki

Ulaz: crno bijela slika (sve nijanse sivih tonova), Gaussova funkcija, k od 0,04 do 0,06, prag T .

Izlaz: struktura u kojoj su sadržane koordinate svake značajke.

Temeljem teorije predstavljene u prethodnom poglavlju, koraci algoritma mogli bi se predstaviti sljedećim nizom pravila:

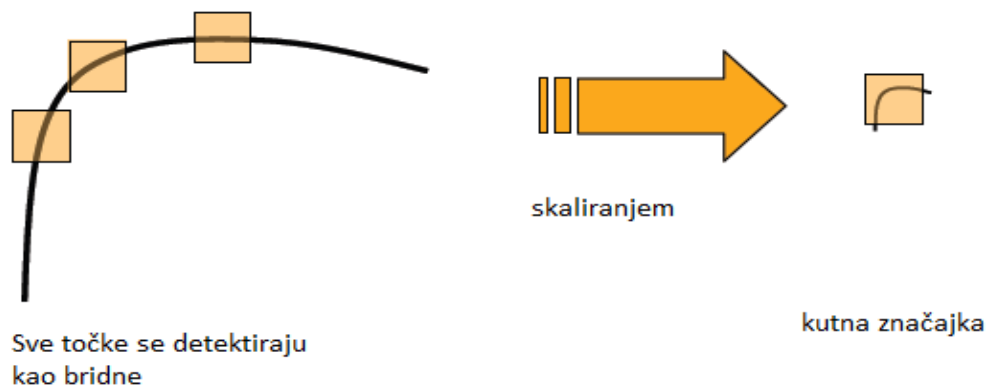
- Izračunati parcijalne derivacije intenziteta slike I_x i I_y po varijablama kao 1D konvoluciju kojima se aproksimira prva derivacija,
- Izračunati produkte derivacija $A = I_x I_x$, $B = I_x I_y$, $C = I_y I_y$ i provesti filtraciju koristeći Gaussovu funkciju te izračunati matricu M ,
- Izračunati mjeru $R = \det(M) - k(\text{trace}(M))^2$,
- Provesti odabir najboljih kandidata za vrhove postavljanjem granične vrijednosti praga za mjeru R i provesti NMS.

NMS predstavlja algoritam za lokalnu potragu maksimuma unutar prozora dimenzija $(2r + 1) \times (2r + 1)$ gdje je r radijus prozora unutar kojeg se traži lokalni maksimum. Lokalni maksimum je piksel koji ima najveću mjeru R među susjednim pikselima unutar odabranog prozora.

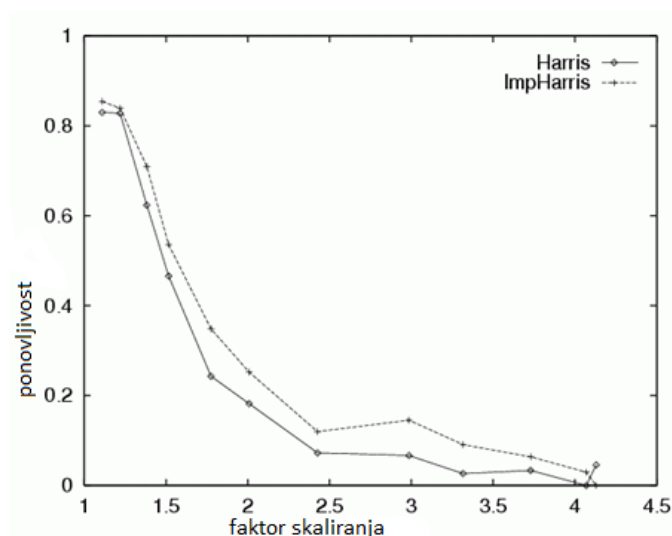
5.2. Skaliranje

Harris detektor kutnih značajki nije invarijantan na skaliranje. Iako lijevi i desni dio slike prikazuju istu liniju, ali različito skaliranu, Harrisov detektor kutnih značajki ni u jednom dijelu ne prepoznaje kutnu značajku. Kad sliku umanjimo tada detektor detektira značajku (Slika 8). Kod Harris detektora kutnih značajki ponovljivost značajke rapidno opada kod povećanja faktora skaliranja (Slika 9).

Slika 8: Problem skaliranja kod Harris corner detectora



Izvor: Izrada autora

Slika 9: Problem ponovljivosti u ovisnosti o faktoru skaliranja

Izvor: https://www.researchgate.net/figure/interest-points-extraction-with-ImpHarris-detector_fig4_225236416

ZAKLJUČAK

Harrisov detektor značajki je jedan od ključnih alata u području računalnog vida. Njegova sposobnost pronalaženja i opisivanja kutnih karakteristika u slikama omogućuje razne primjene u područjima poput prepoznavanja objekata, praćenja pokreta i rekonstrukcije 3D scenarija. Ova tehnika ima visoku robusnost i ponovljivost, što je ključno za pouzdano i precizno izdvajanje karakteristika iz slika. Harrisov detektor značajki pruža snažan temelj za daljnji razvoj i napredak u području računalnog vida, omogućujući nam bolje razumijevanje i interpretaciju vizualnih podataka. Budući da se računalni vid stalno razvija, očekuje se da će Harrisov detektor značajki i dalje biti ključan alat za poboljšanje performansi sustava prepoznavanja i analize slika, ali da će se morati koristiti nove tehnologije i metode za optimiranje rada primjenom Harrisovog detektora značajki radi što efikasnijeg i bržeg detektiranja kako bi dobio primjenu i u gotovo stvarnom vremenu sa što manjom vremenskom zadržkom.

LITERATURA:

1. Bakamović Jusufadis (2010): „Diplomski rad: Određivanje korespondentnih točaka na slikama dobivenih stereo kamerom” preuzeto s https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/Bakamovic_Jusufadis%5b2%5d.pdf (pristupljeno 15.6.2023.)
2. Collins, R., „Harris Corner Detector” preuzeto s <https://www.cse.psu.edu/~rtc12/CSE486/lecture06.pdf> (pristupljeno 20.6.2023.)
3. Dawson-Howe, K., „Introduction to Computer Vision: A Practical Approach with Python and OpenCV”
4. Gonzalez, R.C., Woods, R.E. (2008), „Digital Image processing” preuzeto s <https://dl.icdst.org/pdfs/file-s4/01c56e081202b62bd7d3b4f8545775fb.pdf> (pristupljeno 15.6.2023.)
5. Harris, C., Stephens, M. (1988), „A Combined corner and edge detector” preuzeto s <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=88cdfbeb78058e0eb2613e79d1818c567f0920e2> (pristupljeno 10.6.2023.)
6. Lončarić, S., „Digitalna obrada i analiza slike” preuzeto s http://dos.zesoi.fer.hr/predavanja/pdf/dos_2003_obradba_slike_3x26.pdf (pristupljeno 15.6.2023.)
7. Popović, B. (2017), „A new extended mixture normal distribution” preuzeto s <https://hrcak.srce.hr/file/260497> pristupljeno 25.6.2023.
8. Slapničar I., (2003) „Matrična algebra” preuzeto s http://laris.fesb.hr/digitalno_vodjenje/definicije_1.htm pristupljeno 20.6.2023.

9. Szeliski,R. (2010) "Computer Vision: Algorithms and Applications" -. https://www.cs.ccu.edu.tw/~damon/tmp/SzeliskiBook_20100903_draft.pdf
10. Umbaugh Scott, "Digital Image Processing and Analysis: Human and Computer Vision Applications with CVPtools"
11. Wolfgang,L.(2007) „Inside the Camera Obscura – Optics and Art under the Spell of the Projected Image“ preuzeto s <https://www.mpiwg-berlin.mpg.de/Preprints/P333.PDF> pristupljeno 5.7.2023.

ABSTRACT

INTRODUCTION TO COMPUTER VISION – DETECTOR OF ANGULAR FEATURES

In today's times, artificial intelligence has become an integral part of our daily lives. Computer vision is a component of artificial intelligence, the applications of which can be seen, for example, through cameras at parking exits with payment or at border crossings, contributing to the fight against crime. Computer vision is also crucial in medicine, being applied in blood analysis and medical image interpretation, whether it's X-rays, radiological images, or ultrasound images. Many higher education institutions in the field of computer science and informatics have recognized the growing importance of computer vision and are introducing courses related to this field into their educational programs.

Through this paper, a connection is made from the very inception of photography to the emergence of computer vision. The aim of this paper is to familiarize oneself with the basics of computer vision, present its applications, and explain what a corner feature detector is, its purpose, and its role in computer vision. Additionally, the goal is to introduce typical types of features, showcase their functionalities side by side, compare them, and provide a closer explanation of the most suitable application for each type of feature. Real-world examples displayed through images will demonstrate their efficiency and results will be discussed.

At the start of their studies, many students fail to see the practical applications of higher mathematics and programming. This paper illustrates how advanced mathematics is necessary to understand the functioning principles of corner feature detectors. The paper also demonstrates how knowledge of mathematics, specifically Taylor series, eigenvalues of matrices, and eigenvectors of matrices, leads to an algorithm that detects corner features in images.

Keywords: digital image, computer vision, Moravec detector, Harris detector, eigenvalues of matrix