

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ORGANIZACIJE I INFORMATIKE
VARAŽDIN

Filip Milohanović

IZRADA KOMPONENTE ZA DETEKCIJU
OZNAČENIH ODGOVORA NA PISMENIM
ISPITIMA

DIPLOMSKI RAD

Varaždin, 2025.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET ORGANIZACIJE I INFORMATIKE

V A R A Ž D I N

Filip Milohanović

JMBAG: 0016148270

Studij: Informacijsko i programsко inženjerstvo

**IZRADA KOMPONENTE ZA DETEKCIJU OZNAČENIH ODGOVORA
NA PISMENIM ISPITIMA**

DIPLOMSKI RAD

Mentor :

Doc. dr. sc. Marko Mijač

Varaždin, lipanj 2025.

Filip Milohanović

Izjava o izvornosti

Izjavljujem da je moj diplomski rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onima koji su u njemu navedeni. Za izradu rada su korištene etički prikladne i prihvatljive metode i tehnike rada.

Autor potvrdio prihvaćanjem odredbi u sustavu FOI-radovi

Sažetak

Opsega od 100 do 300 riječi. Sažetak upućuje na temu rada, ukratko se iznosi čime se rad bavi, teorijsko-metodološka polazišta, glavne teze i smjer rada te zaključci.

Ključne riječi: riječ; riječ; ...riječ; Obuhvaća 7+/-2 ključna pojma koji su glavni predmet rasprave u radu.

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Metode i tehnike rada	2
3. Razrada teme	3
3.1. Digitalna slika	3
3.1.1. Slike u boji	3
3.1.2. Sive slike	4
3.1.3. Binarne slike	5
3.1.4. Važnost različitih tipova digitalnih slika	7
3.2. Digitalna obrada slike	8
3.2.1. Preprocesiranje slike	8
3.2.1.1. Pribavljanje slike	9
3.2.1.2. Poboljšanje slike	9
3.2.1.3. Restauracija slike	9
3.2.2. Procesiranje slike	9
3.2.2.1. Segmentacija slike	9
3.2.2.2. Morfološka obrada	9
3.2.2.3. Reprezentacija i opis	9
3.2.2.4. Detekcija i prepoznavanje objekata	9
3.2.3. Postprocesiranje slike	9
3.2.3.1. Kompresija slike	10
3.2.3.2. Vizualizacija rezultata	10
3.3. Analiza postojećih rješenja i pristupa problemu	10
4. Praktični dio	11
4.1. Opis rješenja	11
4.2. Funkcionalni zahtijevi	11
4.3. Implementacija	11
4.4. Analiza rezultata	11
4.5. Limitacije rješenja	11
4.6. Manualno testiranje rješenja	11
5. Zaključak	12
Popis literature	13
Popis slika	14

Popis popis tablica	15
--------------------------------------	----

1. Uvod

U današnjem obrazovnom sustavu nastavnici provode jako puno vremena na radnim zadacima koji ne podižu kvalitetu obrazovanja već su administrativni i često repetitivni poslovi. Jedan od tih zadataka je ocjenjivanje ispita, pogotovo ako se radi o velikoj količini pristupnika testu. Kod testova s izrazito velikom količinom pristupnika se zato koriste ispitni koji uključuju list za odgovore što olakšava ocjenjivanje. Time se značajno ubrzava cijeli proces ocjenjivanja pošto nije potrebno čitati odgovore koji su u različitim formatima i potencijalno na više stranica, ali i dalje ostaje repetitivni dio posla koji uključuje usporedbu odgovora s rješenjima. Kroz ovaj rad bit će prikazana softverska komponenta otvorenog koda koja rješava ovaj problem tako da naspram slike detektira označene odgovore i ocjenjuje ispit.

Kroz ovaj rad istražuje se razne metode za detektiranje označenih odgovora s ciljem izrade komponente visoke preciznosti, prateći metodologiju znanstvenog oblikovanja.

2. Metode i tehnike rada

S obzirom na to da se radi o temi koja uključuje obradu slike, što zahtijeva opsežno istraživanja, manipulaciju parametrima i testiranje pristupa odlučeno je koristiti inkrementalan pristup razvoju. Prije same izrade rješenja, provedena je minimalno potrebna količina istraživanja, a zatim se ostatak istraživanja odvijao paralelno s razvojem.

Iterativni razvoj rješenja može se podijeliti u pretprocesiranje, izdvajanje relevantnih obilježja slike i na kraju ocjenjivanje testa. Jedna od najvažnijih tehnika tijekom razvoja bila je vizualizacija svakog koraka obrade slike. To je omogućilo izravan uvid u status i smjer razvoja. Od samog početka omogućen je uvid u mane i prednosti korištenih metoda. Ovo je značajno doprinijelo definiranju budućih razvojnih koraka, poput dodatnog istraživanja, promjene pristupa i sl.

Da bi sama vizualizacija bila što učinkovitija korišteno je više različitih ulaznih slika matrice odgovora slikanih u različitim uvjetima. To je omogućilo verifikaciju funkcionalnosti dijelova rješenja na različitim ulaznim podacima od samog početka razvoja, što je značilo da na kraju projekta nije bilo potrebno pokrivati rubne slučajeve jer je rješenje bilo dizajnirano da ih pokriva od početka.

Rješenje je izrađeno pomoću .NET tehnologije i C# programskog jezika u obliku biblioteke, što omogućuje drugim rješenjima jednostavnu integraciju koristeći .dll.

Kroz ovaj rad nije bio cilj razviti vlastitu biblioteku za računalni vid, korištena je jedna od postojećih biblioteka otvorenog koda. EmguCv je odabran pošto se radi o .NET omotaču za jednu od najpopularnijih biblioteka za računalni vid OpenCV. Osim toga, rješenje omogućuje korisnicima da koriste alternativnu biblioteku s uvjetom da izrade svoju implementaciju odgovarajućih metoda.

3. Razrada teme

Kroz teoretski dio rada predočit će se cijeli proces detekcije odgovora na pismenim ispitima koristeći obradu slike pomoću računalnog vida. Analizirat će postojeća rješenja ovog problema koja koriste računalni vidi i alternativne pristupe.

Svim ti pristupi imaju isti cilj, a to je izvlačenje relevantnih podataka iz slike, a zatim kreće obrada tih podataka. U kontekstu ovog rada to bi značilo da se iz slike moraju izvući podaci o označenim odgovorima za određeno pitanje te se ti podaci uspoređuju s listom točnih odgovora.

3.1. Digitalna slika

Za početak važno je razumjeti što su to digitalne slike i koje sve informacije one sadrže. Digitalna slika je zapravo računalna datoteka koja reprezentira fotografiju pomoću piksela. Pixel je zapravo najmanji element slike koji je reprezentiran s 3 kanala boja: Crvena (R), zelena (G), plava (B) u RGB modelu. Postoje i drugi kanali boja sli za potrebe ovog rada fokus će biti RGB modelu. [1].

Sama boja piksela se određuje kombinacijom vrijednosti iz RGB kanala. Dok je sam broj mogućih boja određen brojem bitova koju svaki RGB kanal može poprimiti. Taj koncept se još naziva dubinom boje (eng. color depth). Na primjer, 24-bitna slika može poprimiti do 16,777,216 unikatnih boja pošto svaki kanal ima 8 bitova [1]:

$$\text{Broj boja} = 2^8 \times 2^8 \times 2^8 = 2^{24} = 16,777,216$$

S pomoću piksela se također može definirati veličinu slike to jest rezolucija. Rezolucija je sveukupan broj piksela koje neka slika sadrži i izražava se množenjem širine slike s visinom slike npr. 1920×1080 . Obično veća rezolucija znači više detalja na slici. Što se više detalja nalazi na slici to su bolje šanse za izvući korisne informacije sa slike. No naravno da rezolucija sama ne određuje kvalitetu digitalne slike, već veliku ulogu igraju i fizički uvjeti u kojima je slika izrađena. Pod to spada osvjetljenje, čistoća kamere, kvaliteta senzora i sl.

3.1.1. Slike u boji

Većina digitalnih slika koje ljudi danas izrađuju su slike u boju te sadrže sva 3 kanala boje. Za razumijevanje ovog rada potrebno je razumjeti kakve informacije sadrži pojedini kanal boje. Svaki kanal predstavlja jednu primarnu boju poput crvene, zelene ili plave. I svaki pixel poprima određenu vrijednost za svaki kanal ovisno o kombinaciji bitova. Za 24-bitnu sliku svaki kanal ima 8 bitova to jest 256 mogućih vrijednosti.

To znači da u svakom kanalu postoji vrijednost od 0 do 255 koja definira jačinu svjetlosti za tu primarnu boju. Nula bi značila kompletno crna boja dok bi 255 bila potpuno osvjetljena primarna boja ovisno o kojem se kanalu radi. Kombinacijom tih 3 kanala se zapravo dobivaju

međuboje i time se stvara konačni izgled slike. [2].



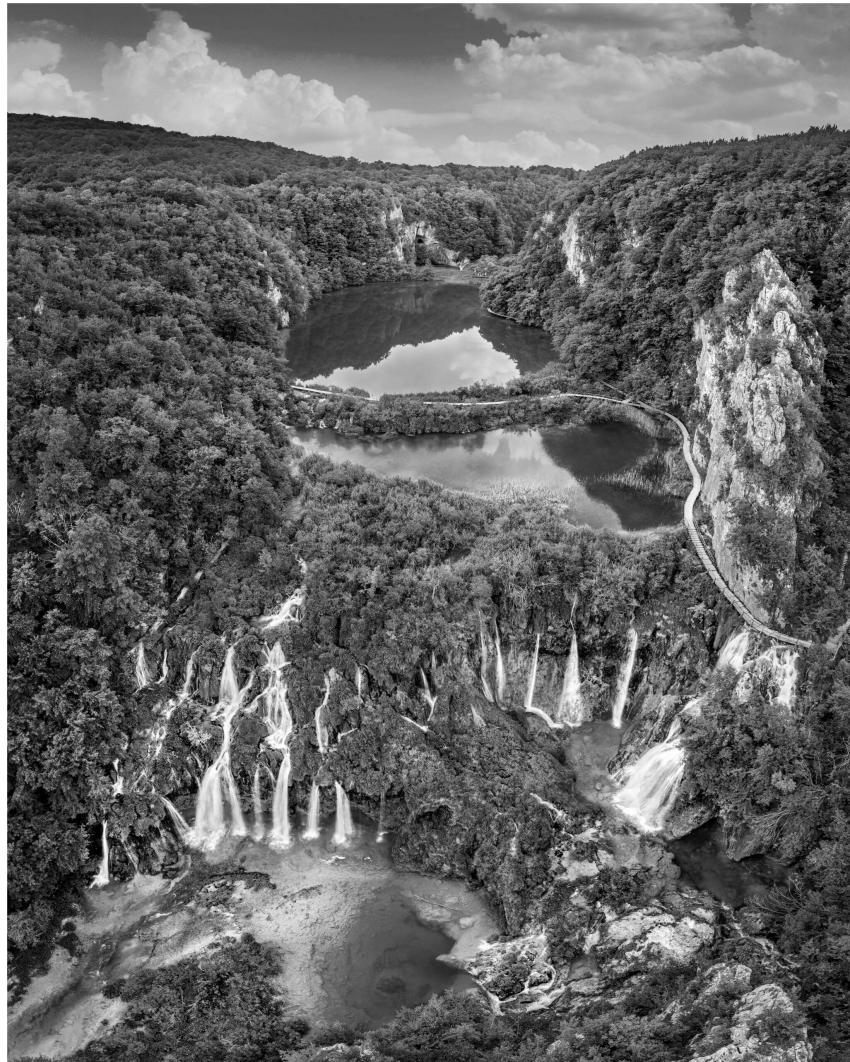
Slika 1: Prikaz slike u boji i pripadajućih kanala boja u RGB modelu (vlastita izrada)

Kao što je prikazano na slici, kanali boja prikazani su kao slike čiji pikseli poprimaju boje samo crnu, bijelu i nijanse sive boje, takozvane sive slike. Također kanali se ponekad znaju vizualizirati pomoću primarne boje kanala kojeg reprezentiraju, ali sami podaci koje digitalna slika sadrži su uvijek jednaki, jedino način njihove vizualizacije varira.

3.1.2. Sive slike

Sive slike (*eng. grayscale*) su poseban tip digitalnih slika koji ima samo jedan kanal boja. U tom kanalu vrijednosti piksela reprezentira svjetlinu piksela. Vizualizacija takvih slika poprima boje od bijele do crne uključujući nijanse sive. Na primjer za sliku sa dubinom boja od 8 bitova, nula bi predstavljala crnu boju, 255 bijelu, a vrijednosti između nijanse sive [2].

Sive slike su jedan od važnijih koncepata obrade slike i računalnog vida. One su zapravo baza mnogih algoritama za procesiranje slika. Često se koriste kao prvi korak obrade. Izrazito su korisne za detekciju rubova, segmentaciju slike, prepoznavanje uzorak i slično [3]. Kroz rad će se detaljnije prikazati njihova važnost i uloga u kontekstu detektiranja označenih odgovora na pismenim ispitima.



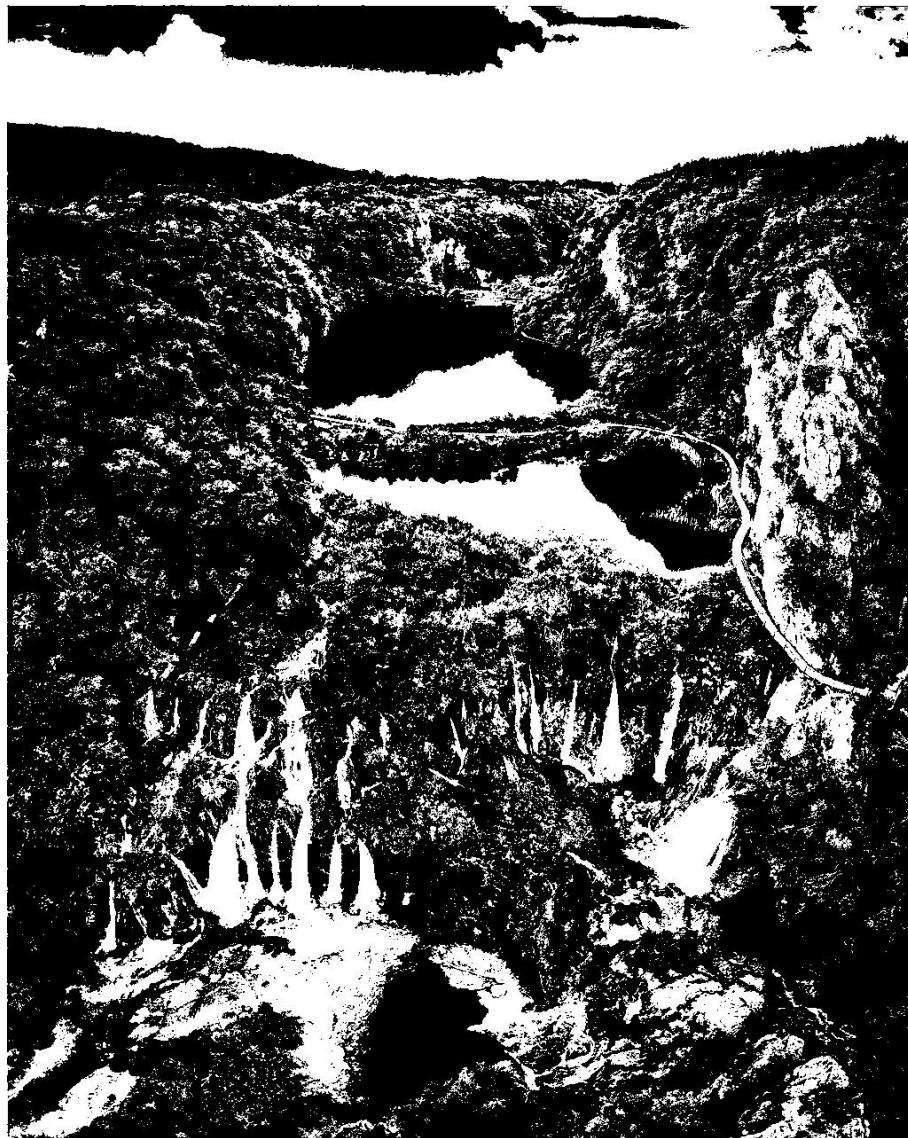
Slika 2: Prikaz sive slike (vlastita izrada)

Na priloženoj sivoj slici se također može vidjeti da je različita od sivih slika kanala prikazanih na slici 1. To je zato što se kod pretvorbe slike u boji u sivu sliku uzimaju u obzir vrijednosti piksela za sva 3 kanala prema formuli:

$$I_{\text{gray}}(x, y) = 0.299 \cdot R(x, y) + 0.587 \cdot G(x, y) + 0.114 \cdot B(x, y) [3]$$

3.1.3. Binarne slike

Osim slika u boji i sivih slika također postoje i binarne slike. Binarne slike su tip slika gdje piksel može imati samo dvije moguće vrijednosti 0 i 1 od kud im dolazi i naziv. Binarne slike sadrže puno manje informacija od ostalih tipova slika, ali isto tako smanjuju kompleksnost same slike i omogućuju fokusiranje na važne značajke slike. Baš zbog toga se jako često koriste kod obrada slika koristeći računalni vid [4].



Slika 3: Prikaz binarne slike (vlastita izrada)

Sam proces izrade binarne slike je dosta jednostavan. Za početak potrebno je imati sivu sliku. Zatim se definira granica (*eng. threshold*) u obliku postotka. Ta granica se zatim koristi za određivanje vrijednosti piksela, ako je vrijednost iznad granice onda se vrijednost postavlja na jedan, a inače na nulu. Priložena formula prikazuje osnovni tip kreiranja binarne slike (*eng. thresholding*).

$$I_{\text{gray}}(x, y) = 0.299 \cdot R(x, y) + 0.587 \cdot G(x, y) + 0.114 \cdot B(x, y)$$

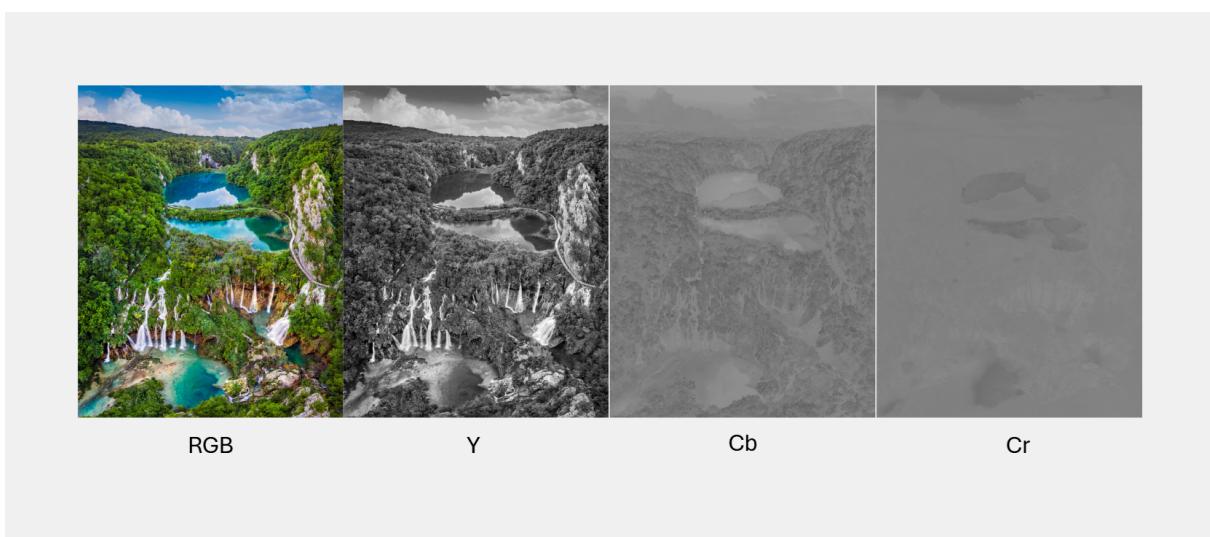
$$I_{\text{binary}}(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } I_{\text{gray}}(x, y) \geq T \\ 0, & \text{if } I_{\text{gray}}(x, y) < T \end{cases}$$

3.1.4. Važnost različitih tipova digitalnih slika

Do sada smo prošli kroz 3 najvažnija tipa digitalnih slika za ovaj rad. Kroz ovu cjelinu prikazat će se važnost pojedinog tipa slike naspram ostalih.

Zapravo najveća razlika između ovih tipova je broj kanala boje. Slike u boji imaju 3 kanala za razliku od sivih i binarnih slika koje imaju po jedan kanal. To zapravo znači da slike u boji sadrže značajno više informacija.

No ponekad nam te informacije nisu potrebne ovisno o problemu koji pokušavamo riješiti. Na primjer ako pokušavamo detektirati boju svjetla na semaforu onda su nam informacije o bojama izrazito važne. No ako pokušavamo pročitati tekst sa prometnog znaka onda nam informacija o boji znaka i teksta ne doprinosi značajno rješavanju problema. Zapravo nam otežava rješavanje problema pošto moramo raditi sa nepotrebnim informacijama.



Slika 4: Usporedba svjetlosne komponente i komponenta boja(vlastita izrada)

Na priloženoj slici prikazana je ista slika na različite načine:

- Slika u RGB formatu
- Slika u YCbCr formatu
 - Svjetlosne informacije u Y kanalu
 - Informacije o bojama u Cb i Cr kanalima

Na ovom primjeru je prikazana činjenica da svjetlosni kanali sadrže puno više informacija o strukturalnim elementima na slici. baš zbog toga se u raznim algoritmima za detektiranje značajki, filtriranje, segmentiranje i sl. koriste baš sive slike [5].

Sive slike se koriste kada boja nije važan faktor u obradi slike. U tom slučaju je boja jednako korisna kao buka na slici pa je zbog toga uklonimo. Time se veličina slike smanje i time ubrza daljnji proces obrade slike [5].

Ako je potreban još agresivniji pristup otklanjanju nepotrebnih podataka onda binarne slike mogu postati korisne. One dodatno odstranjuju nepotrebne podatke tako da povećavaju razliku u kontrastu [5].

Važno je napomenuti da svaki tip slika ima svoju upotrebu ovisno o problemu koji se rješava. U ovom radu će veliku važnost imati sive i binarne slike pošto se radi o procesu detektiranja strukture fotografije i izvlačenja relevantnih informacija iz nje.

3.2. Digitalna obrada slike

Digitalna obrada slike (*eng. digital image processing*) podrazumijeva obradu digitalne fotografije koristeći računalne algoritme s ciljem unaprjeđivanja slike, izvlačenja korisnih informacija i sl. Predstavlja ključni korak u raznim primjenama računalnog vida temeljenog na dubokom učenju, poput prepoznavanja lica, detekcije objekata i kompresije slika [6].

Sam proces digitalne obrade slike može se podijeliti u sljedeće faze [6]:

- Pribavljanje slike (*eng. image acquisition*)
- Poboljšanje slike (*eng. image enhancement*)
- Restauracija slike (*eng. image restoration*)
- Kompresija slike (*eng. image compression*)
- Morfološka obrada (*eng. morphological processing*)
- Segmentacija slike (*eng. image segmentation*)
- Reprezentacija i opis (*eng. representation and description*)
- Detekcija i prepoznavanje objekata (*eng. object detection and recognition*)

Naravno nisu sve faze uvijek potrebne, već se radi o generalnim smjernicama koje se prema specifičnostima problema mogu modificirati, smanjiti ili proširiti. U nekim slučajevima čak se redoslijed faza može promijeniti ili se faze mogu provoditi više puta.

Te faze se dodatno podijeliti na **preprocesiranje, procesiranje i postprocesiranje slike**. U fazu **preprocesiranja** spadaju svi koraci koji pripremaju sliku za procesiranje, poput poboljšanja slike. Nakon preprocesiranja slijedi **procesiranje** koje se odnosi na korištenje algoritama za detekciju i prepoznavanje objekata i transformacije. Posljednja faza uključuje korake poput pripreme rezultata za prezentaciju, vizualizaciju i daljnju analizu [7].

3.2.1. Preprocesiranje slike

- Priprema slike za daljnju obradu

3.2.1.1. Pribavljanje slike

3.2.1.2. Poboljšanje slike

Cilj je poboljšati vizualnu kvalitetu slike te naglasiti korisne informacije. Uključuje:

- **Pretvaranje u sivu sliku** konverzija RGB slike u grayscale za pojednostavljenje analize.
- **Smanjenje buke** uklanjanje neželjenih šumova filtriranjem (npr. Gaussov, medijanski filter).
- **Pretvaranje u binarnu sliku** segmentacija slike u dvije razine (bijelo/crno) pomoću praga.

3.2.1.3. Restauracija slike

Korištenje algoritama za rekonstrukciju oštećenih ili degradiranih dijelova slike.

3.2.2. Procesiranje slike

- Ekstrakcija značajki i identifikacija struktura unutar slike

3.2.2.1. Segmentacija slike

Proces dijeljenja slike u regije koje predstavljaju različite objekte ili strukture.

3.2.2.2. Morfološka obrada

Primjena morfoloških operacija (dilatacija, erozija, otvaranje, zatvaranje) za poboljšanje strukture objekata na slici.

3.2.2.3. Reprezentacija i opis

Opis kontura, oblika i teksture objekata radi klasifikacije i analize.

3.2.2.4. Detekcija i prepoznavanje objekata

Otkrivanje i identifikacija objekata od interesa unutar slike. Uključuje:

- **Detektiranje kontura** identifikacija granica objekata u slici.
- **Detektiranje linija** prepoznavanje pravaca pomoću metoda poput Houghove transformacije.

3.2.3. Postprocesiranje slike

- Završna faza koja se odnosi na pohranu, vizualizaciju ili daljnju analizu rezultata.

3.2.3.1. Kompresija slike

3.2.3.2. Vizualizacija rezultata

Prikaz konačnih rezultata analize slike u svrhu interpretacije, izvještavanja ili donošenja odluka.

3.3. Analiza postojećih rješenja i pristupa problemu

4. Praktični dio

4.1. Opis rješenja

4.2. Funkcionalni zahtijevi

4.3. Implementacija

4.4. Analiza rezultata

4.5. Limitacije rješenja

4.6. Manualno testiranje rješenja

5. Zaključak

Popis literature

- [1] *What Is a Digital Image?* - Ricoh Scanners, [Online; accessed 13. Apr. 2025], travanj 2025. adresa: <https://www.pfu-us.ricoh.com/blog/what-is-a-digital-image>.
- [2] *Grayscale Image - an overview* | ScienceDirect Topics, [Online; accessed 20. Apr. 2025], travanj 2025. DOI: 10.1016/B978-0-12-822271-3.00013-X.
- [3] linkgit, „Why use Grayscale Conversion when Processing Images?” *Grayscale Images*, svibanj 2024. adresa: <https://www.grayscaleimage.com/why-use-grayscale-conversion-when-processing-images>.
- [4] *Grayscale Image - an overview* | ScienceDirect Topics, [Online; accessed 16. Apr. 2025], travanj 2025. DOI: 10.1016/B978-0-12-822271-3.00013-X.
- [5] *why we should use gray scale for image processing*, [Online; accessed 20. Apr. 2025], travanj 2025. adresa: <https://stackoverflow.com/questions/12752168/why-we-should-use-gray-scale-for-image-processing>.
- [6] *Image Processing: Techniques, Types, & Applications [2024]*, [Online; accessed 21. Apr. 2025], travanj 2025. adresa: <https://www.v7labs.com/blog/image-processing-guide>.
- [7] [Online; accessed 21. Apr. 2025], travanj 2025. adresa: <https://dl.icdst.org/pdfs/files4/01c56e081202b62bd7d3b4f8545775fb.pdf>.

Popis slika

1.	Prikaz slike u boji i pripadajućih kanala boja u RGB modelu (vlastita izrada) . . .	4
2.	Prikaz sive slike (vlastita izrada)	5
3.	Prikaz binarne slike (vlastita izrada)	6
4.	Usporedba svjetlosne komponente i komponenta boja(vlastita izrada)	7

Popis tablica