

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Sara Marković

POBOLJŠANJE KONTRASTA SNIMKE SNIMLJENE IZ ZRAKA URAVNOTEŽIVANJEM  
HISTOGRAMA

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2020.

Zadatak diplomskog rada

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**  
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 2. travnja 2020.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**  
Predmet: **Zrakoplovno izviđanje i nadzor**

## DIPLOMSKI ZADATAK br. 5661

Pristupnik: **Sara Marković (0135241915)**  
Studij: **Aeronautika**

Zadatak: **Poboljšanje kontrasta snimke snimljene iz zraka uravnoteživanjem histograma**

Opis zadatka:

Navesti karakteristike digitalnih snimaka. Objasniti metode poboljšanja digitalnih snimaka. Navesti karakteristike kamere, terena i snimljene snimke. Izraditi programski kod za poboljšanje kontrasta snimke uravnoteživanjem histograma. Analizirati rezultate poboljšanja kontrasta snimljene snimke.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:

---

doc. dr. sc. Jurica Ivošević

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

POBOLJŠANJE KONTRASTA SNIMKE SNIMLJENE IZ ZRAKA URAVNOTEŽIVANJEM  
HISTOGRAMA

CONTRAST ENHANCEMENT OF AERIAL IMAGERY BY HISTOGRAM EQUALIZATION

Mentor: doc. dr. sc. Jurica Ivošević  
Student: Sara Marković  
JMBAG: 0135241915

Zagreb, rujan 2020.

# POBOLJŠANJE KONTRASTA SNIMKE SNIMLJENE IZ ZRAKA URAVNOTEŽIVANJEM HISTOGRAMA

## SAŽETAK

Daljinska istraživanja omogućila su napredna istraživanja u mnogim granama. Prednosti ovakvog načina stjecanja informacija su mnogobrojne; preciznost, količina informacija, primjenjivost u različitim područjima, cijena itd. Ovisno o zadaći i području promatranja koriste se pasivni ili aktivni senzori koji funkcioniraju na principu elektromagnetskog zračenja. Kvaliteta dobivenih snimaka često je degradirana zbog atmosferskih i okolnih uvjeta, ali i fizičkih karakteristika senzora. Digitalna obrada snimaka omogućila je poboljšanje snimki odnosno njihove kvalitetnije i detaljnije analize. U radu je detaljnije obrađena kombinacija dvije metode poboljšanja snimki; poboljšanje kontrasta i uravnoteživanje histograma. Način rada spomenutih metoda prikazan je na primjeru termalne snimke snimljene iz zraka izradom programskog koda u programskom jeziku *Matlab*, a dobiveni rezultati potvrđuju prednosti metode i njenu ulogu u doprinosu analizi i interpretaciji.

KLJUČNE RIJEČI: daljinska istraživanja; poboljšanje kontrasta; uravnoteživanje histograma, pasivni senzori; digitalna obrada snimki

## SUMMARY

Remote sensing has enabled advanced research in many branches. The advantages of such a way of acquiring information are numerous; accuracy, amount of information, suitability in several fields, price, etc. Passive or active sensors are used depending on the tasks and the area of observation; they act on the principles of electromagnetic radiation. The quality of the obtained images is often degraded due to atmospheric and environmental conditions, but also the physical characteristics of the sensor. Digital image processing has led to better images, their quality has improved and this led to more detailed analysis. In this thesis, a combination of two methods of image enhancement will be described in more detail; contrast enhancement and histogram equalization. The working principle of mentioned methods is shown on the example of thermal images taken from the air by creating a program code in the Matlab programming language; obtained results confirm the advantages of the method and its role in contribution to the analysis and interpretation.

KEYWORDS: remote sensing; contrast enhancement; histogram equalization; passive sensors; digital image processing

# Sadržaj

|   |    |
|---|----|
| 1. Uvod .....   | 1  |
| 2. Elektromagnetsko zračenje .....                                | 2  |
| 3. Usporedba analogne i digitalne fotografije.....                | 7  |
| 4. Karakteristike digitalnih snimki .....                         | 9  |
| 4.1. Piksel.....  | 9  |
| 4.2. Rezolucija.....  | 10 |
| 4.3. Dubina bita .....  | 10 |
| 4.4. Dinamički raspon .....                                       | 12 |
| 4.5. Količina informacije .....                                   | 13 |
| 4.6. Osnovni formati snimaka .....                                | 13 |
| 5. Digitalna obrada slika .....                                   | 15 |
| 5.1. Pобољшanje slike .....                                       | 16 |
| 5.1.1. Pобољшanje kontrasta .....                                 | 16 |
| 5.1.2. Linearno rastezanje kontrasta .....                        | 17 |
| 5.1.3. Uravnoteživanje histograma .....                           | 19 |
| 5.1.4. Rezanje na razine.....                                     | 22 |
| 5.1.5. Naglašavanje rubova .....                                  | 23 |
| 5.2. Obnavljanje slike .....                                      | 24 |
| 5.3. Analiza slike .....  | 24 |
| 5.4. Kompresija slike.....  | 24 |
| 5.5. Sinteza slike .....  | 25 |
| 6. Karakteristike kamera, terena i snimaka .....                  | 26 |
| 6.1. Komponente kamera.....                                       | 26 |
| 6.2. Klasifikacija snimaka s obzirom na orijentaciju kamere ..... | 29 |
| 6.3. Nagib kamere .....   | 29 |
| 6.4. Senzori digitalnih kamera .....                              | 30 |
| 6.5. Spektralna osjetljivost .....                                | 32 |
| 6.6. Kombinacija pojasa.....                                      | 33 |
| 6.7. Pokrivanje područja višestrukim fotografijama .....          | 36 |
| 6.8. Dijelovi zračne snimke .....                                 | 37 |
| 6.9. Geometrijska distorzija snimaka .....                        | 38 |
| 6.10. Interpretacija snimke.....                                  | 38 |

|                     |  |    |
|---------------------|--|----|
| 6.11.               | Elementi vizualne interpretacije.....  | 40 |
| 6.12.               | Određivanje mjerila.....   | 42 |
| 6.13.               | Karakteristike terena snimljene snimke .....                                   | 43 |
| 7.                  | Programski kod poboljšanja kontrasta snimke uravnoteživanjem histograma- ..... | 45 |
| 8.                  | Zaključak.....   | 49 |
| LITERATURA.....     |  | 50 |
| POPIS SLIKA .....   |  | 52 |
| POPIS TABLICA.....  |  | 54 |
| POPIS KRATICA ..... |  | 55 |
| PRILOG.....         |  | 56 |

## 1. Uvod

Kombinacija unaprjeđenja tehnologija i sustava te potreba raznih grana djelatnosti dovele su do široke primjene daljinskih istraživanja. Daljinsko istraživanje je skup postupaka kojim se prikupljaju informacije o objektima i/ili područjima bez izravnog fizičkog kontakta korištenjem zrakoplova, satelita ili drugih platformi. Ovisno o ciljevima daljinskih istraživanja koriste se različiti principi, tako na primjer, za utvrđivanje posljedica manjeg šumskog požara bit će dovoljno koristiti snimke snimljene iz zrakoplova dok će se za utvrđivanje širenja milijunskog grada koristiti satelitske snimke.

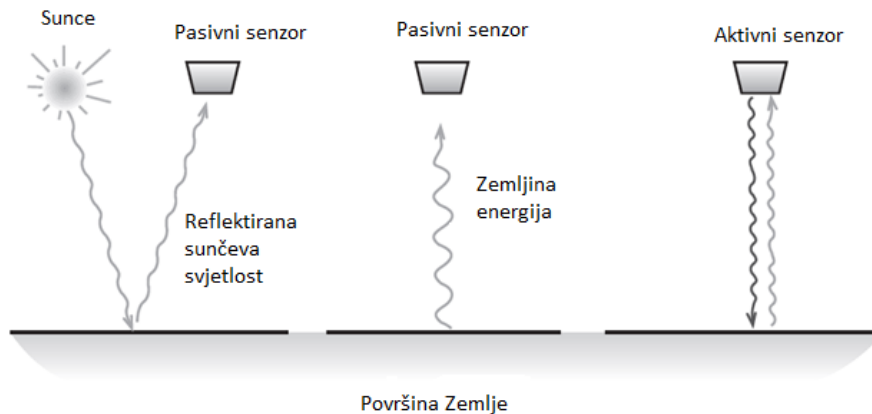
Osnovna podjela daljinskog istraživanja je na aktivno i pasivno. Aktivni senzori emitiraju elektromagnetski signal koji se reflektira o objekte na zemlji, a senzor bilježi taj povratni signal. Najpoznatije aktivno-senzorske tehnologije su LIDAR (engl. Light Detection and Ranging), ALS (engl. Airborne Laser Scanning) i mikrovalni laserski senzori.

Za razliku od aktivnih, pasivni senzori (npr. fotoaparati, infracrveni uređaji, radiometri itd.) detektiraju elektromagnetsku energiju koja se reflektirala od promatranog objekta. Reflektirana sunčeva svjetlost je najčešći izvor zračenja koji se mjeri pasivnim sensorima.

Degradacija slike može biti uzrokovana različitim razlozima, od fizičkih karakteristika senzora do atmosferskih i okolnih uvjeta, a rezultira zamućenošću i značajnim padom kvalitete slike. Kako bi se te neizbježne posljedice ublažile i uklonile, primjenjuju se različite metode poboljšanja slike. U diplomskom radu detaljnije će biti objašnjena kombinacija metoda poboljšanja kontrasta i uravnoteživanja histograma. Spomenute metode koriste se za poboljšanje slika primjenom različitih algoritama i programskih kodova što prethodi njihovoj analizi.

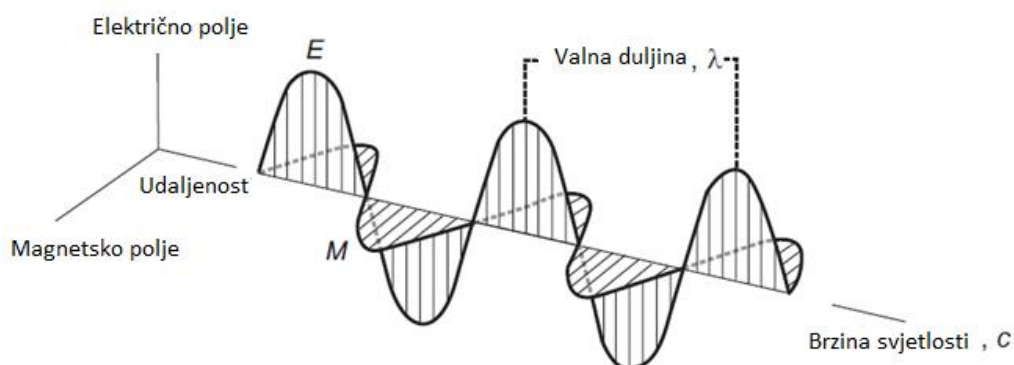
## 2. Elektromagnetsko zračenje

Daljinska istraživanja temelje se na elektromagnetskoj energiji; jedan od najvažnijih izvora energije je sunčeva energija. Pasivni senzori mjere reflektiranu sunčevu energiju ili energiju koju zrači Zemlja, dok aktivni mjere reflektiranu energiju koju sami emitiraju (Slika 1.).



Slika 1. Vrste senzora, [1]

Elektromagnetska energija najčešće se opisuje elektromagnetskim valovima (Slika 2.) koji se u obliku sinusoide širi prostorom. Sastoje se od električnog i magnetskog polja koji su međusobno okomiti. Gibanja i vibracije oba polja okomiti su na smjer širenja vala.



Slika 2. Karakteristike elektromagnetskog zračenja, [1]

Valna duljina  $\lambda$  je najkraća udaljenost između dviju čestica koje titraju u istoj fazi. Frekvencija  $\nu$  je broj ciklusa vala koji prolazi kroz fiksnu točku u određenom vremenskom



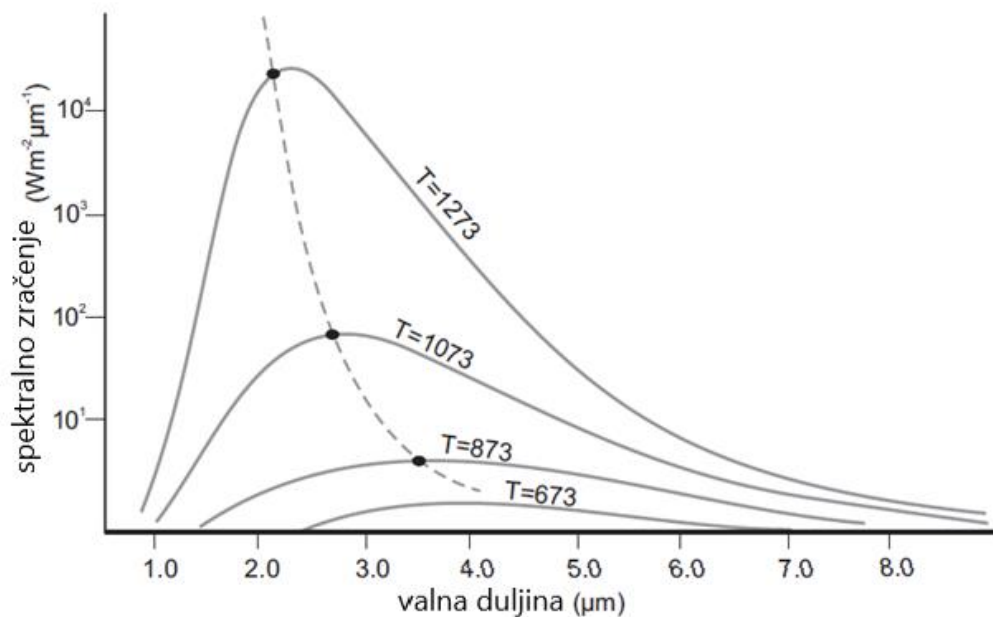
periodu; mjeri se u Hertzima. Budući da je brzina svjetlosti  $c$  konstantna ( $3 \cdot 10^8$  m/s), veza između valne duljine i frekvencije je:

$$c = \lambda \cdot \nu \quad (1)$$

Fotoni su drugi način prikazivanja elektromagnetskog zračenja. Planck je postavio teoriju da se elektromagnetska energija apsorbira i emitira u diskretnim jedinicama kvantima i fotonima. Njihova energija opisana je sljedećom formulom, a  $h$  je Planckova konstanta i iznosi  $6.6262 \cdot 10^{-34}$  Js:

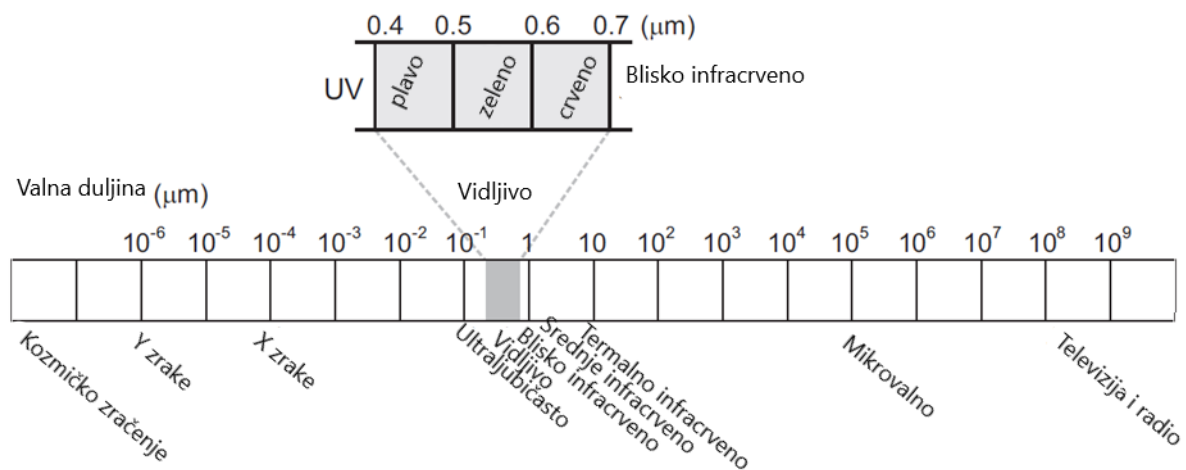
$$Q = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} \quad (2)$$

Ovim modelom objašnjava se fotoelektrični efekt, tj. stvaranje električne struje izlaganjem određenih tvari svjetlu npr. senzori kamera. Izvori elektromagnetskog zračenja su sva tijela temperature iznad apsolutne nule koja nastaje kao posljedica gibanja molekula. Izvor energije koji se ponaša idealizirano; apsorbira svo zračenje naziva se crno tijelo. Ono ne postoji u prirodi, takvi uvjeti mogu se stvoriti u laboratorijskom okruženju. Stefan-Boltzmannov zakon opisuje odnos količine zračene energije koja je u ovisnosti o valnoj duljini. Slika 3. opisuje spomenuti zakon; povećanjem temperature, vrhunac zračenja pomiče se prema kraćim valnim duljinama, a količina zračenja je veća.



Slika 3. Količina zračenja s obzirom na valnu duljinu i temperaturu tijela, [1]

Elektromagnetskim spektrom naziva se raspon valnih duljina koji se proteže od gama zračenja do radio zračenja. Svaki dio spektra ima svoje karakteristike te prednosti i nedostatke za različite primjene. Ultraljubičasto zračenje ima najkraću valnu duljinu, ono je izvan ljubičastog zračenja koje pripada vidljivom dijelu spektra. Neki materijali, npr. stijene i minerali emitiraju vidljivu svjetlost kada su osvijetljeni ultraljubičastim zračenjem. Mikrovalno zračenje obuhvaća područje od 1 mm do 1 m. Vidljiv dio spektra zapravo je mali dio koji ljudi zapažaju i koji se povezuje s konceptom boje. Veće valne duljine koriste se u daljinskim istraživanjima, npr. termalno infracrveno i mikrovalno područje spektra. Termalno infracrveno daje podatke o površinskoj temperaturi tijela, dok mikrovalno pruža informacije o sastavu površine.



Slika 4. Podjela spektra, [1]

Prolaskom sunčeve energije kroz atmosferu ona međudjeluje s njom te dolazi do pojava apsorpcije, transmisije i/ili atmosferskog raspršenja. Dio elektromagnetske energije apsorbira se prolaskom kroz atmosferu zbog različitih čestica koje se u njoj nalaze. Tri plina kod kojih je apsorpcija najizraženija su ozon, ugljikov dioksid i vodena para. Ozon se stvara interakcijom ultraljubičastog zračenja s molekulama kisika i sprječava prodiranje njegovog štetnog zračenja u donje slojeve atmosfere. Ugljikov dioksid nalazi se uglavnom u donjim slojevima atmosfere; oslobađa se u atmosferu erupcijama vulkana ili ljudskim djelovanjem. Za ovaj plin karakteristično je da upija zračenje u srednje infracrvenom i daleko infracrvenom području. Uloga vodene pare ovisi o njevoj količini koja se neprestano mijenja, a najveća apsorpcija odvija se između 5,5 – 7 mikrometara i iznad 27 mikrometara.

Atmosfersko raspršenje nastaje kao posljedica preusmjerenja elektromagnetske energije zbog čestica u atmosferi ili velikih molekula atmosferskih plinova. Količina raspršenja ovisi o valnoj duljini zračenja, količini čestica plinova i njihovoj veličini i udaljenosti koju zračenje prolazi. Tri su vrste atmosferskog raspršenja:

- Rayleightovo raspršenje;
- Mieovo raspršenje;
- Neselektivno raspršenje.

Rayleightovo raspršenje javlja se pri susretu elektromagnetskog zračenja s česticama koje su manje od valne duljine upadne svjetlosti. Primjeri takvih čestica su prašina te molekule dušika i kisika. Ova vrsta raspršenja najizraženija je na manjim valnim duljinama, a kod većih valnih duljina ono se smanjuje. Njegova pojava u daljinskim istraživanjima ima negativan efekt jer na fotografijama snimljenim na većim visinama uzrokuje plavilo te smanjuje kontrast koji može imati utjecaja na kvalitetu interpretacije.



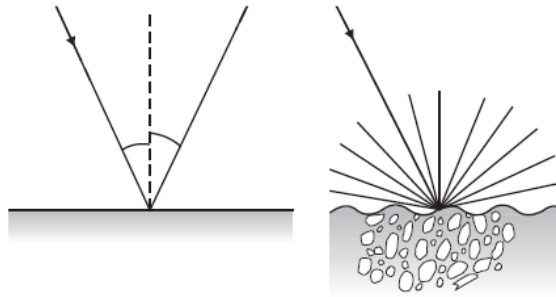
Slika 5. Efekt raspršenja, [1]

Do Mieovog raspršenja dolazi kada valna duljina dolaznog zračenja nailazi na atmosferske čestice koje su slične veličine kao ona. Najvažniji uzrok raspršenja su aerosoli; mješavine plinova, vodene pare i prašine. Ograničeno je na donje slojeve atmosfere gdje ima više takvih molekula i gdje je prisutnost oblaka veća.

Neselektivno raspršenje, za razliku od prethodno dvaju spomenutih raspršenja, pojavljuje se nailaskom valne duljine na čestice koje su veće od nje; najčešće su to kapljice vode ili veće čestice prašine. Neselektivno raspršenje neovisno je o valnoj duljini te se one raspršuju u jednakoj mjeri.

Reflektirano zračenje može biti važno za tumačenje karakteristika površina. Dvije su vrste refleksije: regularna i difuzna refleksija. Regularna refleksija pojavljuje se kod glatkih

površina (npr. ogledala), a reflektira nadolazeće zračenje u jednom smjeru, s tim da upadni kut zrake odgovara kutu refleksije. Hrapave površine uzrok su difuzne refleksije gdje se energija gotovo jednoliko reflektira u svim smjerovima. Vrsta refleksije zapravo ovisi o hrapavosti površine u odnosu na valnu duljinu, a u prirodi najčešće dolazi do njihove kombinacije.



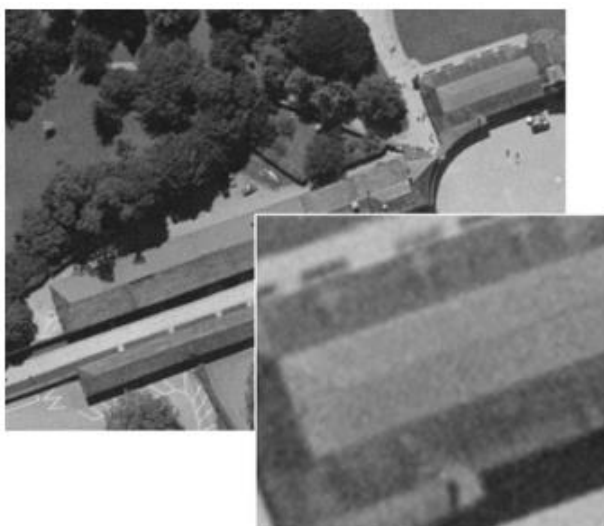
*Slika 6. Regularna i difuzna refleksija, [1]*

### 3. Usporedba analogne i digitalne fotografije

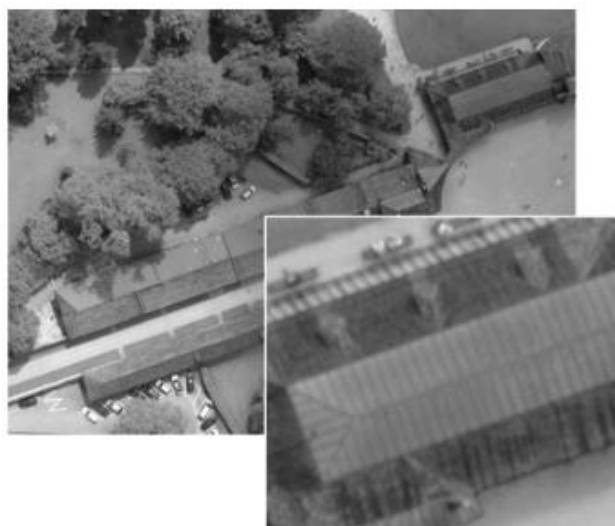
Fotografija je postupak dobivanja trajne slike objekta djelovanjem elektromagnetskoga zračenja na fotoosjetljivu podlogu [1]. U hrvatskom jeziku koristi se i termin "snimak" koji predstavlja digitalnu prezentaciju podataka u obliku matrice slikovnih elemenata ili piksela.

Osnovna razlika analogne i digitalne fotografije je tehnika bilježenja zapisa. Analogna fotografija nastaje snimanjem na film koji se korištenjem posebnih strojeva i kemijskih procesa prenosi na foto-papir, dok se digitalna snimka snima na svjetlosni senzor zatim na neki digitalni medij. Digitalna fotografija može se razviti na papir, dok se analogna fotografija može skenirati i pohraniti u digitalnom obliku. U počecima zračne fotografije analogna fotografija bila je zadovoljavajuća za interpretaciju pojedinih informacija, no razvojem digitalnih snimki, analiza, obrada i manipulacija postaju puno jednostavnije.

Na Slikama 7. i 8. prikazana je usporedba zračne fotografije snimljene na film i digitalne zračne fotografije. Jasno je vidljivo da je digitalna fotografija kvalitetnija i prikazuje objekte detaljnije u odnosu na analognu.



Slika 7. Analogna zračna fotografija, [2]



Slika 8. Digitalna zračna fotografija, [2]

Prednosti i nedostaci digitalnih snimki u odnosu na analogne navedeni su u Tablici 1.:

*Tablica 1. Prednosti i nedostaci digitalnih snimki u odnosu na analogne, [3]*

| <b>Prednosti</b>   | <b>Nedostaci</b>  |
|--|---|
| Odmah spremna za obradu bez potrebe skeniranja.  | Mnoge kamere ne koriste ista optička i radiometrijska svojstva analognih kamera te koriste različite metode procesiranja i interpolacije za izradu slike u cijelom kadru, podešavanja svjetline na slici i osiguravanja ispravne registracije odvojenih opsega. |
| Uštede u pohrani, obradi i prijenosu podataka.<br>Uštede operativnih troškova.   | Mali otisci digitalnih slika zahtijevaju više slika.<br>Linearni sustavi ovisni o zračnim GPS/inercijalnim (AGPS/IMU) podacima.   |
| Primjenjivost različitih aplikacija za obradu slike i velik broj produkata iz digitalne snimke.<br>Veći raspon svjetlina u odnosu na analogne snimke, što omogućuje kvalitetniju interpretaciju slike. | Linearni skeneri imaju modele senzora koji imaju manje potpore u fotogrametrijskom software-u.<br>Digitalni sustavi zahtijevaju velika inicijalna ulaganja.   |
| Precizna multispektralna pokrivenost.  | Manje je svojstvene stabilnosti nego kod analognih kamera.<br>Kalibracija i kontrola kvalitete može biti zahtjevna.   |

## 4. Karakteristike digitalnih snimki

Digitalne snimke mogu se opisati određenim karakteristikama koje opisuju njihova svojstva, a to su: pikseli, rezolucija, dubina bita, dinamički raspon, količina informacija te formati slike. Poznavanje karakteristika digitalnih snimki neizostavno je u digitalnoj obradi slika, a pojedinačno su objašnjeni u nastavku rada.

### 4.1. Piksel

Digitalna slika sastavljena je od dvodimenzionalnog niza diskretnih brojevnih vrijednosti raspoređenih u redove i stupce koji se naziva matrica. Najmanji element matrice koji se može obrađivati naziva se piksel (engl. Pixel – Picture element). Svaki piksel je zapravo vrijednost koja predstavlja intenzitet svjetlosti ili boje. Broj piksela utječe na kvalitetu i dimenzije slike, a veličine kojima se piksel može opisivati su položaj, nijansa boje odnosno dubina boje i intenzitet osvjetljenosti. Što je veći broj piksela, slika je kvalitetnija i raspoznaje se veći broj detalja. Broj boja svakog piksela može se odrediti brojem bita koji se koriste za prikaz.

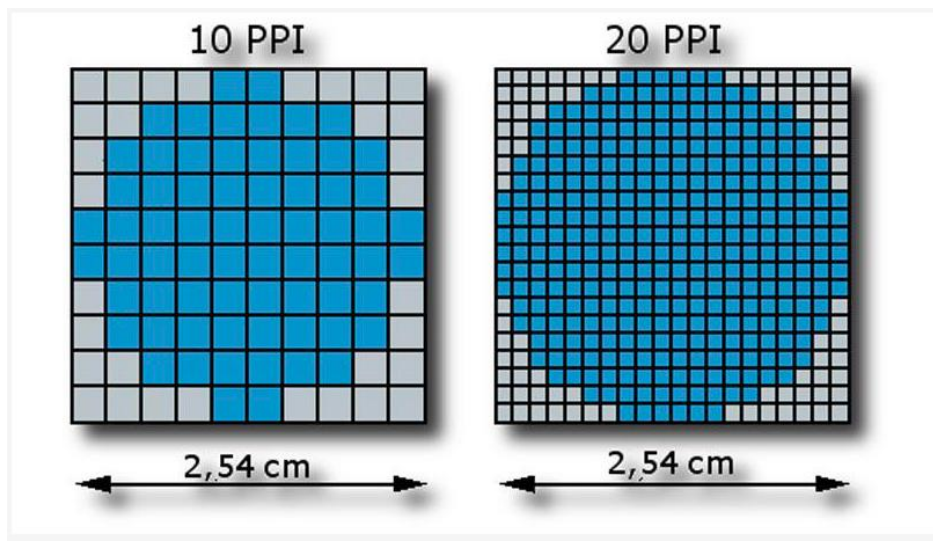
Na Slici 9. prikazana je matrica s pikselima različitih vrijednosti; manje vrijednosti označavaju tamnije, a analogno tome više vrijednosti predstavljaju svjetlije nijanse.

|     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 94  | 178 | 124 | 90  | 131 | 0   |
| 23  | 94  | 135 | 147 | 94  | 138 |
| 153 | 120 | 140 | 73  | 162 | 6   |
| 72  | 64  | 10  | 124 | 56  | 64  |
| 3   | 60  | 75  | 82  | 86  | 129 |
| 116 | 92  | 165 | 106 | 170 | 89  |

Slika 9. Matrica piksela, [4]

## 4.2. Rezolucija

Rezolucija ili razlučivost slike je sposobnost razlučivanja prostornih detalja na slici. Ponekad se definira širinom i visinom slike kao i ukupnim brojem piksela. PPI (engl. Pixels per inch) i DPI (engl. Dots per inch) su frekvencije uzorkovanja. One su mjere gustoće piksela, a označavaju koliko se piksela ili točaka nalazi na duljini od jednoga inča što je ekvivalentno duljini od 2,54 centimetra. Veći broj piksela odgovara većoj rezoluciji i kvalitetnijoj slici [5] kao što je prikazano na Slici 10.



Slika 10. Slike različitih rezolucija, [6]

## 4.3. Dubina bita

Dubina bita označava s koliko bita je definiran piksel [7]. Bit je mjerna jedinica za količinu informacije. Svaki piksel ima svoju lokaciju koja je opisana x, y koordinatama. Ako je računalo podešeno da radi s jednim bitom, svakom pikselu mogu se dodijeliti dvije vrijednosti 0 ili 1. 0 označava crno, a 1 bijelo kao što je prikazano na Slici 11. Kada se za prijenos informacije koriste dva bita, četiri su moguće kombinacije: 00, 01, 10 i 11 tj. četiri moguće nijanse. Tri bita daju osam kombinacija itd. Broj bita zapravo je potencija broja 2, a rezultat daje broj sivih nijansi. Ako se broj sivih nijansi pomnoži s onim brojem koliko je karakterističnih boja, u konkretnom slučaju za crvenu, zelenu i plavu množi se s tri, tada se dobije broj potencijalnih vrijednosti boje (Slika 12.).



|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Slika 11. Bitonalna slika s vrijednostima piksela, [8]

**Dubina bita pretvorena u potencijalne sive nijanse i nijanse boje**

| Broj bita | Log Formula<br>(potencija na 2) | Vrijednosti sivih tonova | Vrijednosti potencijalnih R, G, B boja |
|-----------|---------------------------------|--------------------------|--|
| 1-bit     | $2^1 =$                         | 2                        | 8                                      |
| 2-bit     | $2^2 =$                         | 4                        | 64                                     |
| 3-bit     | $2^3 =$                         | 8                        | 512                                    |
| 4-bit     | $2^4 =$                         | 16                       | 4 096                                  |
| 6-bit     | $2^6 =$                         | 64                       | 262 144                                |
| 8-bit     | $2^8 =$                         | 256                      | 16.77 milijuna                         |
| 10-bit    | $2^{10} =$                      | 1024                     | 1.07 milijardi                         |
| 11-bit    | $2^{11} =$                      | 2048                     | 8.59 milijardi                         |
| 12-bit    | $2^{12} =$                      | 4096                     | 68.72 milijardi                        |

Slika 12. Broj potencijalnih nijansi, [9]

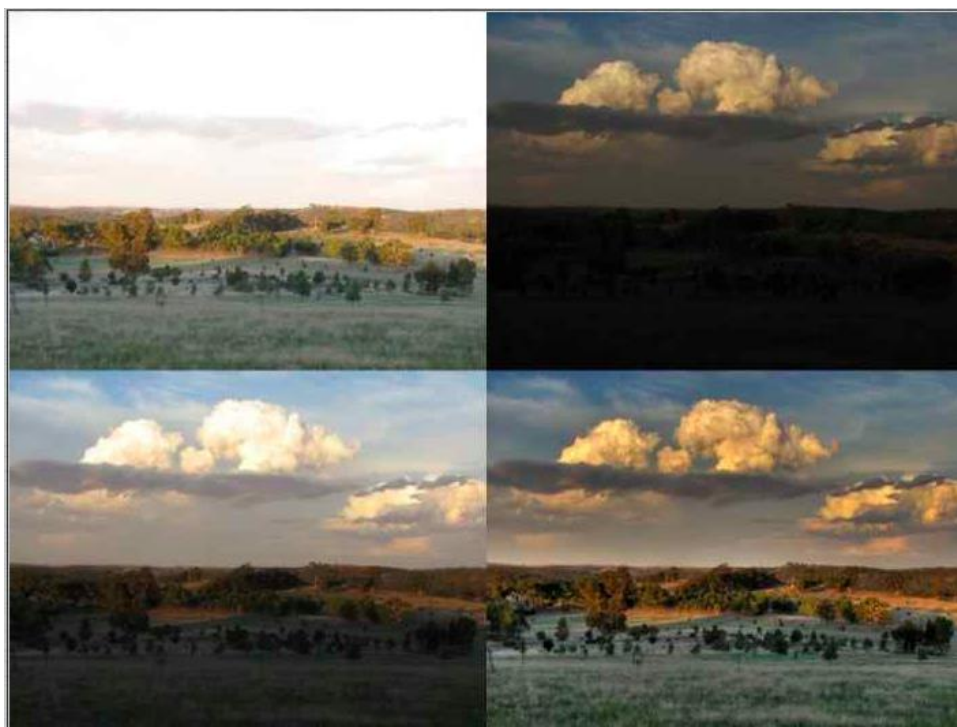
Osam bita (što je ekvivalentno jednom bajtu) omogućuju 256 mogućih kombinacija nijansi sivog. Za definiranje boje koriste se RGB (engl. Red Green Blue) i CMYK (engl. Cyan, Magenta, Yellow and Black) sustavi. RGB najčešće je korišten sustav, a definira boju koristeći tri primane: crvenu, zelenu i plavu. Svaki piksel ima udjele ove tri boje koje daju jednu konačnu nakon što se rešetke svake boje preklape u jednu.

#### 4.4. Dinamički raspon

Dinamički raspon je odnos između najtamnijeg i najsvjetlijeg dijela scene ili slike. Određen je maksimalnim rasponom tonova koji se mogu snimiti, odnosno reproducirati nekim izlaznim uređajem. HDR (engl. High Dynamic Range) omogućuje da se na fotografiji kombiniraju više ekspozicija kako bi se stvorila jedna konačna slika visokog dinamičkog raspona. Ekspozicija je ukupna količina svjetla koja pada na fotoosjetljivi sloj [10]. Intenzitet svjetla je glavni faktor koji utječe na dinamički raspon scene. Kod nadekspozicioniranih fotografija dolazi do gubitka detalja u najsvjetlijim, a kod podekspozicionirane fotografije u najtamnijim dijelovima.

Na Slici 13. brojevima su prikazane:

1. Nadekspozicionirana fotografija;
2. Podekspozicionirana fotografija;
3. HDR fotografija;
4. HDR fotografija nakon softverske obrade.



*Slika 13. Fotografije različitih ekspozicija i dinamičkih raspona, [11]*

## 4.5. Količina informacije

Količina informacije snimke je mjera veličine datoteke. Ovisi o broju bitova potrebnih za pohranu podataka. Obično se mjeri u bitovima s prefiksom:

1 bajt = 8 bita

1 KiB = 1024 bita

1 MiB = 1048576 bita

1 GiB = 1073741824 bita

1 TiB = 1099511627776 bita

Za određivanje veličine datoteke koriste se sljedeće tri formule:

$$\text{veličina\_datoteke} = (\text{visina} * \text{širina} * \text{dubina\_bita} * \text{dpi}^2) / 8 \quad (3)$$

$$\text{veličina\_datoteke} = (\text{dimenzije\_piksela} * \text{dubina\_bita}) / 8 \quad (4)$$

$$\text{veličina\_datoteke} = (\text{visina} * \text{širina} * \text{dubinabita} * \text{dpi}^2) / 8 \text{ [bajt]} \quad (5)$$

## 4.6. Osnovni formati snimaka

---

|             |   |
|-------------|---|
| <b>GIF</b>  | <ul style="list-style-type: none"><li>– engl. Graphics Interchange Format ;</li><li>– koristi se kod linijsko grupiranih piksela - BIL (engl. Band interleaved by line) format zapisa;</li><li>– algoritam kompresije je bez gubitaka;</li><li>– ograničen na 8-bitne slike u boji.</li></ul>                 |
| <b>JPEG</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>– engl. Joint Photographic Experts Group;</li><li>– kompresija s gubicima;</li><li>– viši stupanj kompresije dovodi do vidljivog narušavanja kvalitete, no postoji ograničenje u svrhu zadržavanja kvalitete.</li></ul>   |
| <b>PNG</b>  | <ul style="list-style-type: none"><li>– engl. Portable Network Graphics;</li><li>– kompresija bez gubitaka korištenjem DEFLATE algoritma;</li><li>– moguća kompresija s gubicima;</li><li>– podržava sive, indeksirane i bitmapirane slike u boji;</li><li>– podržani alfa kanali i gama korekcija.</li></ul> |

---

---

**TIFF**

- engl. Tagged Image File Format;
- podržava različite tipove slika (binarne, *grayscale*, 8-bitne i 24-bitne RGB slike...);
- podržan u softveru za obradu slike.

---

**BMP**

- engl. Bitmap Image File;
  - standardni format za sistemsku grafiku;
  - ne koristi kompresiju, posljedica toga velike datoteke;
  - podržan u softveru za obradu slike [12].
-

## 5. Digitalna obrada slika

Digitalna obrada slike (engl. Digital image processing) je podvrgavanje numeričkih reprezentacija objekata seriji operacija s ciljem postizanja željenog rezultata [13]. Glavno obilježje je da je slika ulazna i izlazna veličina procesa. Digitalna obrada primjenjuje se u mnogim granama kao što su daljinska istraživanja, medicina, industrija, komunikacije, astronomija itd.

Pet je osnovnih kategorija digitalne obrade slika [14]:

- Pобољшanje slike (engl. Image enhancement);
- Obnavljanje slike (engl. Image restoration);
- Analiza slike (engl. Image analysis);
- Kompresija slike (engl. Image compression);
- Sinteza slike (engl. Image synthesis).

Svaka od prethodno navedenih kategorija obrade sastoji se od nekoliko metoda kao što je prikazano u Tablici 2.

Tablica 2. Metode obrade slike, [14]

| Kategorije digitalne obrade slika | Primjeri metoda  |
|-----------------------------------|--|
| Pобољшanje slike                  | Podešavanje svjetline, poboljšanje kontrasta, konvolucija, filtriranje frekvencijske domene, naglašavanje rubova |
| Obnavljanje slike                 | Fotometrijska korekcija, inverzno filtriranje  |
| Analiza slike                     | Segmentacija, ekstrakcija karakteristika, klasifikacija objekata   |
| Kompresija slike                  | Kompresija sa i bez gubitaka   |
| Sinteza slike                     | Tomografska snimka, 3D rekonstrukcija  |

## 5.1. Poboljšanje slike

Poboljšanje slike je jedna od kategorija digitalne obrade slika kojoj je cilj poboljšanje vizualnog izgleda digitalnih slika zbog prilagodbe ekranu i kvalitetnije daljnje analize. Slikama se mogu mijenjati svjetlina, kontrast, oštrina itd. Ovoj kategoriji pripadaju sljedeće metode [15]:

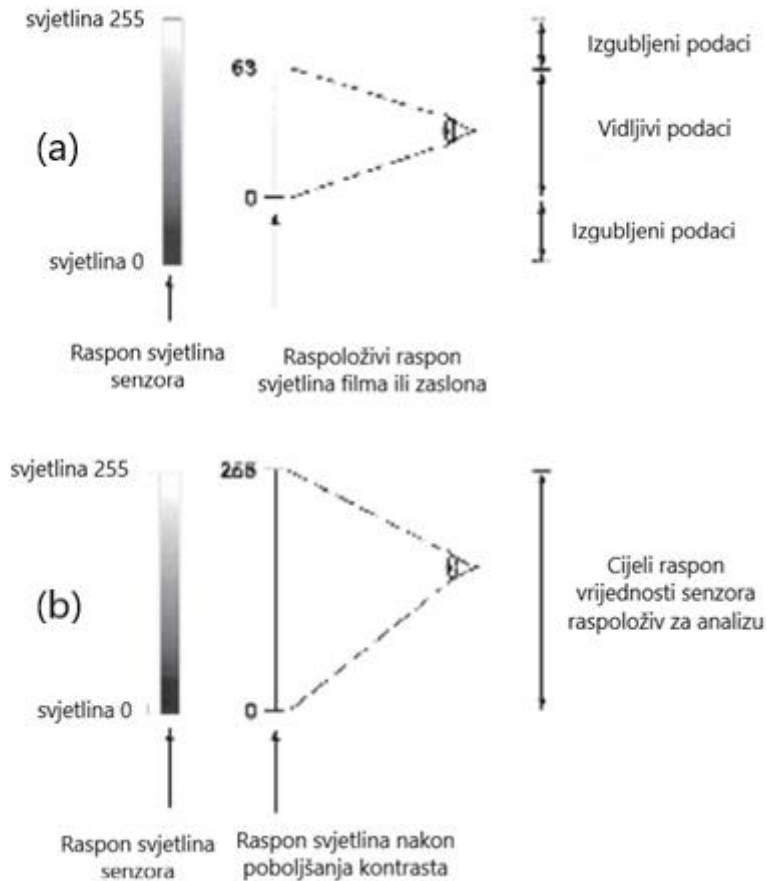
- Poboljšanje kontrasta (engl. Contrast enhancement);
- Linearno rastezanje (engl. Linear Stretch);
- Uravnoteživanje histograma (engl. Histogram equalization);
- Rezanje na razine (engl. Density slicing);
- Naglašavanje rubova (engl. Edge enhancement).

S obzirom na temu diplomskog rada, detaljnije su opisane metode poboljšanja kontrasta i uravnoteživanja histograma.

### 5.1.1. Poboljšanje kontrasta

Kontrast predstavlja raspon vrijednosti svjetlina na slici. Poboljšanje kontrasta provodi se s ciljem prilagodbe svjetlina ljudskom vidu budući da senzori bilježe veće raspone od onih čovjeku vidljivih. Na primjer, ako je neki zaslon ograničen rasponom kojeg može prikazati dolazi do potencijalnog gubitka informacija koje su izvan granica te se one neće moći prikazati (Slika 14). Poboljšanjem kontrasta svakom pikselu dodjeljuje se nova vrijednost kako bi se omogućio veći raspon svjetlina, a to se postiže “rastezanjem” histograma.

Histogram je grafički prikaz vrijednosti snimka. Vrijednosti u slučaju 8-bitnih podataka nalaze se u rasponu od 0 do 255 i smještene su na apscisi grafikona. Frekvencija pojavljivanja svake vrijednosti nalazi se na osi ordinata. Granice vrijednosti svjetline određuju se sljedećom formulom  $R_{\max}=2^B-1$ , gdje B označava broj bita. Poboljšanje kontrasta postiže se i kombinacijom s drugim metodama kao što je linearno istežanje i uravnoteživanje histograma [16].



Slika 14. Poboljšanje kontrasta, [15]

### 5.1.2. Linearno rastezanje kontrasta

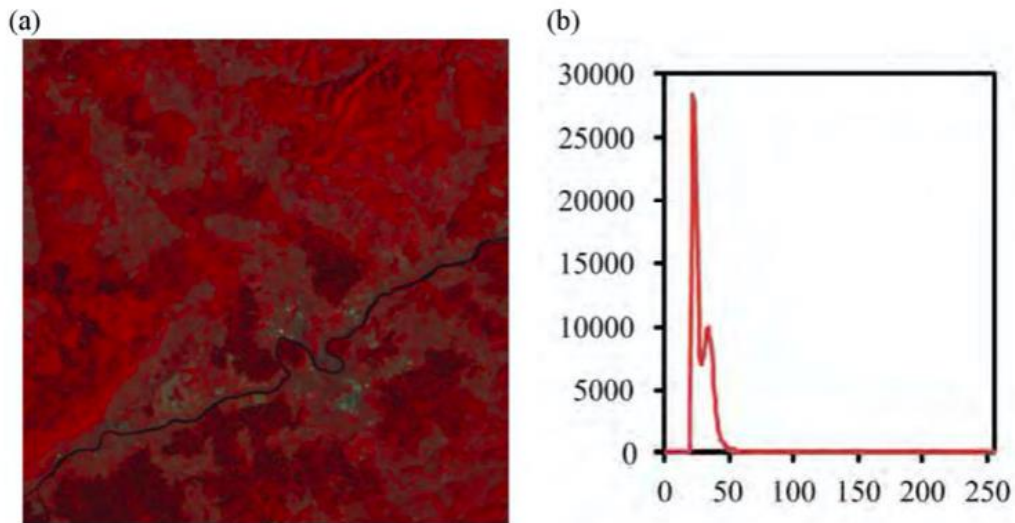
Linearno rastezanje kontrasta najjednostavnija je tehnika poboljšanja kontrasta kod koje se traži minimalna i maksimalna vrijednost u histogramu ( $I_{\min}$  i  $I_{\max}$ ). Histogram se rasteže u rasponu od 0 do  $R_{\max}$ . Na primjer, najmanja vrijednost na nekoj snimci iznosi 100, a najveća 170, korištenjem ove tehnike taj raspon će se “razvući” na raspoloživi raspon od 0 do 255 pri čemu se povećava kontrast svijetlih i tamnim dijelova snimke. Koristi se sljedeća formula:

$$I_{\text{lin\_rast}} = R_{\max} \frac{I - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \quad (6)$$

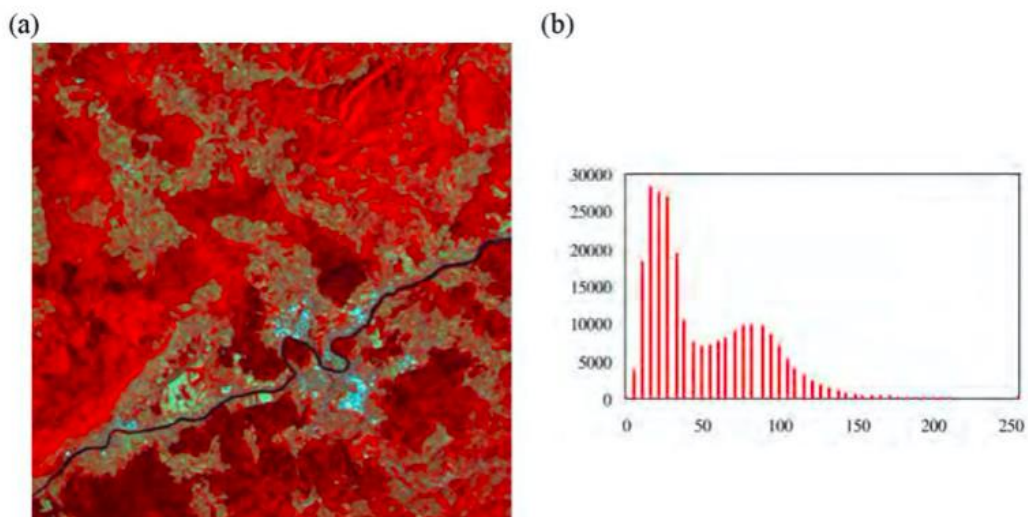
gdje su veličine izražene kao:

- $I_{\text{lin\_rast}}$  – nova vrijednost piksela;
- $I$  – prvobitna vrijednost piksela;
- $R_{\max}$  – najveća radiometrijska vrijednost;

- $I_{\min}$  – najmanja vrijednost svjetline/piksela;
- $I_{\max}$  - najveća vrijednost svjetline/piksela.



Slika 15. Snimka prije linearnog istežanja, [16]



Slika 16. Snimka nakon linearnog istežanja, [16]

Kod linearnog rastežanja sa zasićenjem reže se donji i gornji dio vrijednosti (1% do najviše 10%, simetrično kod najvećih i najmanjih vrijednosti). Koristi se sljedeća formula:

$$I_{\text{lin\_rast\_zas}} = \left\{ \begin{array}{l} 0 : I \leq I_{s\_min} \\ R_{\max} \frac{I - I_{s\_min}}{I_{s\_max} - I_{s\_min}} : I_{s\_min} < I < I_{s\_max} \\ R_{\max} : I \geq I_{s\_max} \end{array} \right\} \quad (7)$$



Umjesto najveće i najmanje vrijednosti uzima se gornja i donja granica zasićenja. Oni pikseli koji su manji od donje granice zasićenja dobivaju vrijednost 0, a oni koji su veći od gornje granice zasićenja dobivaju vrijednost  $R_{max}$ .

### 5.1.3. Uravnoteživanje histograma

Uravnoteživanjem histograma dolazi do raspodjele piksela tako da su sve vrijednosti zastupljene u približno jednakom omjeru. Globalno uravnoteživanje histograma dobro je za manje slike ili slike na kojima su predstavljene sve različite razine intenziteta. Kod lokalnog uravnoteživanja histograma uravnoteživanje se provodi na dijelu slike [15]. Slijedi primjer uravnoteživanja histograma crno bijele slike prikazane matricom:

$$\begin{bmatrix} 3 & 2 & 4 & 5 \\ 7 & 7 & 8 & 2 \\ 3 & 1 & 2 & 3 \\ 5 & 4 & 6 & 7 \end{bmatrix}$$

Svaki element matrice predstavlja piksel i vrijednost piksela koja predstavlja njegov intenzitet. Vrijednost intenziteta nalazi se u rasponu od 1 do 8. Cilj je povećati raspon intenziteta npr. 1-20.

Koraci za uravnoteživanje histograma:

1. Utvrditi učestalost svake vrijednosti piksela.

|                    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|--------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| Intenzitet piksela | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Broj piksela N     | 1 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 1 | 0 | 0  |

2. Izračunati vjerojatnost intenziteta svakog piksela. Vrijednost  $n_t$  dobije se sljedećom formulom:

$$n_t = \frac{N}{R_{max}} \quad (8)$$

Gdje je:

- $N$  – broj piksela određenog intenziteta;
- $R_{max}$  – broj mogućih vrijednosti tj. ukupan broj piksela.

Budući da je riječ o matrici dimenzija 4x4, Rmax iznosit će 16. Korištenjem formule dobivena je sljedeća tablica:

|                    |        |        |        |       |       |        |        |        |   |    |
|--------------------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|---|----|
| Intenzitet piksela | 1      | 2      | 3      | 4     | 5     | 6      | 7      | 8      | 9 | 10 |
| Broj piksela N     | 1      | 3      | 3      | 2     | 2     | 1      | 3      | 1      | 0 | 0  |
| Vjerojatnost       | 0.0625 | 0.1875 | 0.1875 | 0.125 | 0.125 | 0.0625 | 0.1875 | 0.0625 | 0 | 0  |

3. Izračunati kumulativnu vjerojatnost korištenjem sljedeće formule:

$$C_j = \sum_{i=0}^j n_i \quad (9)$$

Gdje je:

- $C_j$  – kumulativna vjerojatnost;
- $N_i$  – vjerojatnost piksela s intenzitetom  $i$ .

|                          |        |        |        |        |        |        |        |        |   |    |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---|----|
| Intenzitet piksela       | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9 | 10 |
| Broj piksela N           | 1      | 3      | 3      | 2      | 2      | 1      | 3      | 1      | 0 | 0  |
| Vjerojatnost             | 0.0625 | 0.1875 | 0.1875 | 0.125  | 0.125  | 0.0625 | 0.1875 | 0.0625 | 0 | 0  |
| Kumulativna vjerojatnost | 0.0625 | 0.25   | 0.4375 | 0.5625 | 0.6875 | 0.75   | 0.9375 | 1      | 1 | 1  |

4. Budući da je cilj povećanje raspona na 0-20, kumulativna vjerojatnost se množi s 20.

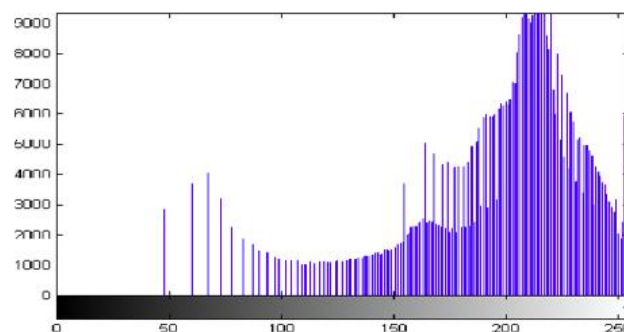
|                          |        |        |        |        |        |        |        |        |    |    |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|----|
| Intenzitet piksela       | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9  | 10 |
| Broj piksela N           | 1      | 3      | 3      | 2      | 2      | 1      | 3      | 1      | 0  | 0  |
| Vjerojatnost             | 0.0625 | 0.1875 | 0.1875 | 0.125  | 0.125  | 0.0625 | 0.1875 | 0.0625 | 0  | 0  |
| Kumulativna vjerojatnost | 0.0625 | 0.25   | 0.4375 | 0.5625 | 0.6875 | 0.75   | 0.9375 | 1      | 1  | 1  |
| Kumulativna vrijednost*K | 1.25   | 5      | 8.75   | 11.25  | 13.75  | 15     | 18.75  | 20     | 20 | 20 |

5. Zaokružiti decimalne vrijednosti na manje *integer* vrijednosti (funkcija *floor*). Dobivene vrijednosti su nove vrijednosti piksela slike nakon uravnoteživanja histograma.

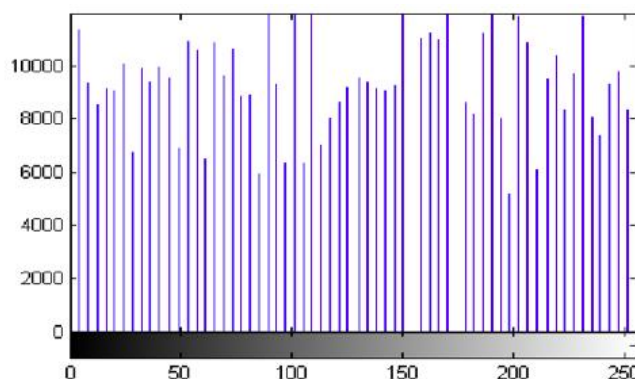
|                          |        |        |        |        |        |        |        |        |    |    |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|----|
| Intenzitet piksela       | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9  | 10 |
| Broj piksela N           | 1      | 3      | 3      | 2      | 2      | 1      | 3      | 1      | 0  | 0  |
| Vjerojatnost             | 0.0625 | 0.1875 | 0.1875 | 0.125  | 0.125  | 0.0625 | 0.1875 | 0.0625 | 0  | 0  |
| Kumulativna vjerojatnost | 0.0625 | 0.25   | 0.4375 | 0.5625 | 0.6875 | 0.75   | 0.9375 | 1      | 1  | 1  |
| Kumulativna vrijednost*K | 1.25   | 5      | 8.75   | 11.25  | 13.75  | 15     | 18.75  | 20     | 20 | 20 |
| Zaokružene vrijednosti   | 1      | 5      | 8      | 11     | 13     | 15     | 18     | 20     | 20 | 20 |

Dobivena je nova matrica:

$$\begin{bmatrix} 8 & 5 & 11 & 13 \\ 18 & 18 & 20 & 5 \\ 8 & 1 & 5 & 8 \\ 13 & 11 & 15 & 18 \end{bmatrix}$$



Slika 17. Snimka prije uravnoteživanja histograma, [17]

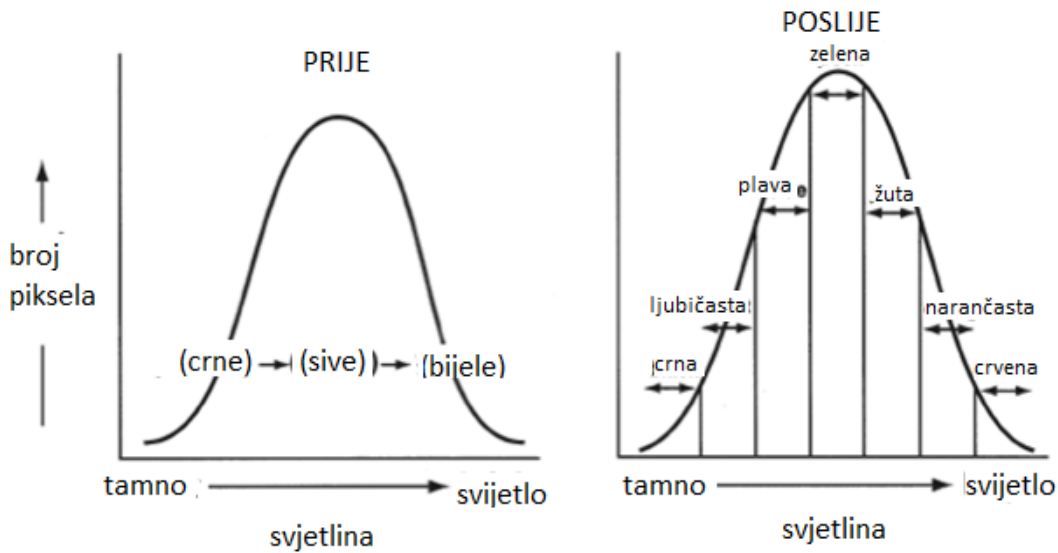


Slika 18. Snimka nakon uravnoteživanja histograma, [17]

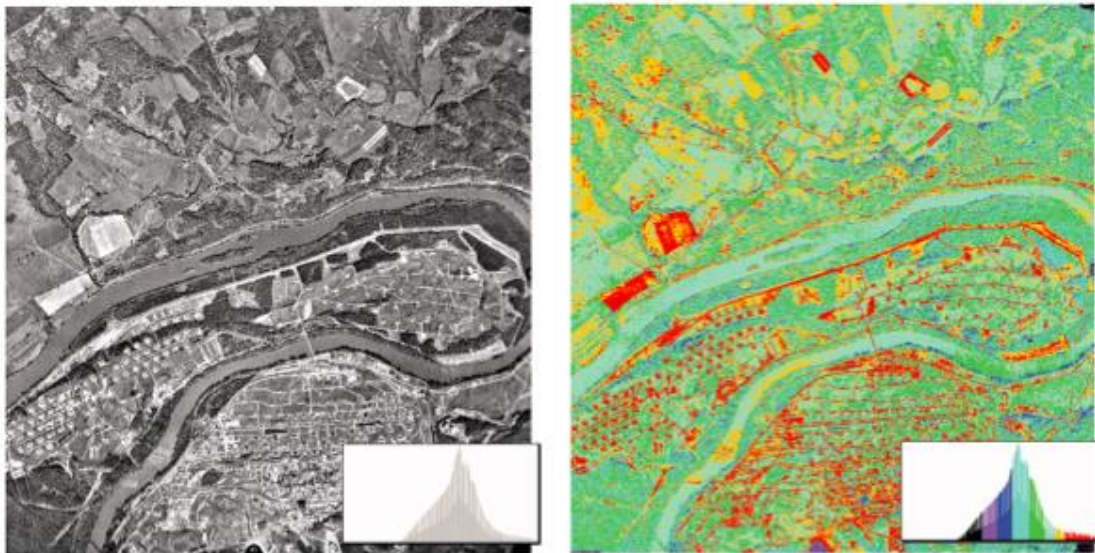
Na Slikama 17. i 18. prikazana je usporedba snimka iz zraka prije i nakon primjene metode uravnoteživanja histograma.

#### 5.1.4. Rezanje na razine

Rezanje na razine (engl. Desity slicing) je metoda kod koje se intervali ili područja određenih vrijednosti svjetline prikazuju u samo jednoj boji (Slika 19. i 20.). Odabir boja je važan jer upravo on može utjecati na kvalitetu poboljšanja slike. Ova metoda često se koristi za označavanje varijacija vegetacije.



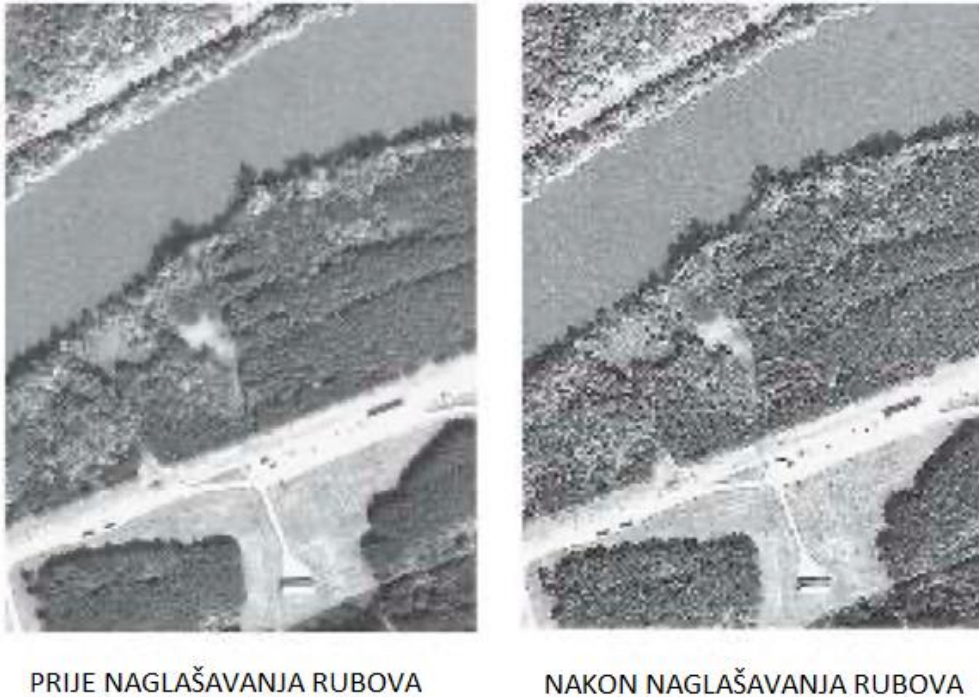
Slika 19. Rezanje na nivoe, [15]



Slika 20. Crno bijela slika prije i nakon primjene metode rezanja na nivoe, [15]

### 5.1.5. Naglašavanje rubova

Naglašavanje rubova (engl. Edge enhancement) je proces obrade snimka koji poboljšava rubove i linije na snimci. Pojačavaju se prijelazi između različitih područja svjetlina, točnije povećava se kontrast u lokalnom području. Prisutnost šuma (engl. Noise), grube razlučivosti i drugih čimbenika razlog su zamagljenja tih prijelaza.



*Slika 21. Usporedba slike prije i nakon primjene metode naglašavanja rubova, [15]*

Iako postoje mnogobrojni filteri za naglašavanje rubova najčešće se koristi Laplacian filter koji se sastoji od kvadrata koji se pomiče kroz sliku tako da je centar tog kvadrata prošao svaki piksel slike. Laplacian filter je zapravo matrica dimenzija 3x3:

$$K = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

Vrijednost svjetlina svakog piksela koji se u tom trenutku nalazi unutar Laplace-ovog filtera množi se s  $-1$ , osim središnjeg piksela koji se množi s  $8$ . Središnji piksel tada dobiva novu vrijednost koja je jednaka zbroju svih 9 dobivenih vrijednosti.

## 5.2. Obnavljanje slike

Obnavljanje slike je postupak vraćanja slike iz degradirane verzije uklanjanjem zamagljenosti i šuma. Svaki fotoaparati ili kamera sastoji se od sustava za formiranje slike, detektora slike i sustava za registraciju slike. Svaka od spomenutih komponenti uz šum unosi degradaciju.

Metode za obnavljanje slike su [18]:

- Inverzni filter;
- Pseudo inverzni filter;
- Wienerov filter.

## 5.3. Analiza slike

Analiza slike je postupak izvlačenja značajnih informacija iz slike. Kod digitalnih slika najčešće se primjenjuju tehnike digitalne obrade:

- 2D i 3D prepoznavanje objekata;
- segmentacija slike;
- detekcija pokreta;
- praćenje videozapisa;
- optički protok;
- 3D procjena položaja.

## 5.4. Kompresija slike

Kompresija slike (engl. Compression) je postupak smanjivanja veličine podatka bez značajne degradacije kvalitete. Ona omogućuje veću količinu podataka manje veličine na nekom digitalnom mediju. Kompresija može biti s gubicima i bez gubitaka, a svaka ima svoje metode i algoritme. U prethodnoj cjelini objašnjeni su neki od najčešće korištenih formata te njihova svojstva kompresije.

Dekompresija (engl. Decompression) je proces obnove podataka kakvi su bili prvotni.

Kompresijski omjer (engl. Compression ratio) jest omjer koji uspoređuje veličinu originalne snimke s onom koja je komprimirana.

## 5.5. Sinteza slike

Sinteza slike je postupak stvaranja novih slika iz nekog oblika opisa slike. Vrste slika koje se obično sintetiziraju uključuju:

- Ispitni obrasci - scene s jednostavnim dvodimenzionalnim geometrijskim oblicima;
- Šum na slici;
- Računalna grafika – scene ili slike dobivene na temelju opisa geometrijskih oblika, najčešće su modeli trodimenzionalni.

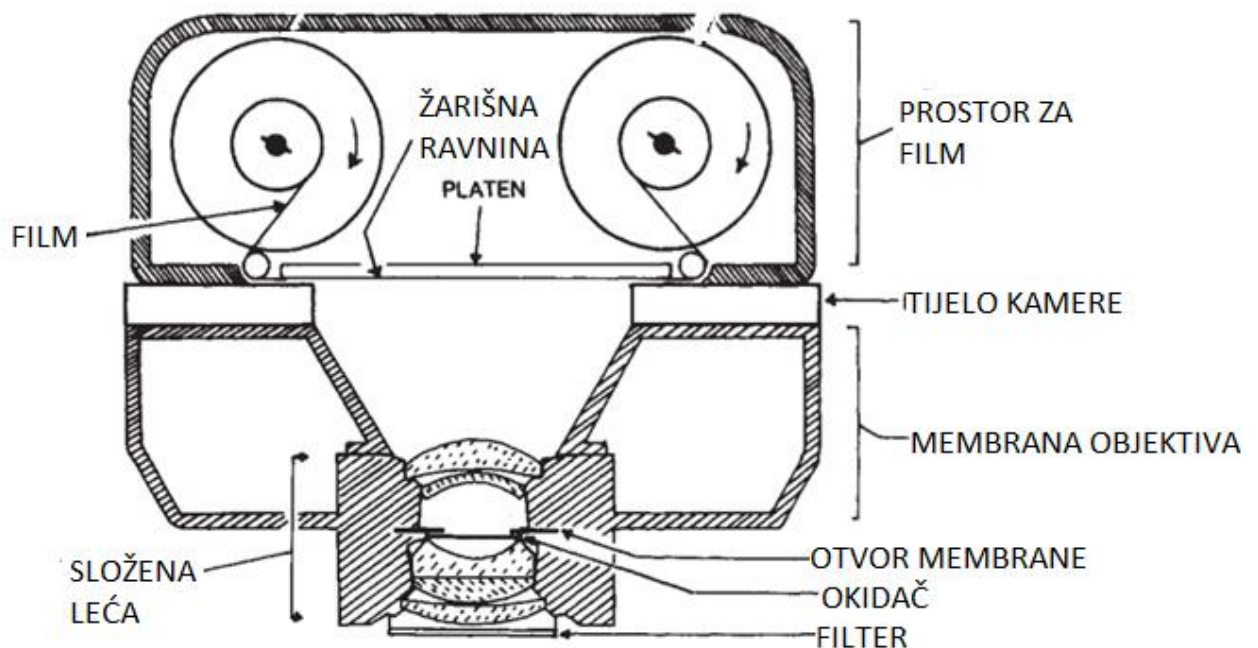


## 6. Karakteristike kamera, terena i snimaka

Zračna fotografija koristi se za prikupljanje prostornih informacija od početka 20. stoljeća te je s vremenom postala pristupačnija i široko primjenjiva. Broj proizvođača pasivnih senzora sve je veći, a njihove komponente sve naprednije. Snimke različitih terena mogu se interpretirati na mnogobrojne načine ovisno o ciljevima provedenog istraživanja, a odabir odgovarajućih specifikacija može znatno utjecati na kvalitetu dobivenih rezultata.

### 6.1. Komponente kamera

Unatoč mnogobrojnim drugim sredstvima (npr. aktivni senzori) u daljinskim istraživanjima, kamere se i dalje primjenjuju u zračnoj fotografiji. Glavna karakteristika ovakvih kamera je ta što koristi zrakoplov kao platformu. Odabir odgovarajućeg senzora i platforme prvi je korak uspješne provedbe daljinskog snimanja, uz definirani plan leta i analizu faktora koji će biti kontrolirani tijekom leta. U ovom poglavlju bit će opisani pasivni senzori.



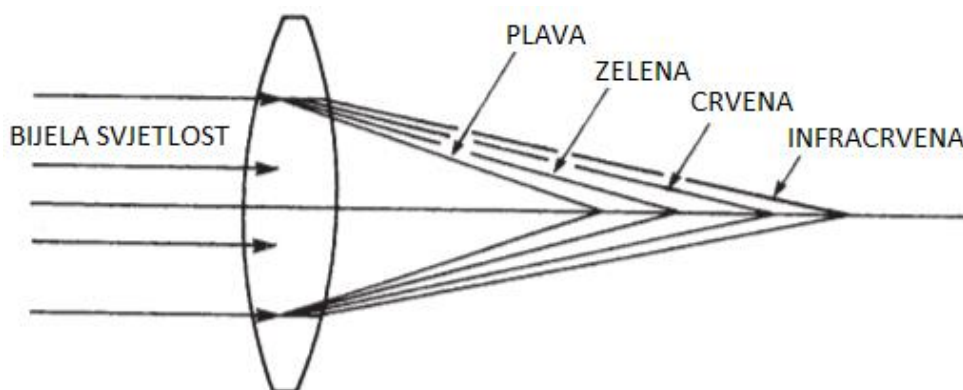
Slika 22. Elementi analogne kamere, [15]



Analogna kamera za daljinska istraživanja sastoji se od (Slika 22.):

- Leće koje “skupljaju”/usmjeravanju svjetlost;
- Foto-osjetljive površine;
- Okidača koji kontrolira ulazak svjetlosti;
- Tijela kamere;
- Prostora za film;
- Pogonskog mehanizma i;
- Membrane objektiva.

Kamere koje se koriste za daljinska istraživanja puno su veće od onih koje se koriste u svakodnevnom životu jer pokrivaju veće površine s većom prostornom rezolucijom. Leća kamere najvažnija je i najskuplja komponenta koja skuplja reflektiranu svjetlost na žarišnu ravninu na kojoj se stvara slika, a sačinjena je od staklenog diska zakrivljene površine. Veličina, oblik i sastav leće utječu na balans boja, a njihova funkcija je smanjenje optičke distorzije. Optičke karakteristike leća ovise o indeksu loma i stupnju zakrivljenosti. Većina leća koja se primjenjuju u zračnoj fotografiji su sastavljene od više odvojenih leća različitih veličina, oblika i optičkih svojstava. Kromatska aberacija (Slika 23.) pojava je iskrivljenja slike zbog disperzije svjetlosti što rezultira da energija različitih valnih duljina prolaskom kroz leću pada na različita žarišta (udaljenost od centra leće). Žarišna duljina uz visinu leta određuje mjerilo; veća žarišna duljina - uže područje pokrivanja.



Slika 23. Kromatska aberacija, [15]

Otvor blende (engl. Aperture stop) smješten je u blizini leće, a sastoji se od kružnog otvora promjenjivog radijusa kojim se kontrolira intenzitet svjetlosti. Za određivanje veličine  $f$  koristi se sljedeća formula:

$$f = \frac{\text{žarišna udaljenost}}{\text{otvor blende}} \quad (10)$$

Za veći  $f$  vrijedi mali otvor blende u odnosu na žarišnu duljinu i obratno (Slika 24.). Okidač kontrolira koliko će dugo film ili senzor biti izložen svjetlosti, najčešće je to metal smješten između leća.



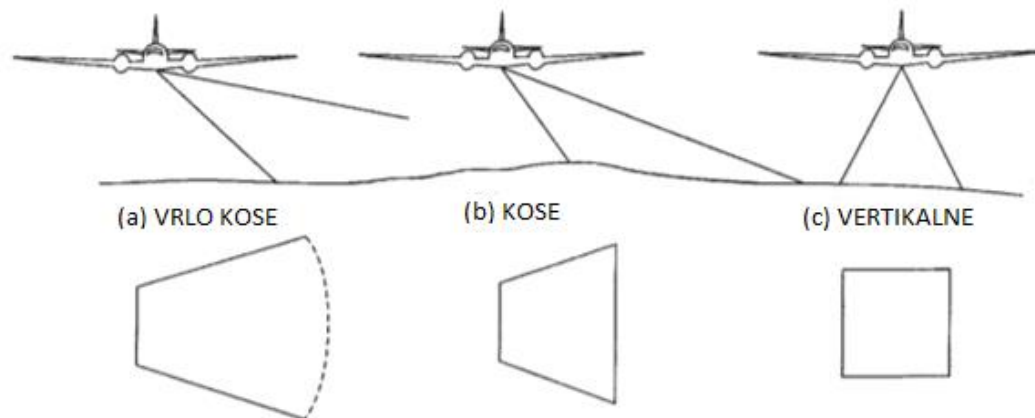
*Slika 24. Veza otvora blende i veličine  $f$ , [19]*

Za poboljšanje kvalitete snimke ponekad se koriste optički filteri koji su smješteni preko leća, a kontroliraju kontrast slike i ujednačenost osvjetljenja. Prizme su transparentni optički elementi koji prelamaju svjetlost pod različitim kutovima ovisno o valnoj duljini, napravljene su najčešće od stakla, a koriste se za razlaganje polikromatske bijele svjetlosti na više boja. Difrakcijske rešetke imaju izreze na površini koje služe za dobivanje različitih spektralnih kanala. Na optičku mrežnicu pada ravni val, a iz pukotina izlaze sekundarni valovi u svim smjerovima.

Kompenzacija kretanja (engl. Image motion compensation) pojava je zamućenosti slika uzrokovana kretanjem zrakoplova. Pojava je naglašenija pri manjim visinama i većim brzinama, današnji sustavi kompenziraju kretanje elektronski.

## 6.2. Klasifikacija snimaka s obzirom na orijentaciju kamere

Zračne fotografije mogu se klasificirati s obzirom na orijentaciju kamere u odnosu na zemlju (Slika 25.):

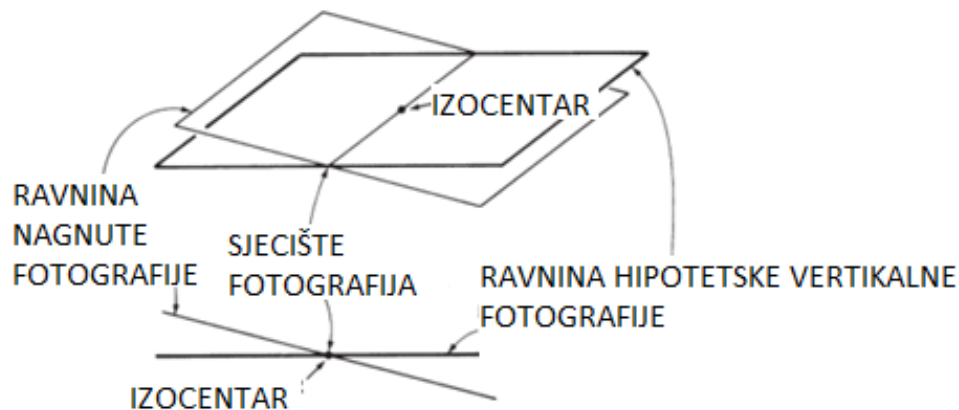


Slika 25. Klasifikacija snimaka s obzirom na orijentaciju kamere, [15]

1. Kose snimke – kamere su usmjerene na neku od strana zrakoplova. Dvije su vrste kosih snimaka; vrlo kose (engl. high oblique) i kose (engl. low oblique). Kod vrlo kosih snimki vidi se horizont, dok se kod nisko kosih snimki zbog usmjerenja kamere više prema površini on ne vidi. Prednost kosih snimaka je to što obuhvaćaju veću površinu, a objekti se lakše prepoznaju.
2. Vertikalne snimke – kamere su usmjerene direktno prema zemlji. Ova vrsta snimki praktičnija je i primjenjivija u daljinskim istraživanjima u svrhu analize zbog mjerenja s većom preciznošću.

## 6.3. Nagib kamere

Nagib kamere uzrokovan je kretanjem zrakoplova, odnosno rotacijom platforme na kojoj je postavljena kamera. Fokus nagiba ne poklapa se s centralnom točkom (Slika 26.); područja slike s gornje strane nagiba udaljenije su od zemlje nego izocentar pa su prikazana mjerilima manjima od nazivnih i obratno. Kako bi se neželjeni utjecaj nagiba kamere smanjio, udaljenosti korištene za određivanje mjerila koriste se linije koje prolaze u blizini centralne točke.



Slika 26. Ravnine nagnute i hipotetske vertikalne fotografije, [15]

#### 6.4. Senzori digitalnih kamera

Kao što je prije spomenuto, prolaskom svjetlosti kroz leću, ona pada na žarišnu ravninu. Kako bi ta slika ostala trajna potreban je fotoosjetljiv materijal.

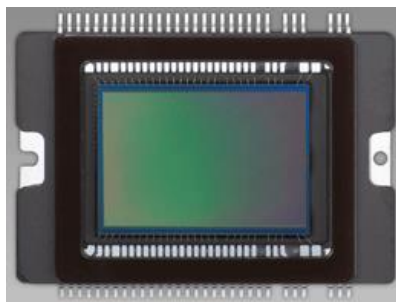
CCD (engl. charged-coupled devices) senzori sastavljeni su od fotoosjetljivog materijala ugrađenog u silicijski čip. To je zapravo integrirani krug koji sadrži niz povezanih ili spojenih kondenzatora. Svaki kondenzator može prenijeti svoj električni naboj na susjedni kondenzator. Dvije su mogućnosti slaganja detektora; linearni niz i dvodimenzionalni slijed. CCD senzori rade na principu fotoelektričnog efekta; ako foton dovoljno velike energije udari u elektron u vanjskoj ljusci atoma, prijenos energije do elektrona može biti dovoljna da se oslobodi iz atoma. Ova vrsta senzora koristi pločicu silicija kako bi producirao elektrone pomoću fotona zato što silicij lako otpušta elektrone. Mali kondenzator pričvršćen je za silicijsku pločicu, a njegova funkcija je skupljanje oslobođenih elektrona. Fotoni započinju stvarati elektrone čim se otvor blende otvori; kondenzator skuplja oslobođene elektrone sve dok se otvor blende ne zatvori. Napon kondenzatora tada predstavlja količinu elektrona koje je kondenzator prikupio. Informacija se dalje šalje računalu koji prikazuje te vrijednosti na zadani način.



*Slika 27. CCD senzor, [20]*

Prednosti CCD-a su te da skenira bez potrebe za mehaničkim pokretima i učinkoviti su kada je intenzitet slab. CCD linearni nizovi koriste se u instrumentima za daljinsko istraživanje koji dobivaju sliku linijski kretanjem zrakoplova ili satelita uzduž putanje leta.

CMOS (engl. complementary metal oxide semiconductor) senzori manje su korištena vrsta senzora u daljinskim snimanjima. Za razliku od CCD, CMOS senzor izlaže jednu liniju, a zatim sljedeću liniju na slici dok se podaci od prošle prenose; pikseli kod CMOS senzora nisu istovremeni izloženi.



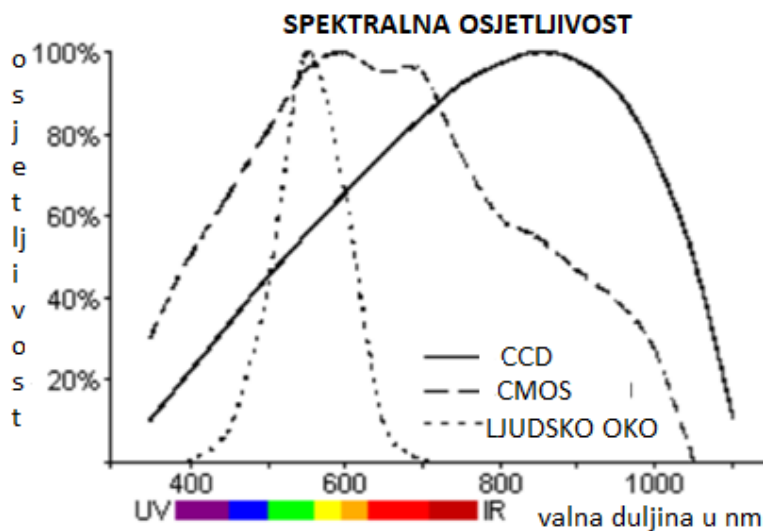
*Slika 28. CMOS senzor, [21]*

Dva su moguća dizajna digitalnih kamera kako bi se zadržao format 230 mm x 230 mm korišten kod analognih kamera. Prvi podrazumijeva korištenje više sustava CCD-a, što znači i više leća. Ovaj dizajn kamera daje sliku odvojenih kvadranta unutar okvira koji se potom spajaju. Drugi dizajn koristi linearne nizove; kamera s odvojenim lećama u smjeru nadira, naprijed i nazad. Kretanjem zrakoplova unaprijed, svaka leća skuplja svoje snimke koje se mogu spajati, a daju pokrivenost iz različitih perspektiva samo jednim preletom zrakoplova [15].

## 6.5. Spektralna osjetljivost

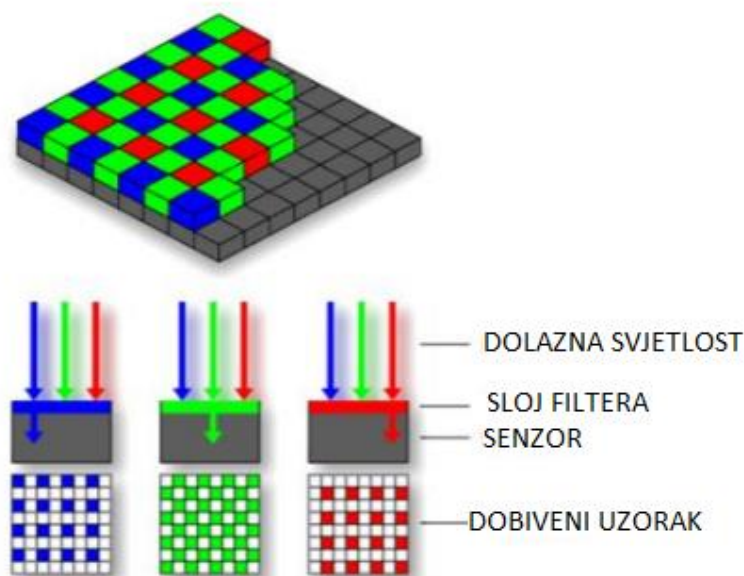
Ljudsko oko zapaža svjetlost emitiranu ili reflektiranu o objekte. Svjetlost je elektromagnetsko zračenje koje se pojavljuje u različitim valnim duljinama koje ljudi zapažaju kao boje. Spektralna osjetljivost zapravo definira koji dio elektromagnetskog zračenja će biti vidljiv. Najveća spektralna osjetljivost ljudskog oka tijekom dnevnog svjetla iznosi 555 nm, a tijekom noći 507 nm.

Nasuprot tome, kamere raspoznaju veći spektralni raspon; njihova spektralna osjetljivost označava karakteristične krivulje koje prikazuju odziv, a razlikuju se ovisno o funkciji kamere. Infracrvene kamere su osjetljive na raspon od 900 - 1700 nm, a termalne 8000 – 14000 nm. CCD i CMOS senzori više odgovaraju onom rasponu koji je vidljiv ljudima iako su osjetljivi u širim rasponima. Digitalni senzori daju bolje snimke spektralnih karakteristika scene.



Slika 29. Spektralna osjetljivost, [15]

Bayerov filter najčešće je korišten način prikupljanja podataka u tri osnovne boje korištenjem posebnog filtera (Slika 30.). Dizajniran je tako da 50% piksela prima zelenu (zbog najveće osjetljivosti i vrhunca radijacije u vidljivom spektru u tom području), a po 25% crvenu i plavu [15]. Nakon samog procesa fotografiranja slika se sastoji samo od crvenih, zelenih i plavih piksela i naziva se lažnom bojom. Softver kamere procesuirala sliku pretvarajući lažnu RGB boju u prirodnu metodom interpolacije tako da koristi informacije susjednog piksela.



Slika 30. Bayer filter, [22]

Foveon detektori dizajnirani su kao tri odvojena detektorska sloja sljedećim redoslijedom: plava na površini, zatim zelena pa crvena. Dolaskom svjetlosti na površinu, plavo svjetlo se apsorbira, za zelenu prolazi kroz prvi sloj, a za crvenu prolazi kroz oba sloja. Tako svaki piksel predstavlja sve tri primarne boje bez korištenja filtera.

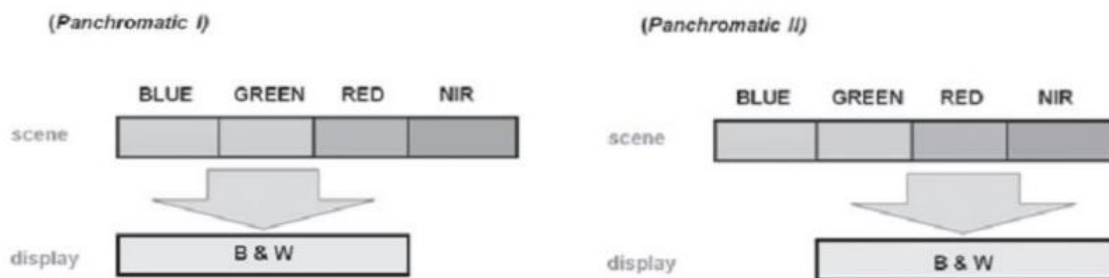
## 6.6. Kombinacija pojasa

Kombinacije pojasa odnose se na dodjeljivanje boja svjetlinama u različitim područjima spektra. Kada su raspoloživi pojasevi izvan vidljivog dijela spektra u daljinskim istraživanjima često se dodjeljuju već definirane kombinacije. U daljinskim istraživanjima i zračnoj fotografiji najčešće se koriste sljedeće navedene kombinacije.

Crno-bijele infracrvene snimke su snimke snimljene u bliskom infracrvenom području. Prednost ovakvih snimaka je manji utjecaj atmosferskog raspršenja; karakterizira ih kvalitetan prikaz vegetacijskih regija, razlike zemlje i vode itd. Slika se formira pomoću optičkog senzora koji je filtrirao vidljivi dio spektra pa je slika pripremljena koristeći samo svjetlinu bliskog infracrvenog područja.

Pankromatski senzor mjeri zračenje u vidljivom spektru koji je predstavljen kao posebni kanal. Ova kombinacija pojasa daje crno-bijele snimke korištenjem zračenja vidljivog dijela

spektra bez odvajanja različitih boja. Prednost ovakvih snimki je veća razlučivost budući da spektralni raspon omogućuje korištenje manjih detektora uz održavanje visokog omjera signal-šum. Zbog velikog raspršenja plavog zračenja koje uzrokuje smanjenje kvalitete snimke, ponekad se koriste zračenja zelenog, crvenog i infracrvenog zračenja.



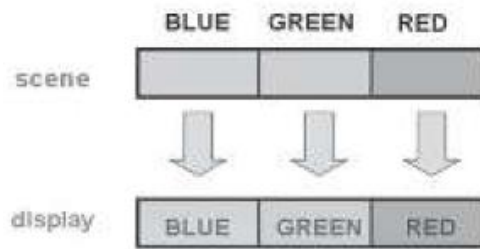
Slika 31. Pankromatska kombinacija kanala, [15]



Slika 32. Primjer pankromatske snimke, [23]

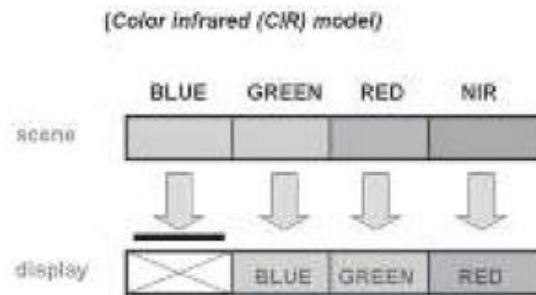
Kod kombinacije prirodnih boja koriste se kanali vidljivog spektra, ona je čovjeku „najlogičnija“ jer prikazuje objekte onakvima kakve ih on vidi; vegetacija izgleda zeleno, polja žuto, ceste sive itd. Nedostatak ove kombinacije je plavo zračenje koje može biti pod utjecajem atmosferskog raspršenja.





Slika 33. Kombinacija kanala za prikaz prirodnih boja, [15]

Infracrvena snimka u boji pruža važne informacije o vegetaciji, a u ovoj kombinaciji izuzet je plavi dio spektra, a dodan blisko infracrveni. Izuzimanjem plavog dijela spektra smanjeni su utjecaji atmosfere, a snimke jasno prikazuju vegetacije i vodene površine snimane sa većih visina.



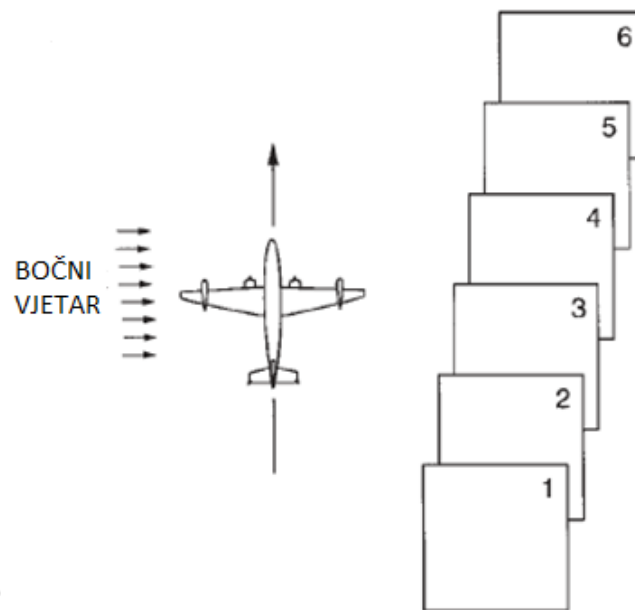
Slika 34. Kombinacija kanala za infracrvene snimke, [15]



Slika 35. Primjer infracrvene snimke, [24]

## 6.7. Pokrivanje područja višestrukim fotografijama

Snimanje područja primjenom višestrukih fotografija provodi se tako da zrakoplov leti paralelnim linijama. Dobivene fotografije su numerirane, a kamere se mogu podesiti da automatski snimaju u zadanim intervalima. Ponekad je potrebno uračunati bočnu komponentu vjetra što će rezultirati snimkama prikazanim na Slici 36. bez promjene orijentacije kamere.



Slika 36. Snimanje područja primjenom višestrukih fotografija, [15]

Uzdužno preklapanje fotografija najčešće iznosi 50% ili 60%, a sprječava praznine koje nastaju zbog nepreciznosti opreme, navigacijskih grešaka itd. Ako je uzdužno preklapanje veće od 50%, centralna točka prethodne fotografije pojavljuje se na sljedećoj. Bočno preklapanje odnosi se na paralelne linije i najčešće je u rasponu 5-15%.

Broj potrebnih fotografija računa se sljedećom formulom:

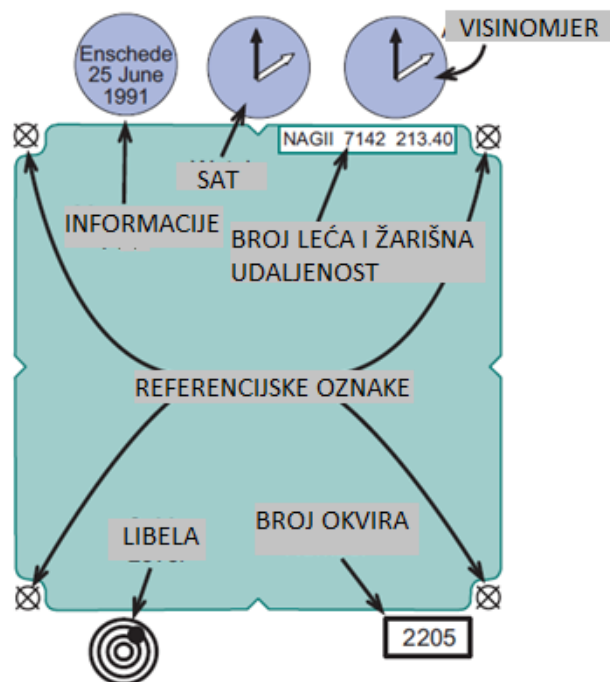
$$\text{broj fotografija} = \frac{\text{duljina zračne linije}}{(\text{gd fotografije}) * (1 - \text{preklapanje}[\%])} \quad (11)$$

## 6.8. Dijelovi zračne snimke

Analogne zračne kamere imaju referencijske oznake; podesive početne oznake koje su fiksne, najčešće ih ima 4 ili 8, a pojavljuju se kao siluete na rubovima ili u kutovima fotografije. Referencijske oznake potrebne su za određivanje optičkog središta fotografije, potrebne za poravnavanje fotografija za stereo pregled [25]. Također se koriste za snimanje preciznog položaja filma u odnosu na optički sustav koji je potreban u fotogrametrijskim procesima (unutarnja orijentacija). Moderne kamere također imaju mogućnost kompenzacije kretanja.

Slika se još sastoji od:

- dijela za poruke;
- sata;
- visinomjera;
- broja leće i žarišne duljine;
- libele i;
- broja okvira.

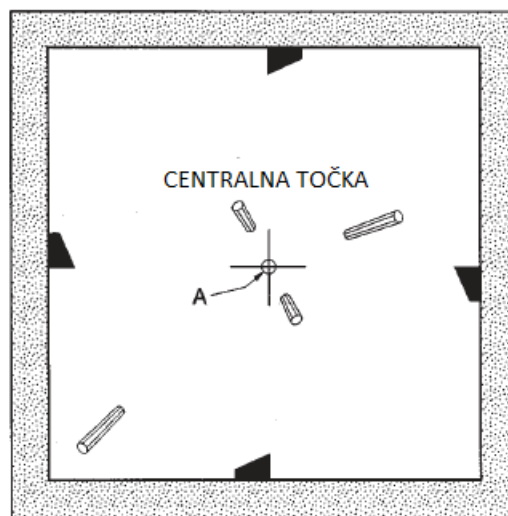


Slika 37. Dijelovi zračne snimke, [25]

## 6.9. Geometrijska distorzija snimaka

Geometrijska distorzija snimaka uzrokovana je mnogobrojnim faktorima, jedni od njih su:

- Perspektiva optičkih senzora;
- Kretanje sustava za skeniranje/snimanje;
- Kretanje i nestabilnost platforme;
- Visina, položaj i brzina platforme;
- Reljef terena;
- Zakrivljenost i rotacija zemlje.



Slika 38. Geometrijska distorzija snimaka, [15]

Reljefni pomak uzrok je geometrijske distorzije vertikalnih snimki; objektima koji se nalaze direktno ispod leće kamere (nadir) bit će vidljive samo gornje površine koje se još nazivaju tjememenima, dok će se oni objekti koji su dalje od nadira i centra snimke činiti nagnutima i vidjet će im se bočne strane. Pojava je izraženija što su objekti viši i udaljeniji od centra [26].

## 6.10. Interpretacija snimke

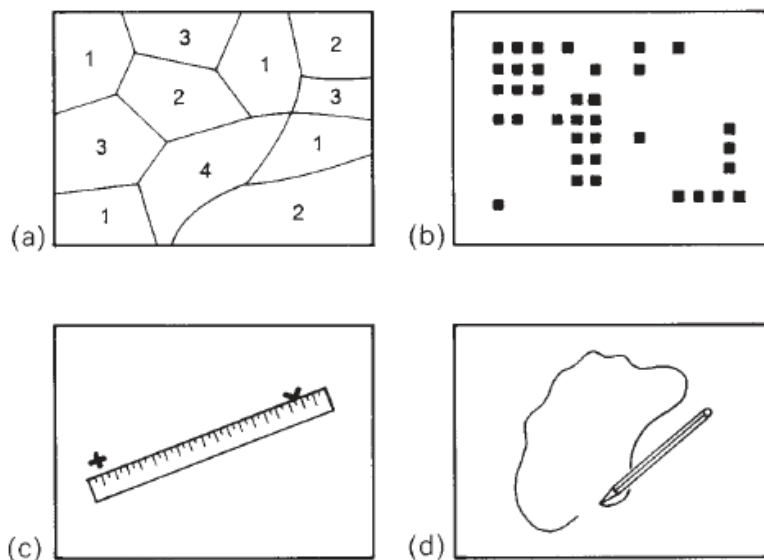
Za daljinska istraživanja karakteristično je ciljano snimanje objekata ili područja, a prethodno znanje osobe koja analizira snimku može biti ključno za njenu kvalitetnu analizu i interpretaciju. Današnji digitalni sustavi primjenjuju mnogobrojne metode analize (neke od njih spomenute su u poglavlju Analiza snimke), no i dalje nisu u potpunosti zamijenile čovjeka.

Interpretaciji pridonose:

- Iskustvo;
- Karakteristike objekta;
- Kvaliteta snimke;
- Oprema i metode interpretacije;
- Prethodno znanje o promatranom području.

Četiri su glavne funkcije ili zadatka interpretacije snimaka (Slika 39.):

- **Klasifikacija** (a) - raspodjela objekata, elemenata ili područja u klase, na osnovu njihova izgleda na slici;
- **Nabrajanje** (b) - brojanje diskretnih predmeta vidljivih na slici;
- **Mjerenje** (c) - mjerenje udaljenosti i visine te dodatno volumena i područja; drugi tip mjerenja je kvantitativni pristup svjetlini slike koje se bavi mjerenjem intenziteta slike;
- **Ocrtavanje** (d) - postupak odvajanja različitih područja karakterizirana specifičnim tonovima i definiranje njihovih granica.



Slika 39. Glavni zadaci interpretacije, [15]

## 6.11. Elementi vizualne interpretacije

Prepoznavanje ciljeva (bilo to određeni subjekt ili područje) ključ je tumačenja i ekstrakcije informacija. Usporedba cilja i njegove pozadine odvija se na temelju usporedbe vizualnih elemenata kao što su:

Tablica 3. Elementi vizualne interpretacije, [15]

**Ton** - odnosi se na svjetlinu ili boju objekta na slici, jedan od glavnih elemenata vizualne interpretacije.



**Oblik** - odnosi se na formu, strukturu ili vanjsku liniju objekta, jedna od osnova identifikacije zbog karakterističnog svojstva.



**Veličina** - relativna veličina u odnosu na druge objekte na slici daje informaciju o mjerilu, a apsolutna veličina je karakteristična (pr. dimenzije teniskog terena).





---

**Uzorak** - prostorni raspored objekata;  
ponavljanje sličnih tonova i tekstura daje  
karakterističan uzorak.



---

**Tekstura** - odnosi se na raspored i  
učestalost  
varijacija tona u pojedinim područjima slike  
odnosno hrapavost ili glatkoću područja;  
glatke teksture jednoličnih, ravnomjernih  
površina, a grube teksture sadrže točaste  
tonove.



---

**Sjena** - korisna u tumačenju profila i visina  
objekata, a ponekad može "sakriti" objekte i  
tako otežati interpretaciju.



---

**Asocijacija/udruživanje** - uzima u obzir  
odnos između ostalih  
objekata ili značajki u blizini objekta  
ciljanog interesa.



---

Izvor svih slika u tablici [27]

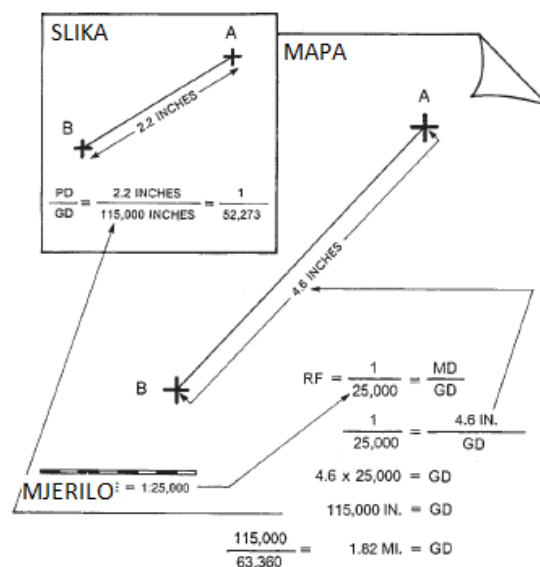
## 6.12. Određivanje mjerila

Ako prikaz objekta u prirodnoj veličini nije prikladan koristi se mjerilo. Mjerilo je karakteristika svake slike, a prikazuje odnos između veličine predmeta na slici i njegove stvarne veličine. Ovisno o veličini, predmeti se mogu prikazati uvećano ili umanjeno. Najčešće se jedno mjerilo koristi na cijeloj snimci, ako to nije slučaj, glavno mjerilo upisuje se povećano u zaglavlju, a ostala mjerila pišu se manjim formatom ispod glavnog mjerila. Mjerilo se označava u zaglavlju riječju "Mjerilo", slovom "M" ili samo brojčanim odnosom. Odnos se može izraziti na tri načina:

- riječima - pr. "Jedan centimetar jednak je deset kilometara";
- linijom - podijeljena na manje dijelove koji prikazuju udaljenosti;
- brojčani odnos - pr. 1:50000 ili 1/50000.

Princip određivanja mjerila snimke primjenom sljedećih koraka:

1. Identifikacija dviju točaka na snimci koje su na istoj visini u stvarnosti;
2. Mjerenje njihovih udaljenosti (na primjeru 2.2 inča);
3. Utvrđivanje na mapi je li ta ista udaljenost odgovara zemaljskoj udaljenosti od 115.000 inča;
4. Utvrđivanje mjerila.



Slika 40. Određivanje mjerila, [15]

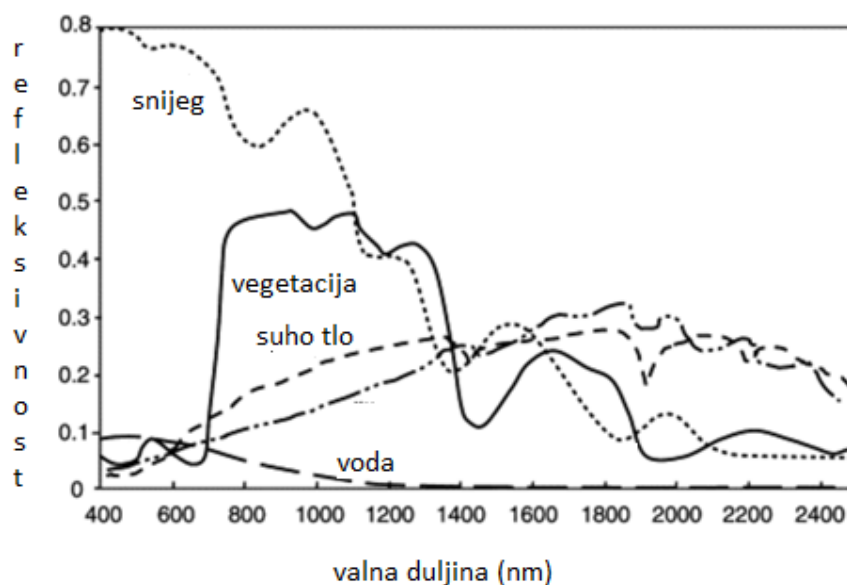


Za dobivanje omjera (RF - engl. Representative fraction) može se koristiti i sljedeća formula uz napomenu da su vrijednosti u brojniku i nazivniku jednake jedinice:

$$RF = \frac{\text{žarišna duljina}}{\text{visina leta}} \quad (12)$$

### 6.13. Karakteristike terena snimljene snimke

Različite površine reflektiraju i apsorbiraju sunčevo zračenje na različit način; reflektivnost nekog objekta ovisi o materijalu, njegovim fizičkim i kemijskim svojstvima, hrapavosti površine te kutu sunčeve svjetlosti. Spektralna reflektivnost je količina zračenja reflektirana o površinu prikazana kao funkcija valne duljine (Slika 41.). Mnoge površine reflektiraju različitu količinu zračenja na različitim valnim duljinama, iz tog razloga moguće je prepoznati različite karakteristike zemljine površine.



Slika 41. Reflektivnost različitih objekata i terena, [28]

Zdrava vegetacija dobro apsorбира zračenja vidljivog dijela spektra. Klorofil vegetacije apsorбира svjetlost valnih duljina između 0,45  $\mu\text{m}$  i 0,67  $\mu\text{m}$ , iz tog razloga ljudsko oko percipira zdravu vegetaciju zeleno. Izražena reflektivnost zdrave vegetacije je u infracrvenom području, točnije 0,7  $\mu\text{m}$  i 1,3  $\mu\text{m}$ .

Voda u tekućem obliku općenito ima malu refleksivnost; bistra voda ima najveću refleksivnost u plavom dijelu vidljivog dijela spektra. U infracrvenom području i iznad njega, voda ima velik stupanj apsorpcije, tj. zanemarivo malu refleksivnost.

Led i snijeg imaju visok stupanj refleksivnosti u vidljivom području valnih duljina, no on pada u blisko infracrvenom dijelu spektra. Refleksivnost leda i snijega ovisi o sastavu koji se odnosi na nečistoće.

Tlu se stupanj refleksivnosti povećava približavanjem blisko infracrvenom i kratkovalnom infracrvenom [29]. Neki od čimbenika koji utječu na refleksivnost tla su:

- Količina vlage;
- Tekstura tla;
- Površinska hrapavost;
- Prisutnost željezovog oksida;
- Sadržaj organske tvari.

## 7. Programski kod poboljšanja kontrasta snimke uravnoteživanjem histograma-

Za prikaz programskog koda procesa uravnoteživanja histograma korišten je programski jezik *Matlab*. Ovaj programski jezik karakterizira interaktivna okolina za numeričko i matrično računanje, vizualizaciju i programiranje.

Kod je zamišljen da učitava niz slika iz mape, obrađuje ih te ponovno sprema pod novim imenom. U ovom slučaju, riječ je o *frame*-ovima snimke. *Dir* funkcija navodi sve datoteke iz mape koje imaju ekstenziju *.jpg*. Ekstenzija je karakteristika svake slike, a daje informaciju o njenom tipu. *For* petlja izvršava se onoliko puta koliko je slika u učitanoj mapi. Budući da *dir* funkcija osim imena datoteka navodi druge informacije, potrebno je definirati samo onu koja je važna za daljnju upotrebu, a to je ime. Nakon što su slikama dodijeljena imena one se učitavaju korištenjem funkcije *imread*. Cilj koda je učitanim slikama uravnotežiti histograme; pozivanjem funkcije *histogramFunc* sa ulaznim parametrom *ulaznaSlika*.

```
uravnotezivanje_histograma.m x +
1 - tipSlike = '.jpg';
2
3 - sveSlike = dir(append('*', tipSlike));
4 - for i=1:size(sveSlike, 1)
5 -     imeSlike = sveSlike(i).name;
6
7 -     ulaznaSlika=imread(imeSlike);
8
9 -     izlaznaSlika = histogramFunc(ulaznaSlika);
10
11 -     imeIzlazne = append('uravnotezena_', imeSlike);
12 -     imwrite(izlaznaSlika,imeIzlazne);
13
14 -     f = figure('visible','off');
15 -     imhist(ulaznaSlika);
16 -     saveas(f, 'histogram_ulazna', 'jpg')
17
18 -     f = figure('visible','off');
19 -     imhist(izlaznaSlika);
20 -     saveas(f, 'histogram_izlazna', 'jpg')
21
22 - end
```

Slika 42. Programski kod uravnoteživanja histograma 1.dio

Broj piksela dobiven je kao umnožak obiju dimenzija matrice, odnosno slike. *hisSlike* je varijabla kojoj su dodijeljene nule na svim pozicijama u dvije dimenzije. Frekvencija,

vjerojatnost frekvencije, kumulativna vjerojatnost, kumulativna vjerojatnost piksela i nova vrijednost piksela definirane su kao nul-matrice s 256 stupaca i 1 retkom.

*For* petlja u *for* petlji prolazak je funkcije kroz matricu; kroz njene stupce i redove. Kod prepoznaje vrijednost svakog piksela na poziciji *i*, *j* te računa njihovu učestalost odnosno frekvenciju u matrici. Vjerojatnost frekvencije količnik je frekvencije i broja piksela.

```
24 - function hisSlike = histogramFunc(ulaznaSlika)
25 -     broj_piksela=size(ulaznaSlika,1)*size(ulaznaSlika,2);
26 -
27 -     hisSlike=uint8(zeros(size(ulaznaSlika,1),size(ulaznaSlika,2)));
28 -
29 -     frekvencija=zeros(256,1);
30 -     vjerojatnostFrekvencije=zeros(256,1);
31 -     vjerojatnostKumulativno=zeros(256,1);
32 -     kumulativnaVrijednostPiksela=zeros(256,1);
33 -     novaVrijednostPiksela=zeros(256,1);
34 -
35 -     for i=1:size(ulaznaSlika,1)
36 -         for j=1:size(ulaznaSlika,2)
37 -             vrijednost=ulaznaSlika(i,j);
38 -             frekvencija(vrijednost+1)=frekvencija(vrijednost+1)+1;
39 -             vjerojatnostFrekvencije(vrijednost+1)=frekvencija(vrijednost+1)/broj_piksela;
40 -         end
41 -     end
42 -
```

Slika 43. Programski kod uravnoteživanja histograma 2.dio

Nob (engl. Number of beans) broj je koji predstavlja intenzitet svjetlosti piksela; budući da je riječ o 8-bitnoj slici, mogućih je 0-255 kombinacija sivih tonova. Sljedeća *for* petlja iterira se onoliko puta koliko ima vrijednosti vjerojatnosti frekvencije. Kumulativna vrijednost piksela jednaka je zbroju frekvencija, a kumulativna vjerojatnost je količnik kumulativne vrijednosti piksela i broja piksela. Nova vrijednost piksela dobiva se korištenjem funkcije *round* koja zaokružuje broj odnosno umnožak kumulativne vjerojatnosti i nob-a. Zadnja *for* petlja prolazi kroz matricu i daje nove vrijednosti pikselima.

U 9. liniji koda vraćaju se obrađene slike i definirana je varijabla *izlaznaSlika*. Na ime izlaznih slika dodan je prefiks „uravnotežena\_“. Funkcija *imwrite* zapisuje slike pod definiranim nazivom. Histogrami ulaznih i izlaznih slika spremaju se pod jpg tipom i nazivima „*histogram\_ulazna*“ i „*histogram\_izlazna*“.

```

43 - zbroj=0;
44 - nob=255;
45
46 - for i=1:size(vjerojatnostFrekvencije)
47 -     zbroj=zbroj+frekvencija(i);
48 -     kumulativnaVrijednostPiksela(i)=zbroj;
49 -     vjerojatnostKumulativno(i)=kumulativnaVrijednostPiksela(i)/broj_piksela;
50 -     novaVrijednostPiksela(i)=round(vjerojatnostKumulativno(i)*nob);
51 - end
52
53 - for i=1:size(ulaznaSlika,1)
54 -     for j=1:size(ulaznaSlika,2)
55 -         hisSlike(i,j)=novaVrijednostPiksela(ulaznaSlika(i,j)+1);
56 -     end
57 - end
58
59
60 - end

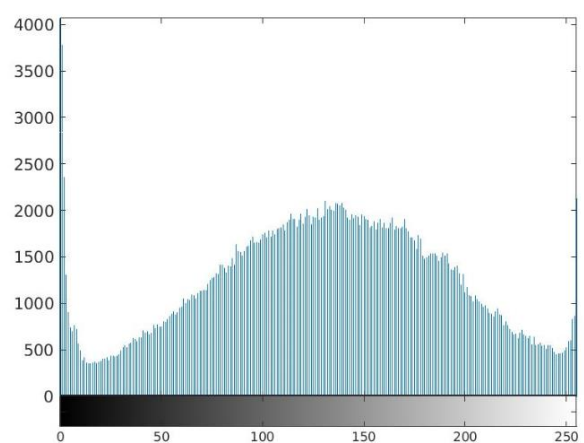
```

Slika 44. Programski kod uravnoteživanja histograma 3.dio

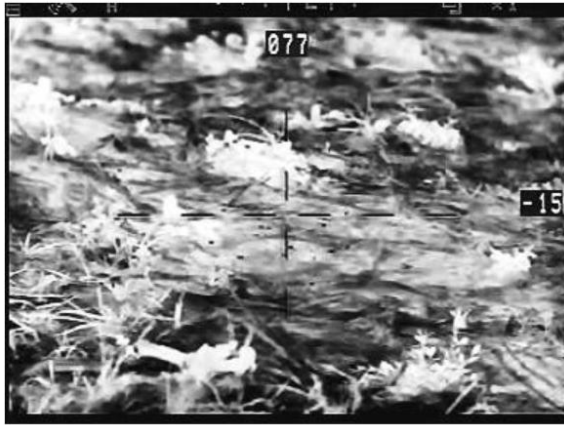
Nakon pokretanja koda, rezultat su slike koje se pohranjuju u mapu; to su slike na kojima se izvršilo uravnoteživanje kontrasta i njihovi histogrami prije i poslije. Primjer jedne slike izvučene kao *frame* snimke prije i nakon uravnoteživanja histograma i njihovi histogrami prikazani su na Slikama 45 -48.



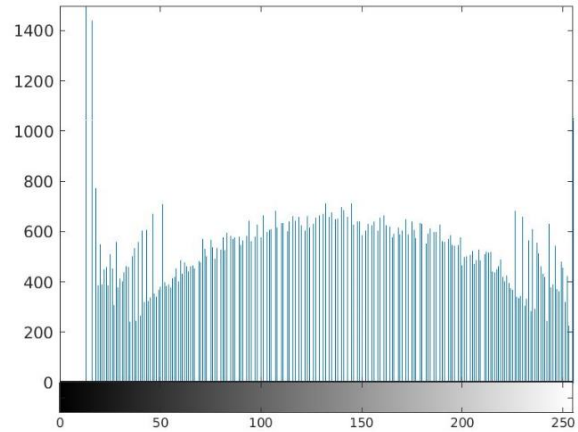
Slika 45. Primjer slike prije uravnoteživanja histograma



Slika 46. Histogram slike prije uravnoteživanja histograma



Slika 47. Primjer slike nakon uravnoteživanja histograma



Slika 48. Histogram slike nakon uravnoteživanja histograma

Učitanoj slici smanjenog kontrasta prolaskom kroz funkciju uravnoteživanjem histograma dodjeljuju se nove vrijednosti piksela. Na novoj slici to se očituje pojačavanjem raspona svjetlina; svjetlijim dijelovima se dodatno povećava svjetlina, a tamniji dijelovi postaju još tamniji. Distribucija piksela određenih svjetlina postaje ujednačenija što je vidljivo na drugom histogramu; ondje gdje je učestalost piksela određene svjetline bila mala se povećava, a ondje gdje je veća se „razvlači“. Vidljivo je značajno poboljšanje kontrasta što doprinosi boljim mogućnostima optičke analize snimaka ili računalne obrade s ciljem klasifikacije ili izdvajanja ciljeva od interesa.

## 8. Zaključak

Daljinska istraživanja uključuju složene postupke koji zahtijevaju širok raspon znanja zbog svoje široke primjenjivosti. Problem degradacije kvalitete postupno se rješavao kombinacijom različitih metoda. Odabir odgovarajuće opreme, senzora, specifikacija kamere kao i poznavanje svojstva i pojava koje se javljaju prilikom cjelokupnog postupka značajni su parametri koji utječu na konačan rezultat i njegovu kvalitetu.

Razvojem digitalnih snimki, manipulacija i obrada postaju brže i jednostavnije. Digitalne snimke sastoje se od piksela, a opisuju se terminima kao što su rezolucija, dubina bita, dinamički raspon itd. Metode poboljšanja slika odabiru se ovisno o ciljevima analize. Postupak povećanja kontrasta uravnoteživanjem histograma poboljšava i unaprjeđuje analizu tako što dodjeljuje nove vrijednosti pikselima u matrici tj. rezultira novom i kvalitetnijom distribucijom njihovih vrijednosti i to bez gubitka informacija.

Kamere koje se u daljinskim istraživanjima koriste kao pasivni senzori sastoje se od osnovnih komponenata koje dijele s komercijalnim kamerama, ali i onih komponenti koje su svojstvene samo njima. Budući da je riječ o velikim visinama i područjima snimanja potrebne su precizne i napredne komponente.

U diplomskom radu izrađen je programski kod koji opisuje korake poboljšanja kontrasta uravnoteživanjem histograma niza slika tj. *frame*-ova dobivenih iz snimke. Prednosti ove metode su da pruža korisnu statistiku slike, informacije za njenu kompresiju i segmentaciju te histograme koji su jednostavniji za računanje u različitim *software*-ima. Dobiveni rezultati dokaz su važnosti digitalne obrade slike u svrhu preciznije analize i interpretacije. Danas gotovo sve aplikacije čija je zadaća analiza i obrada slika imaju njegove gotove funkcije te mogućnost rada s velikim količinama podataka i slika što rezultira kraćim vremenom obrade slike. Sustavi općenito teže automatizaciji te se i dalje radi na novim metodama i algoritmima za digitalnu obradu slika. Unatoč tome, prisutnost ljudske komponente i dalje je nezamjenjiva.

## LITERATURA

- [1] <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=20254> [Pristupljeno: srpanj 2020.]
- [2] [https://www.researchgate.net/figure/Comparing-aerial-film-and-digital-image-Left-is-scanned-film-at-a-pixel-size-of-15-m\\_fig7\\_237436645](https://www.researchgate.net/figure/Comparing-aerial-film-and-digital-image-Left-is-scanned-film-at-a-pixel-size-of-15-m_fig7_237436645) [Pristupljeno: srpanj 2020.]
- [3] <https://www.fer.unizg.hr/download/repository/opdos01.pdf> [Pristupljeno: srpanj 2020.]
- [4] <https://medium.com/@somdevsangwan/unblurring-images-for-osint-and-more-part-1-5ee36db6a70b> [Pristupljeno: srpanj 2020.]
- [5] <https://helpx.adobe.com/photoshop/using/image-size-resolution.html> [Pristupljeno: srpanj 2020.]
- [6] <https://www.scientiamobile.com/what-is-pixel-density/> [Pristupljeno: srpanj 2020.]
- [7] <https://www.fot-o-grafiti.hr/nauci/digi-osnove/dubina-bita> [Pristupljeno: srpanj 2020.]
- [8] <http://preservationtutorial.library.cornell.edu/intro/intro-01.html> [Pristupljeno: srpanj 2020.]
- [9] <https://unit35digitalgraphicsblog.wordpress.com/2017/09/10/bit-depth-bits-per-pixel-hightrue-colour-monochrome/> [Pristupljeno: srpanj 2020.]
- [10] [http://repro.grf.unizg.hr/media/download\\_gallery/5.%20HDR%20FOTOGRAFIJA.pdf](http://repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/5.%20HDR%20FOTOGRAFIJA.pdf) [Pristupljeno: srpanj 2020.]
- [11] <https://ramblingsdc.net/HdrPhotography.html> [Pristupljeno: srpanj 2020.]
- [12] [https://dsp.etfbl.net/multimediji/2017/09\\_slika.pdf](https://dsp.etfbl.net/multimediji/2017/09_slika.pdf) [Pristupljeno: srpanj 2020.]
- [13] <https://www.fer.unizg.hr/download/repository/01-DOAS-Uvod.pdf> [Pristupljeno: srpanj 2020.]
- [14] <https://books.google.pl/books?id=ARtSAI-A-lsC&pg=PA11&lpg=PA11&dq=digital+image+processing+operations+image+enhancement+restoration+analysis+compression&source=bl&ots=52rNT5OVyy&sig=ACfU3U0GbOUssuMko3THoAH7ezCBYXgTpA&hl=hr&sa=X&ved=2ahUKewjI57ujjLHqAhXnkosKHxiJdkYQ6AEwAXoEC A4QAQ#v=onepage&q=digital%20image%20processing%20operations%20image%20enhancement%20restoration%20analysis%20compression&f=false> [Pristupljeno: srpanj 2020.]
- [15] James B. Cambell, Randolph H. Wynne, Introduction to Remote sensing, 2011.
- [16] <https://books.google.pl/books?id=O0-WBQAAQBAJ&pg=PA289&lpg=PA289&dq=pobolj%C5%A1anje+kontrasta&source=bl&ots=Q>



[oXddr5An-](#)

[&sig=ACfU3U1DLytU098mDKGHJeRi4wKraEanhg&hl=hr&sa=X&ved=2ahUKEwiVgdyiur3qAhUCwMQBHQN4DQAQ6AEwBHoECAoQAQ#v=onepage&q=pobolj%C5%A1anje%20kontrasta&f=false](#) [Pristupljeno: srpanj 2020.]

[17] <https://www.semanticscholar.org/paper/A-Comparative-Study-of-Histogram-Equalization-Based-Patel-Maravi/ae4899fd64397f6c08500cc6eb21d724a6a877cd/figure/0>

[Pristupljeno: srpanj 2020.]

[18] <https://www.fer.unizg.hr/download/repository/07-OI-ObnavljanjeSlike.pdf>

[Pristupljeno: srpanj 2020.]

[19] <https://expertphotography.com/understanding-fstops-stops-in-photography-exposure/>

[Pristupljeno: srpanj 2020.]

[20] [https://www.google.com/search?q=CCD+%E2%80%93+Charge-Coupled+Device&sxsrf=ALeKk001-](https://www.google.com/search?q=CCD+%E2%80%93+Charge-Coupled+Device&sxsrf=ALeKk001-Az8pEbj6eMBzjcfUr2dcLLWQ:1596391584924&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjAwt2Kjv3qAhWolYsKHTBICQEQ_AUoAXoECBEQAw&biw=1536&bih=754#imgrc=LcZSpXWiAfjsM&imgdii=W4sXO-LUAqetwM)

[Az8pEbj6eMBzjcfUr2dcLLWQ:1596391584924&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjAwt2Kjv3qAhWolYsKHTBICQEQ\\_AUoAXoECBEQAw&biw=1536&bih=754#imgrc=LcZSpXWiAfjsM&imgdii=W4sXO-LUAqetwM](#) [Pristupljeno: srpanj 2020.]

[21] <https://www.whatdigitalcamera.com/what-digital-camera/specials/complementary-metal-oxide-semiconductor-cmos-6301> [Pristupljeno: srpanj 2020.]

[22] [https://en.wikipedia.org/wiki/Bayer\\_filter](https://en.wikipedia.org/wiki/Bayer_filter) [Pristupljeno: kolovoz 2020.]

[23] [https://www.researchgate.net/figure/Original-HRPI-panchromatic-band\\_fig7\\_3203795](https://www.researchgate.net/figure/Original-HRPI-panchromatic-band_fig7_3203795)

[Pristupljeno: kolovoz 2020.]

[24] <https://californiamapsociety.org> [Pristupljeno: kolovoz 2020.]

[25] Norman Kerle, Lucas L. F. Janssen, Gerrit C. Huurneman, Principles of remote sensing textbook, 2004.

[26] [https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/resource/tutor/fundam/pdf/fundamentals\\_e.pdf](https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/resource/tutor/fundam/pdf/fundamentals_e.pdf) [Pristupljeno: kolovoz 2020.]

[27] <https://mymodernmet.com/abstract-aerial-art/> [Pristupljeno: kolovoz 2020.]

[28] <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/spectral-reflectance> [Pristupljeno: kolovoz 2020.]

[29] [http://gsp.humboldt.edu/OLM/Courses/GSP\\_216\\_Online/lesson2-1/reflectance.html](http://gsp.humboldt.edu/OLM/Courses/GSP_216_Online/lesson2-1/reflectance.html)

[Pristupljeno: kolovoz 2020.]

## POPIS SLIKA

- Slika 1. Vrste senzora, [1]
- Slika 2. Karakteristike elektromagnetskog zračenje, [1]
- Slika 3. Količina zračenja s obzirom na valnu duljinu i temperaturu tijela, [1]
- Slika 4. Podjela spektra, [1]
- Slika 5. Efekt raspršenja, [1]
- Slika 6. Regularna i difuzna refleksija, [1]
- Slika 7. Analogna zračna fotografija, [2]
- Slika 8. Digitalna zračna fotografija, [2]
- Slika 9. Matrica piksela, [4]
- Slika 10. Slike različitih rezolucija, [6]
- Slika 11. Bitonalna slika s vrijednostima piksela, [8]
- Slika 12. Broj potencijalnih nijansi, [9]
- Slika 13. Fotografije različitih ekspozicija i dinamičkih raspona, [11]
- Slika 14. Poboljšanje kontrasta, [15]
- Slika 15. Snimka prije linearnog istezanja, [16]
- Slika 16. Snimka nakon linearnog istezanja, [16]
- Slika 17. Snimka prije uravnoteživanja histograma, [17]
- Slika 18. Snimka nakon uravnoteživanja histograma, [17]
- Slika 19. Rezanje na nivoe, [15]
- Slika 20. Crno bijela slika prije i nakon primjene metode rezanja na nivoe, [15]
- Slika 21. Usporedba slike prije i nakon primjene metode naglašavanja rubova, [15]
- Slika 22. Elementi analogne kamere, [15]
- Slika 23. Kromatska aberacija, [15]
- Slika 24. Veza otvora blende i veličine  $f$ , [19]
- Slika 25. Klasifikacija snimaka s obzirom na orijentaciju kamere, [15]
- Slika 26. Ravnine nagnute i hipotetske vertikalne fotografije, [15]
- Slika 27. CCD senzor, [20]
- Slika 28. CMOS senzor, [21]
- Slika 29. Spektralna osjetljivost, [15]
- Slika 30. Bayer filter, [22]
- Slika 31. Pankromatska kombinacija kanala, [15]
- Slika 32. Primjer pankromatske snimke, [23]

- Slika 33. Kombinacija kanala za prikaz prirodnih boja, [15]
- Slika 34. Kombinacija kanala za infracrvene snimke, [15]
- Slika 35. Primjer infracrvene snimke, [24]
- Slika 36. Snimanje područja primjenom višestrukih fotografija, [15]
- Slika 37. Dijelovi zračne snimke, [25]
- Slika 38. Geometrijska distorzija snimaka, [15]
- Slika 39. Glavni zadaci interpretacije, [15]
- Slika 40. Određivanje mjerila, [15]
- Slika 41. Refleksivnost različitih objekta i terena, [28]
- Slika 42. Programski kod uravnoteživanja histograma 1.dio
- Slika 43. Programski kod uravnoteživanja histograma 2.dio
- Slika 44. Programski kod uravnoteživanja histograma 3.dio
- Slika 45. Primjer slike prije uravnoteživanja histograma
- Slika 46. Histogram slike prije uravnoteživanja histograma
- Slika 47. Primjer slike nakon uravnoteživanja histograma
- Slika 48. Histogram slike nakon uravnoteživanja histograma

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Prednosti i nedostaci digitalnih snimki u odnosu na analogne, [3]

Tablica 2. Metode obrade slike, [14]

Tablica 3. Elementi vizualne interpretacije, [15]

## POPIS KRATICA

LiDAR - Light detection and ranging;

ALS - Airborne laser scanning;

PPI - Pixels per inch;

DPI - Dots per inch;

RGB - Red Green Blue;

CMYB - Cyan Magenta Yellow Black;

BIL - Band interleaved by line;

HDR - High dynamic range;

GIF - Graphics interchange format;

JPEG - Joint Photographic Experts Group;

PNG - Portable Network Graphics;

TIFF - Tagged Image File Format;

BMP - Bitmap Image File;

CCD - Charged-coupled devices;

CMOS - Complementary metal oxide semiconductor;

NOB - Number of bands;

## PRILOG

```
tipSlike = '.jpg';

sveSlike = dir(append('*', tipSlike));
for i=1:size(sveSlike, 1)
    imeSlike = sveSlike(i).name;

    ulaznaSlika=imread(imeSlike);

    izlaznaSlika = histogramFunc(ulaznaSlika);

    imeIzlazne = append('uravnotezena_', imeSlike);
    imwrite(izlaznaSlika,imeIzlazne);

    f = figure('visible','off');
    imhist(ulaznaSlika);
    saveas(f, 'histogram_ulazna', 'jpg')

    f = figure('visible','off');
    imhist(izlaznaSlika);
    saveas(f, 'histogram_izlazna', 'jpg')

end

function hisSlike = histogramFunc(ulaznaSlika)
    broj_piksela=size(ulaznaSlika,1)*size(ulaznaSlika,2);

    hisSlike=uint8(zeros(size(ulaznaSlika,1),size(ulaznaSlika,2)));

    frekvencija=zeros(256,1);
    vjerojatnostFrekvencije=zeros(256,1);
    vjerojatnostKumulativno=zeros(256,1);
    kumulativnaVrijednostPiksela=zeros(256,1);
    novaVrijednostPiksela=zeros(256,1);

    for i=1:size(ulaznaSlika,1)
        for j=1:size(ulaznaSlika,2)
            vrijednost=ulaznaSlika(i,j);
            frekvencija(vrijednost+1)=frekvencija(vrijednost+1)+1;
        end
    end
    vjerojatnostFrekvencije(vrijednost+1)=frekvencija(vrijednost+1)/broj_piksela;
end

zbroj=0;
nob=255;
```

```

    for i=1:size(vjerojatnostFrekvencije)
        zbroj=zbroj+frekvencija(i);
        kumulativnaVrijednostPiksela(i)=zbroj;
        vjerojatnostKumulativno(i)=kumulativnaVrijednostPiksela(i)/broj_piksela;
        novaVrijednostPiksela(i)=round(vjerojatnostKumulativno(i)*nob);
    end

    for i=1:size(ulaznaSlika,1)
        for j=1:size(ulaznaSlika,2)
            hisSlike(i,j)=novaVrijednostPiksela(ulaznaSlika(i,j)+1);
        end
    end

end

```

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

### IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ diplomski rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu \_\_\_\_\_ diplomskog rada pod naslovom \_\_\_\_\_

#### **Poboljšanje kontrasta snimke snimljene iz zraka uravnoteživanjem histograma**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U Zagrebu, \_\_\_\_\_ 17.9.2020 \_\_\_\_\_

*Sara Marković*  
\_\_\_\_\_  
(potpis)