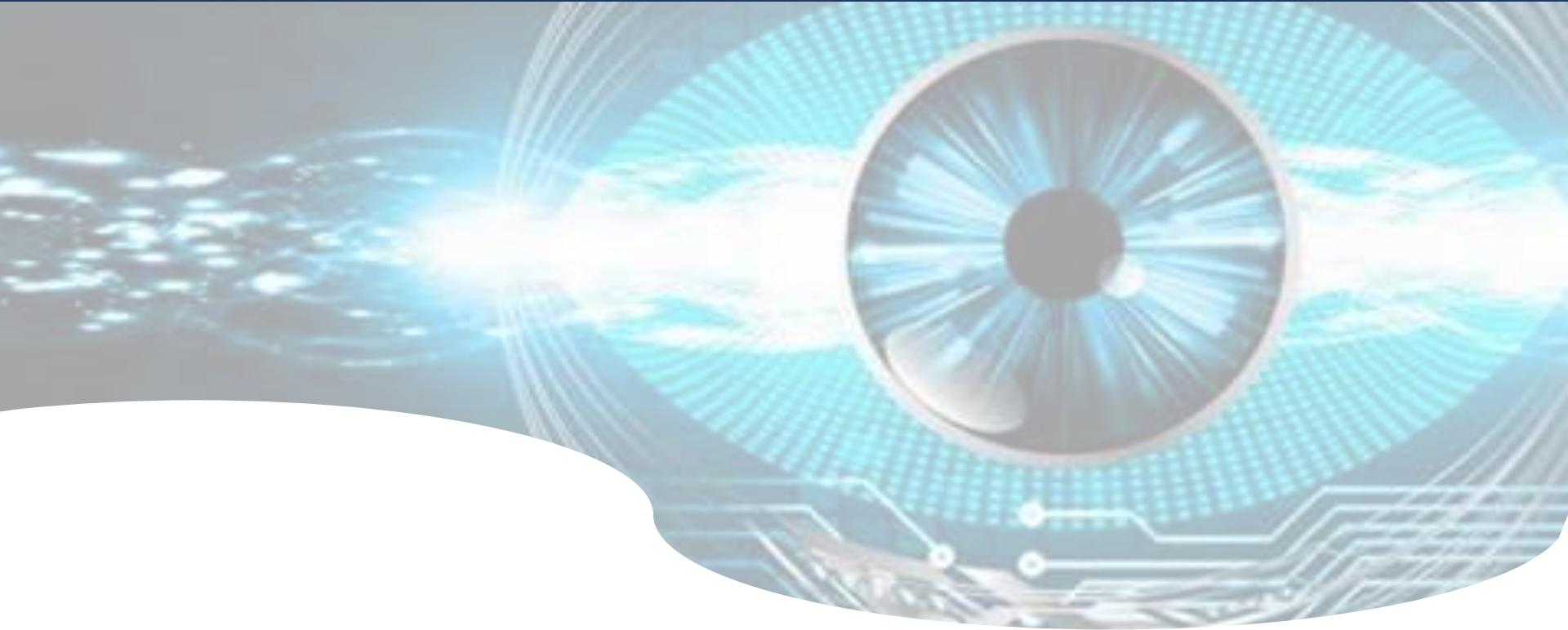


Soft computing

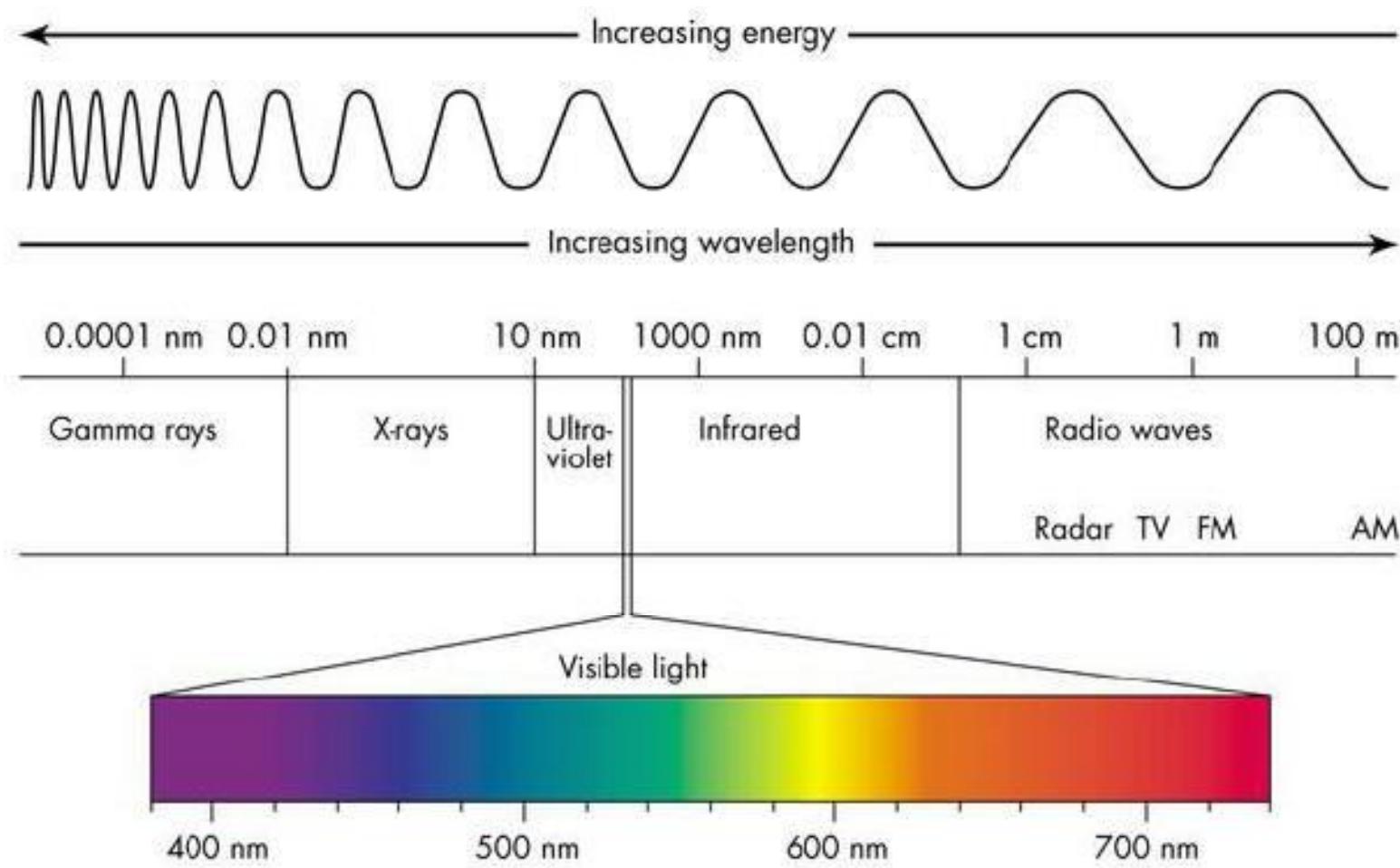


Digitalna reprezentacija slike i videa

Tipovi slika
Ljudsko oko

Rezolucija
Kvantifikacija
Modeli boja

Svetlost kao elektro-magnetsko zračenje



vidljive talasne dužine za prosečnog čoveka 390nm – 750nm

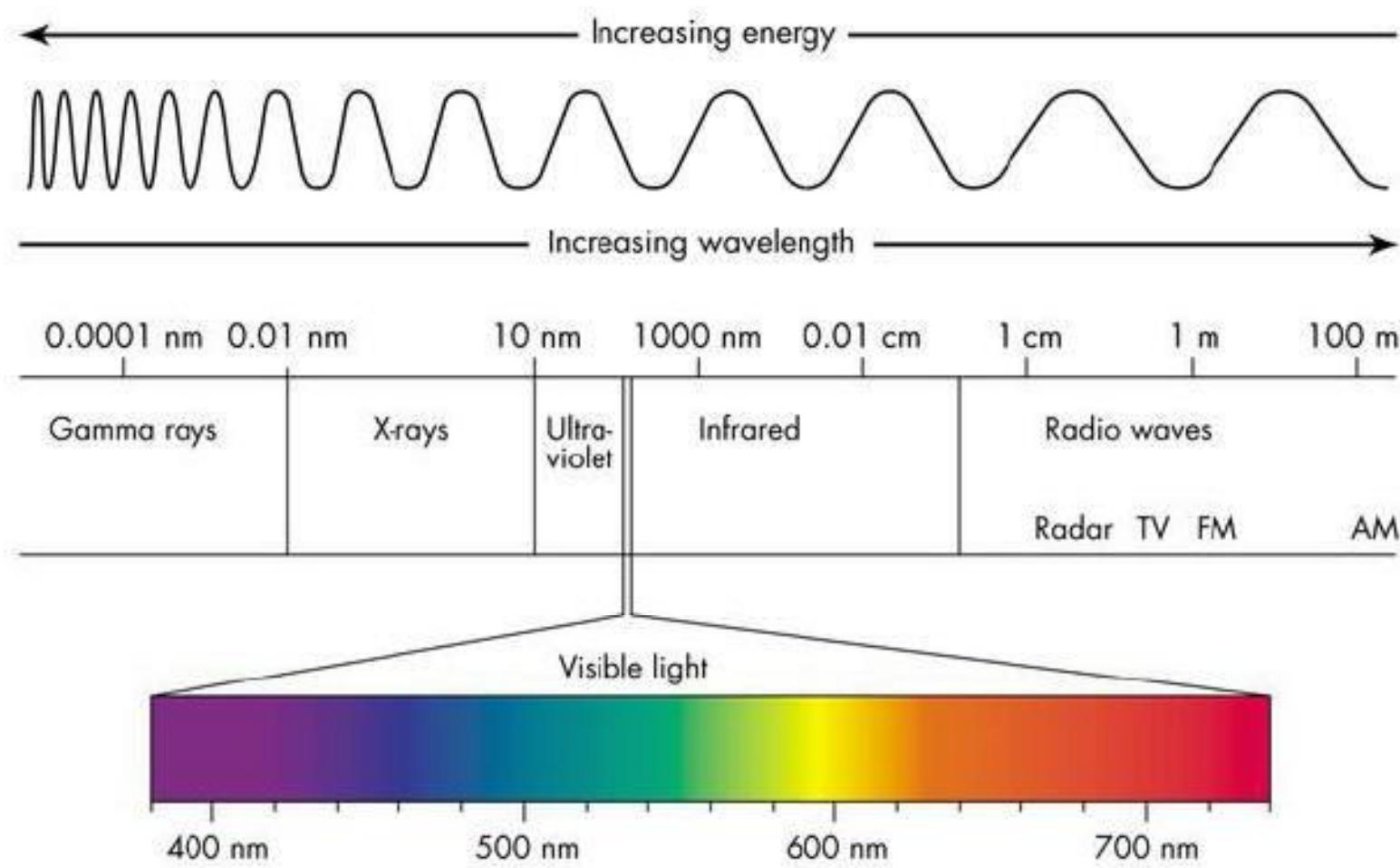
Tipovi slika

- Bazirani na zračenju iz EM spektra
- Akustični/ultrazvučni
- Elektronski
- Sintetički

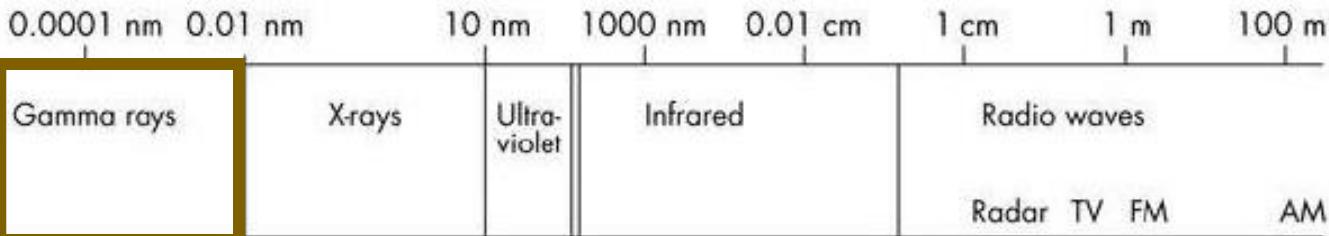
Zašto je ovo bitno?

- Razumevanje fundamentalne prirode svetlosti
 - Kako se formiraju slike
 - Zašto su neki opsezi svetlosti vidljivi ljudskim okom, dok drugi nisu
- Poznavanje različitih modaliteta slikanja
 - Različiti opsezi EM zračenja otkrivaju različite informacije o svetu
 - Razumevanje potencijala aplikacija kompjuterske vizije
- Tehničke osnove
 - Poznavanje kako su EM signali snimljeni i obrađeni – procesiranje prilagođeno specifičnim tipovima digitalne slike
- Inspiracija inovacije
 - Kreativno razmišljanje o novim aplikacijama i tehnologijama kompjuterske vizije

Svetlost kao elektro-magnetsko zračenje



vidljive talasne dužine za prosečnog čoveka 390nm – 750nm



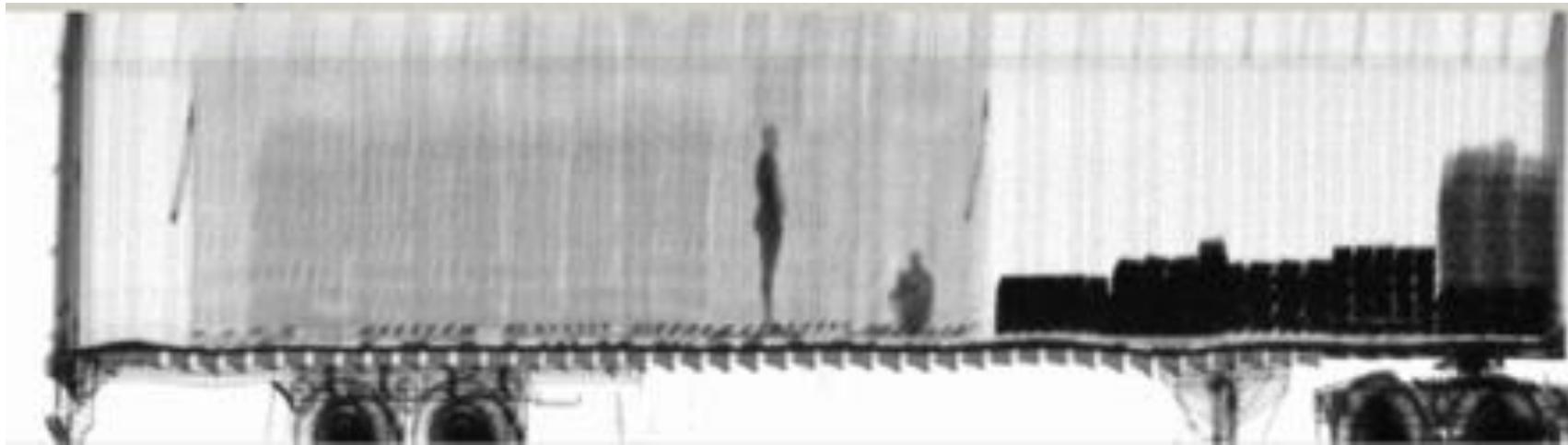
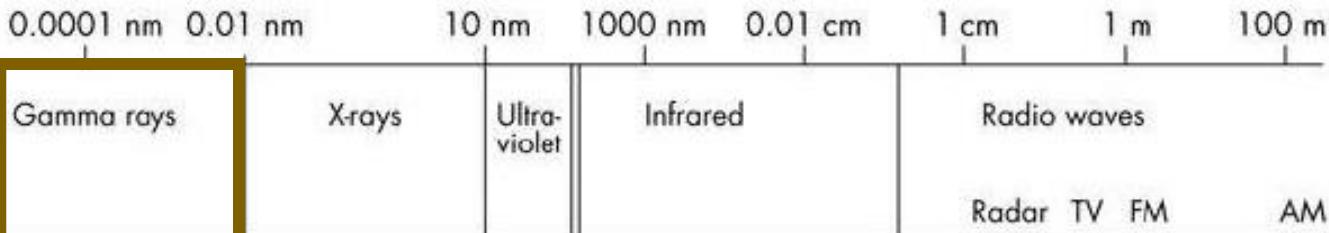
U pacijenta se ubaci radioaktivni izotop koji emituje gama zrake

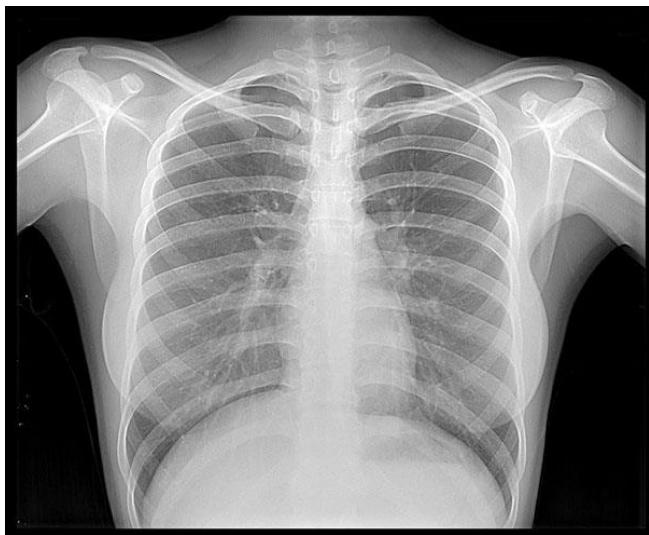
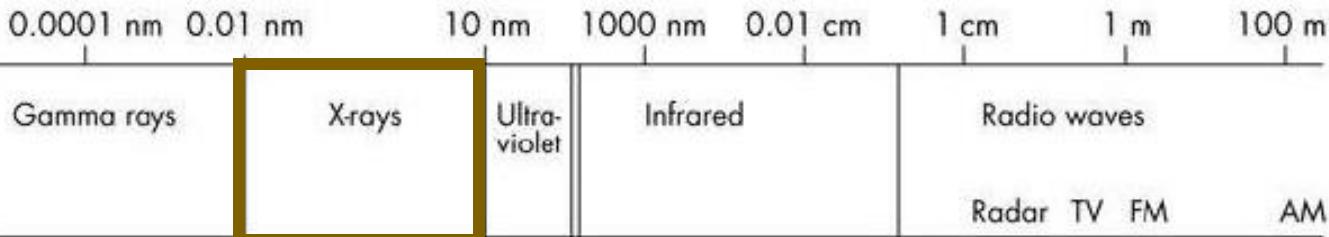
Patologije kostiju

Tumori

Infekcije







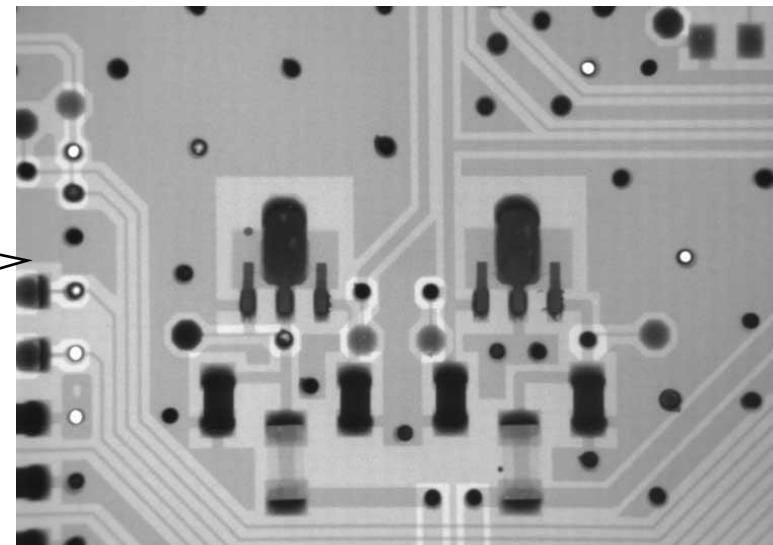
Astronomija

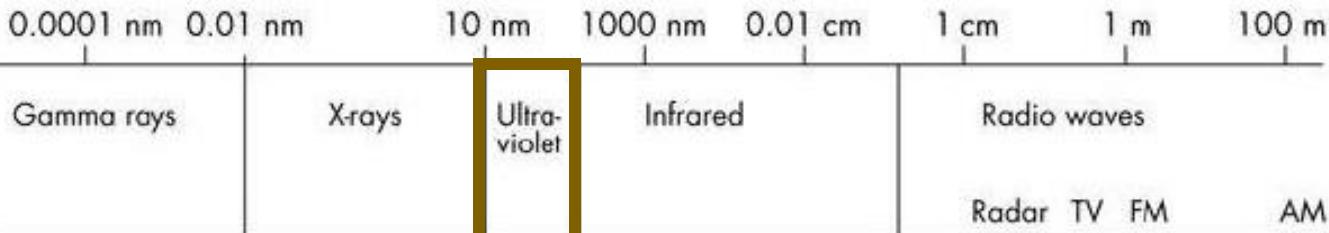
Rendgenski snimci
medicinska dijagnostika

Industrija

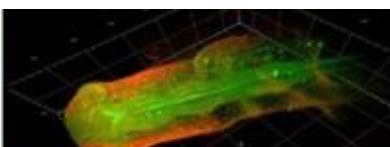
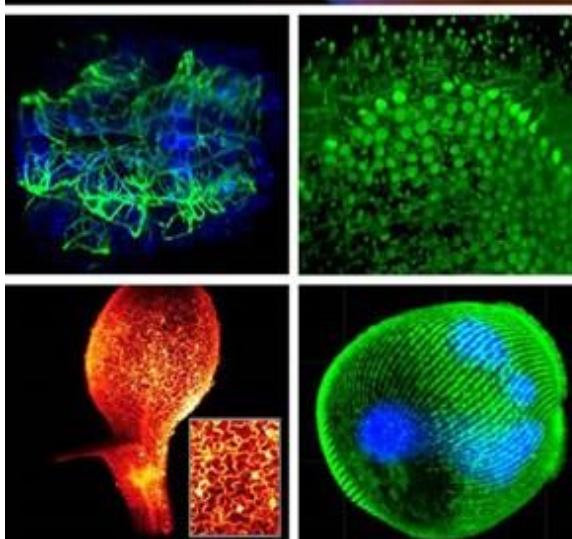
Automatska inspekcija štampanih
ploča

nedostajuće komponente
prelomljene putanje



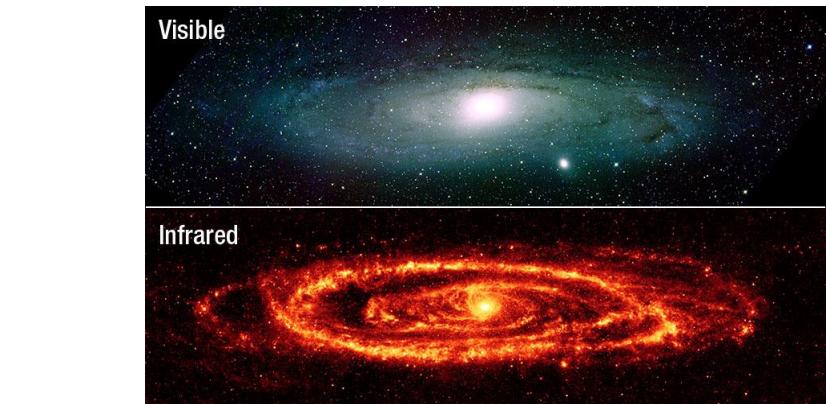
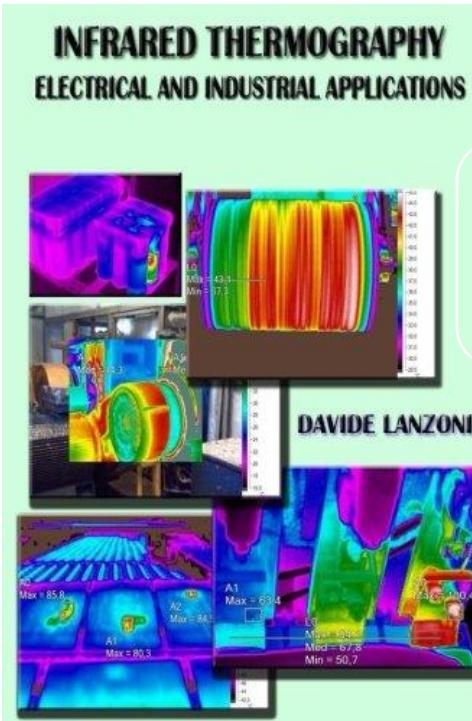
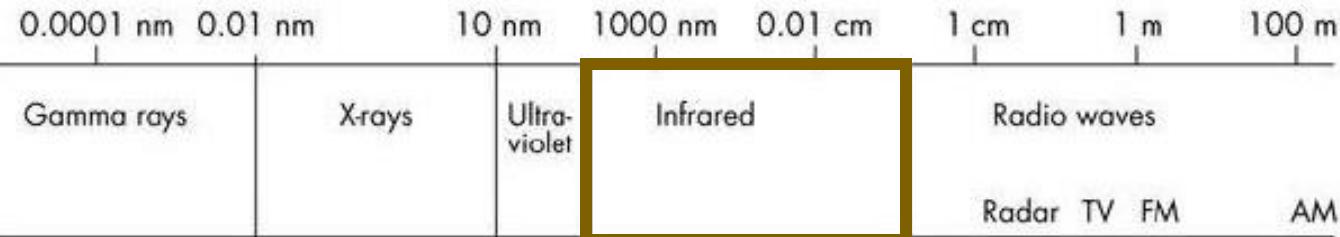


Light Sheet Fluorescence Microscopy



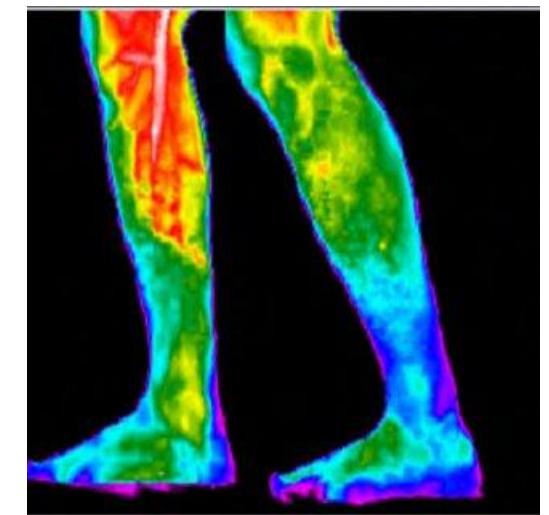
Standard Photo

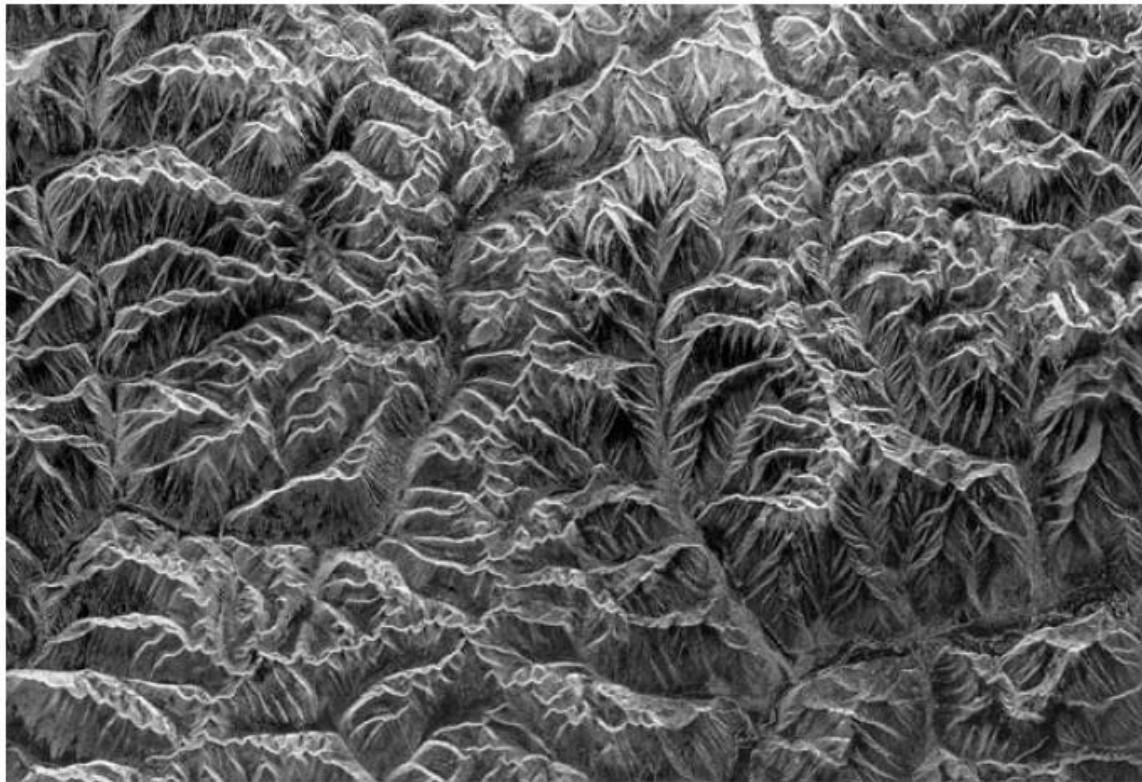
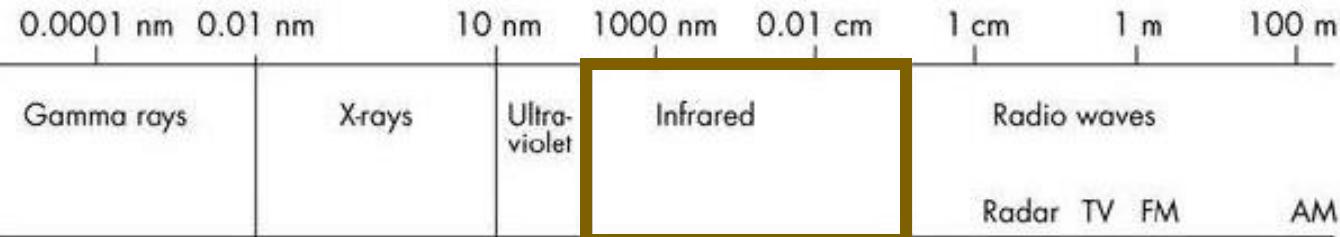
UV Photo



Penetracija prašnjavih regiona svemira poput molekulskega oblaka, detekcija planeta

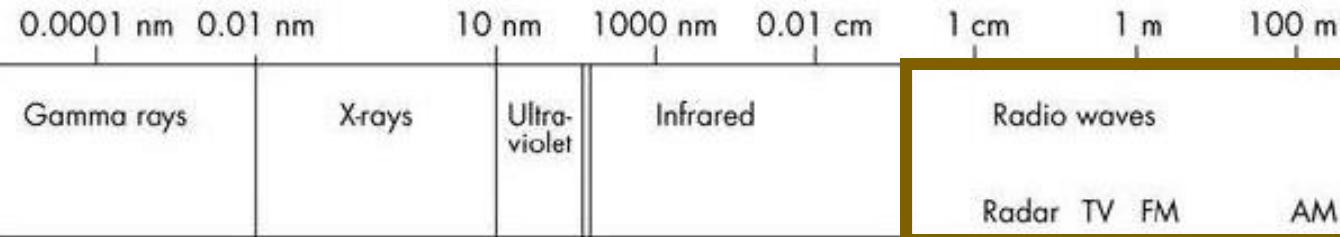
Posmatranje krvnog protoka u koži





Mikrotalasi

- Radar – ne zavisi od vremena i osvetljenja ambijenta
- Slika: planine (jugoistočni Tibet)

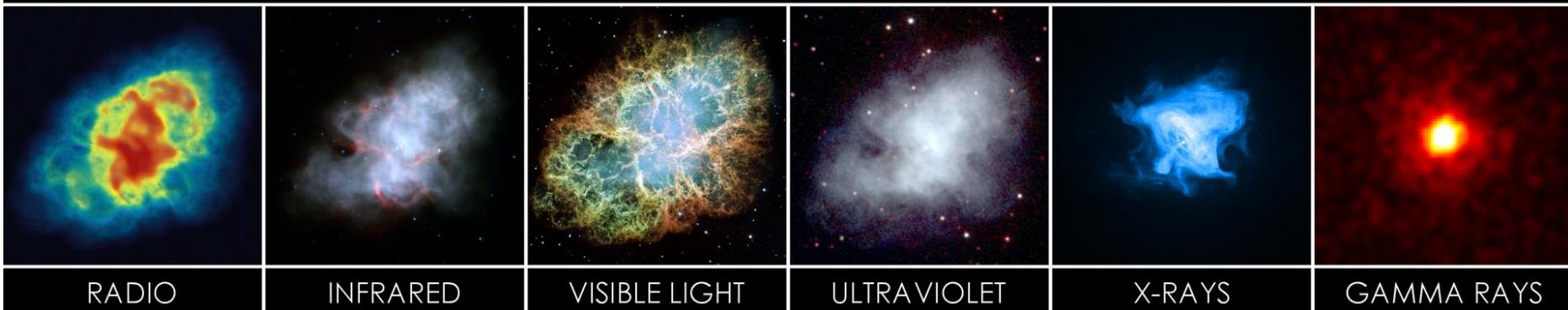


Medicina (MRI)

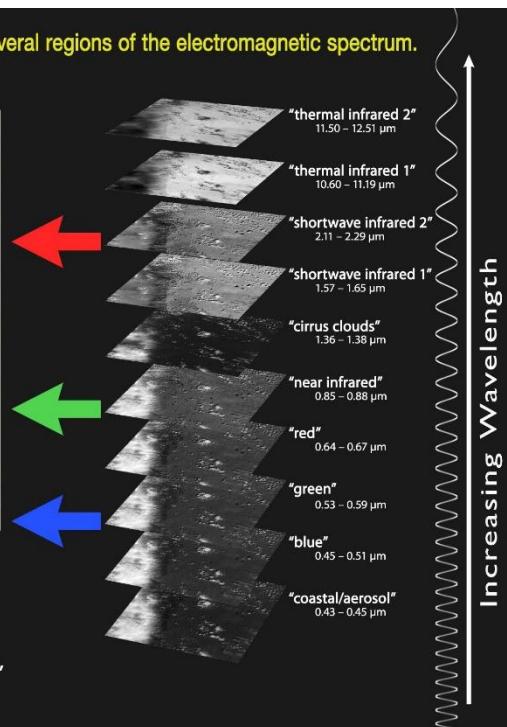


Ponekad slikamo istu scenu pomoću različitih modaliteta kako bismo dobili različite informacije o njoj

CRAB NEBULA



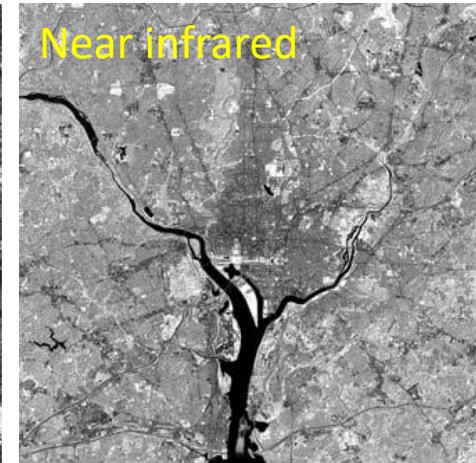
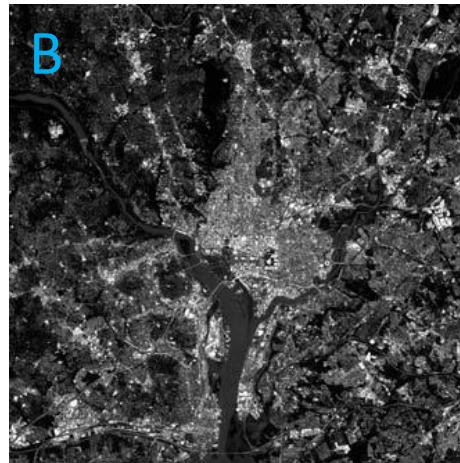
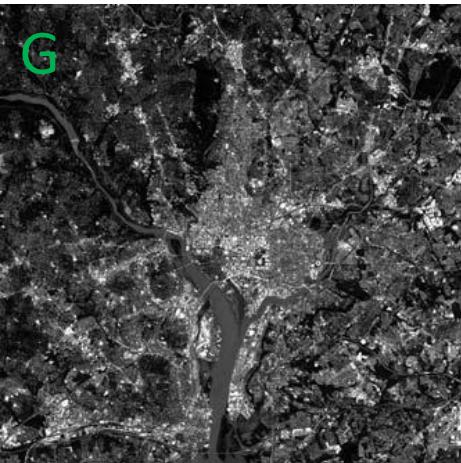
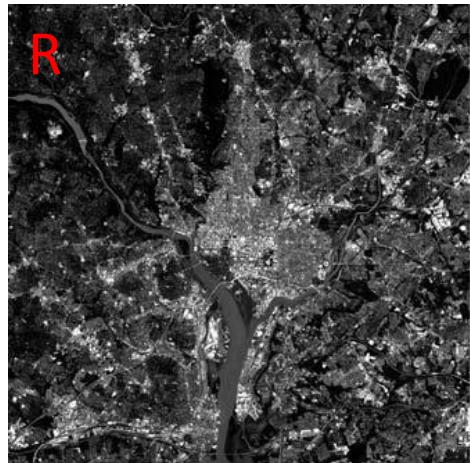
The Landsat Data Continuity Mission collects data from several regions of the electromagnetic spectrum. This is the first data from the mission.



Three wavelengths are colored red, green, and blue, and then combined to make a single image.

Different features of the landscape can be highlighted by combining different wavelengths. The burned area after a wildfire reflects strongly in the shortwave infrared, therefore the fire scar in the image is a strong red color.

Satellite images of Washington



- Umesto crvene komponente koristi se *near infrared*
- Ovaj kanal je jako osetljiv na biomasu
- Biomasa je označena crveno
- Beton i asfalt su označeni plavim nijansama
- Možemo meriti postojanje materijala, pratiti rast šuma

Full color (RGB)

Teško za interpretaciju u
gustum regijama

Različite nijanse na
različitim delovima reke

Thematic bands (NASA's LANDSAT satellite)

TABLE 1.1
Thematic bands
in NASA's
LANDSAT
satellite.

Band No.	Name	Wavelength (μm)	Characteristics and Uses
1	Visible blue	0.45–0.52	Maximum water penetration
2	Visible green	0.52–0.60	Good for measuring plant vigor
3	Visible red	0.63–0.69	Vegetation discrimination
4	Near infrared	0.76–0.90	Biomass and shoreline mapping
5	Middle infrared	1.55–1.75	Moisture content of soil and vegetation
6	Thermal infrared	10.4–12.5	Soil moisture; thermal mapping
7	Middle infrared	2.08–2.35	Mineral mapping

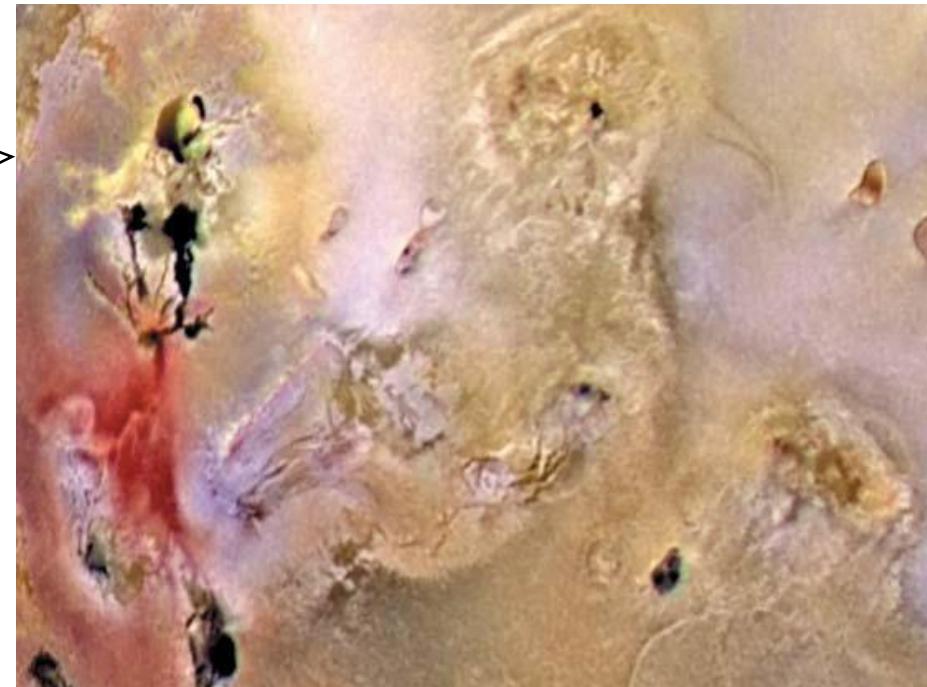
Cilj satelita je da snimi i na zemlju pošalje slike zemlje zarad posmatranja uslova životne sredine na zemlji

Jupiterova mesec Io

crveno označava materijal izbačen iz aktivnog vulkana, dok su žutom nijansom predstavljeni starije sumporne naslage



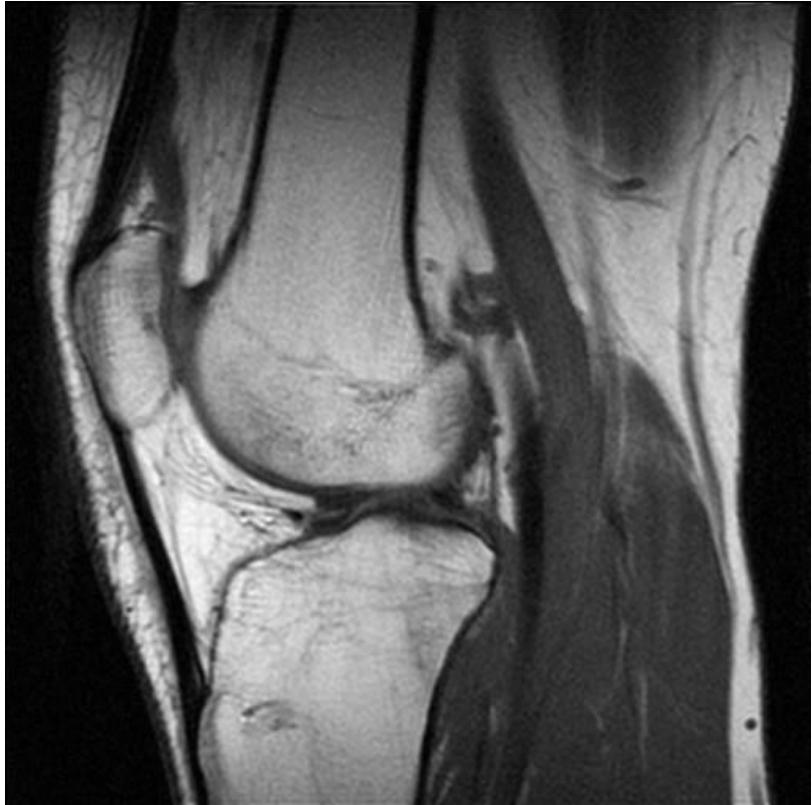
boje dobijene kombinovanjem slika dobijenih pomoću različitih senzora neki iz spektara nevidljivih ljudskom oku



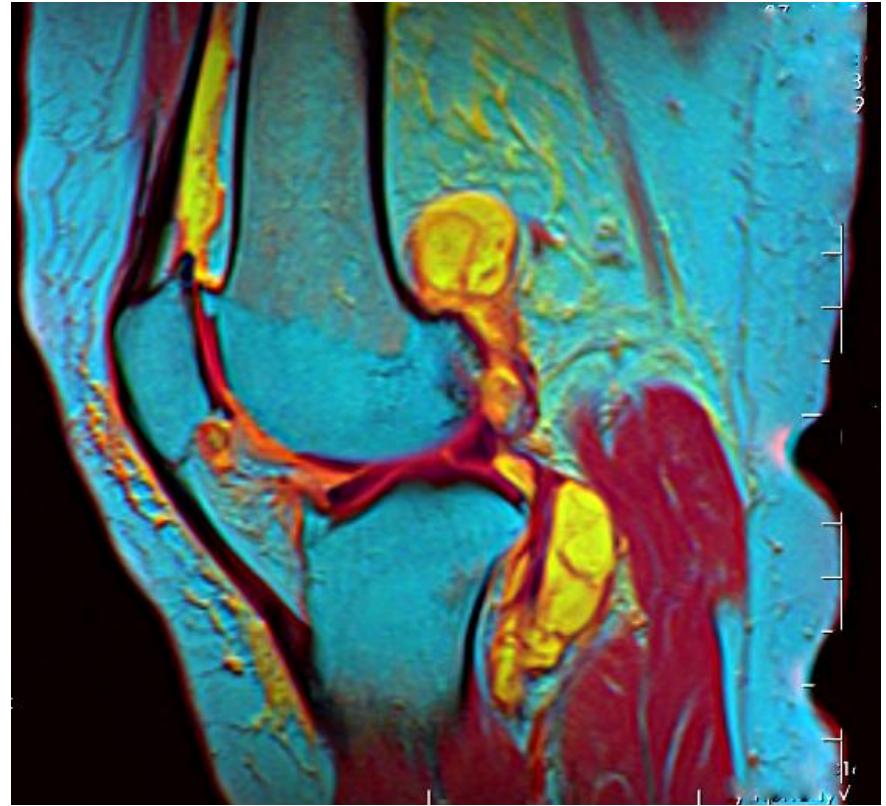
Ako razumemo fizičke i hemijske procese koji imaju uticaj na različite senzore, možemo praviti informativne *pseudocolor* mape

Recimo, možemo prikazati razlike u hemijskom sastavu površine

Medicina



grayscale MRI kolena – različite nijanse sive predstavljaju različita tkiva. Potrebno je trenirano oko za njihovo razlikovanje



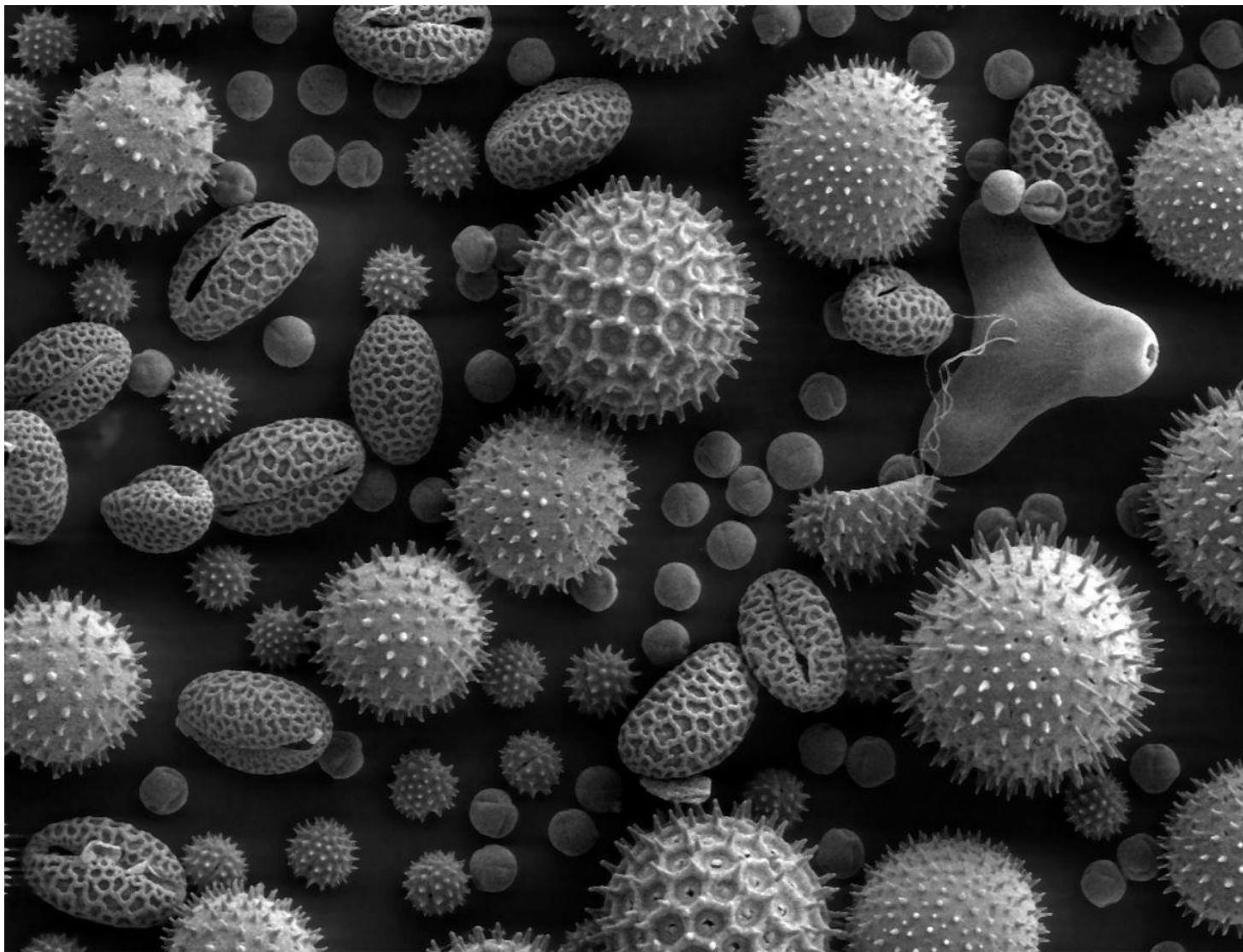
Pseudo-objojena slika dobijena od tri *grayscale* slike omogućava lakše razlikovanje tkiva

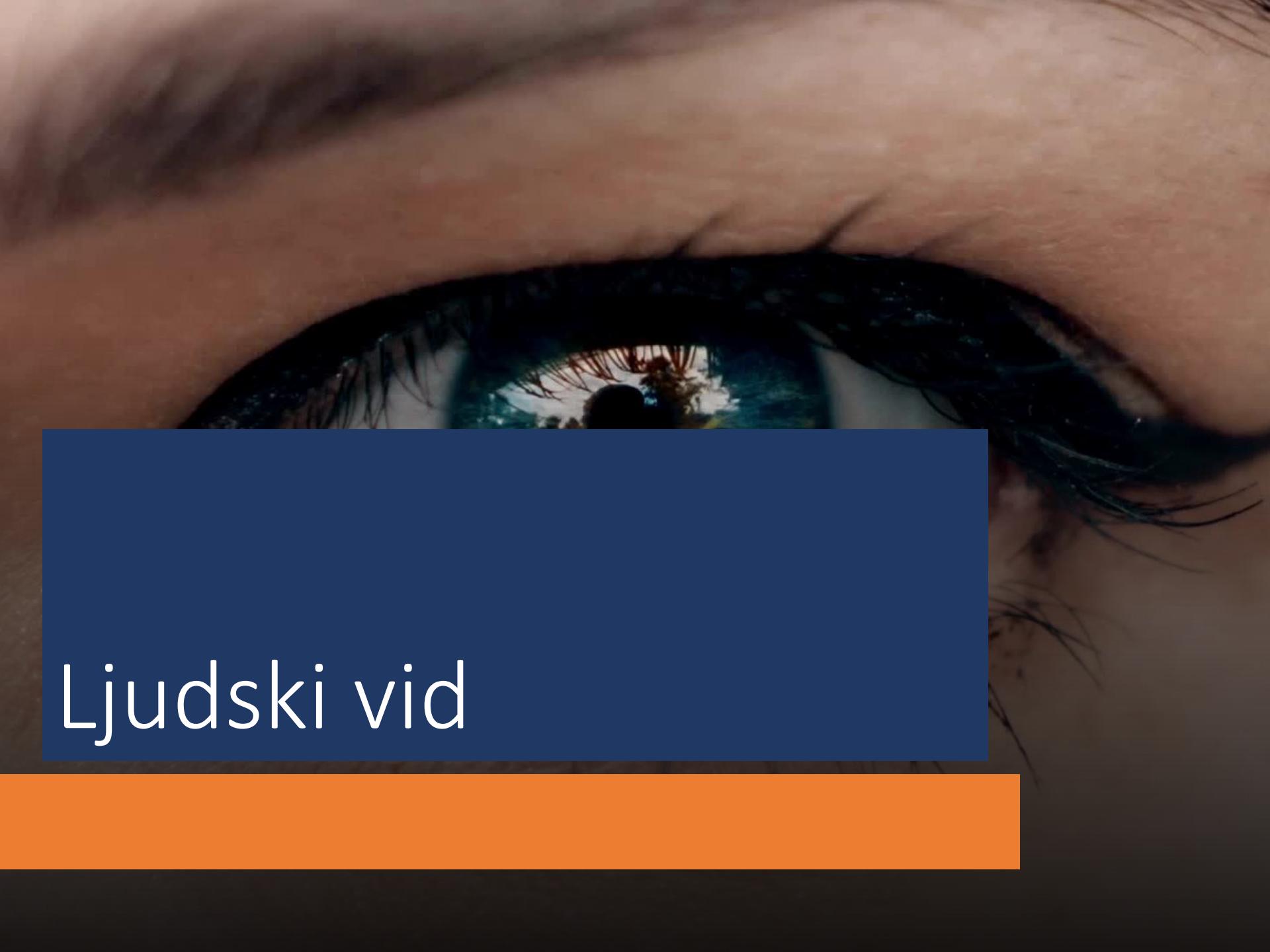
Ultrazvučne slike



- Medicina
- Geološka istraživanja
- Industrijske primene

Elektronska mikroskopija





Ljudski vid

Ljudski vid

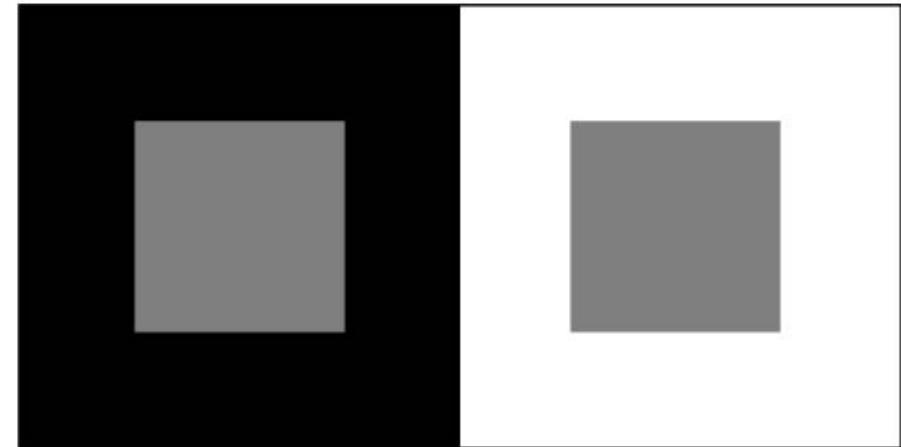
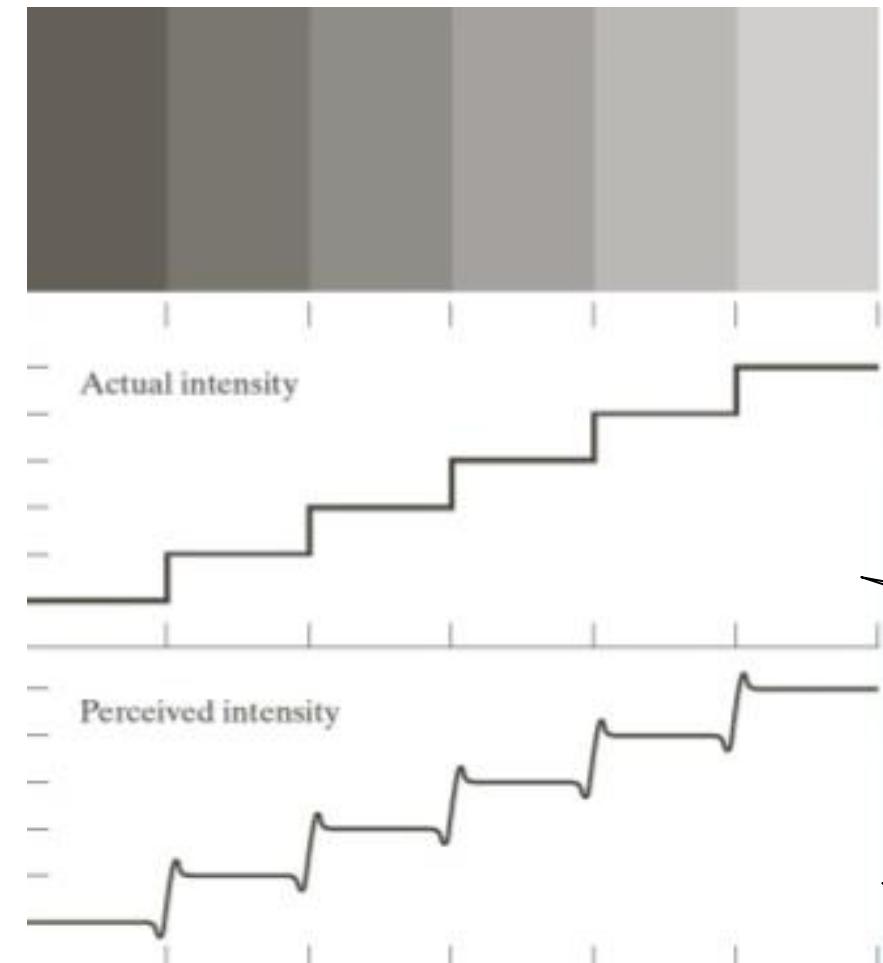
- Polje digitalne obrade slika izgrađeno je na matematičkim i probalističkim formulacijama
- Međutim, ljudska intuicija i analiza često igraju ključnu ulogu u odabiru jedne tehnike naspram drugih
- Često je ovaj izbor diktiran subjektivnim, vizuelnim procenama
- Zato je dobar prvi korak razumevanje ljudske vizuelne percepcije

Zašto?

- Referentni okvir za performanse
- Evaluacija i testiranje
- Inspiracija za algoritme
- Razumevanje percepције
- Interakcija између човека и рачунара

Ljudski vid

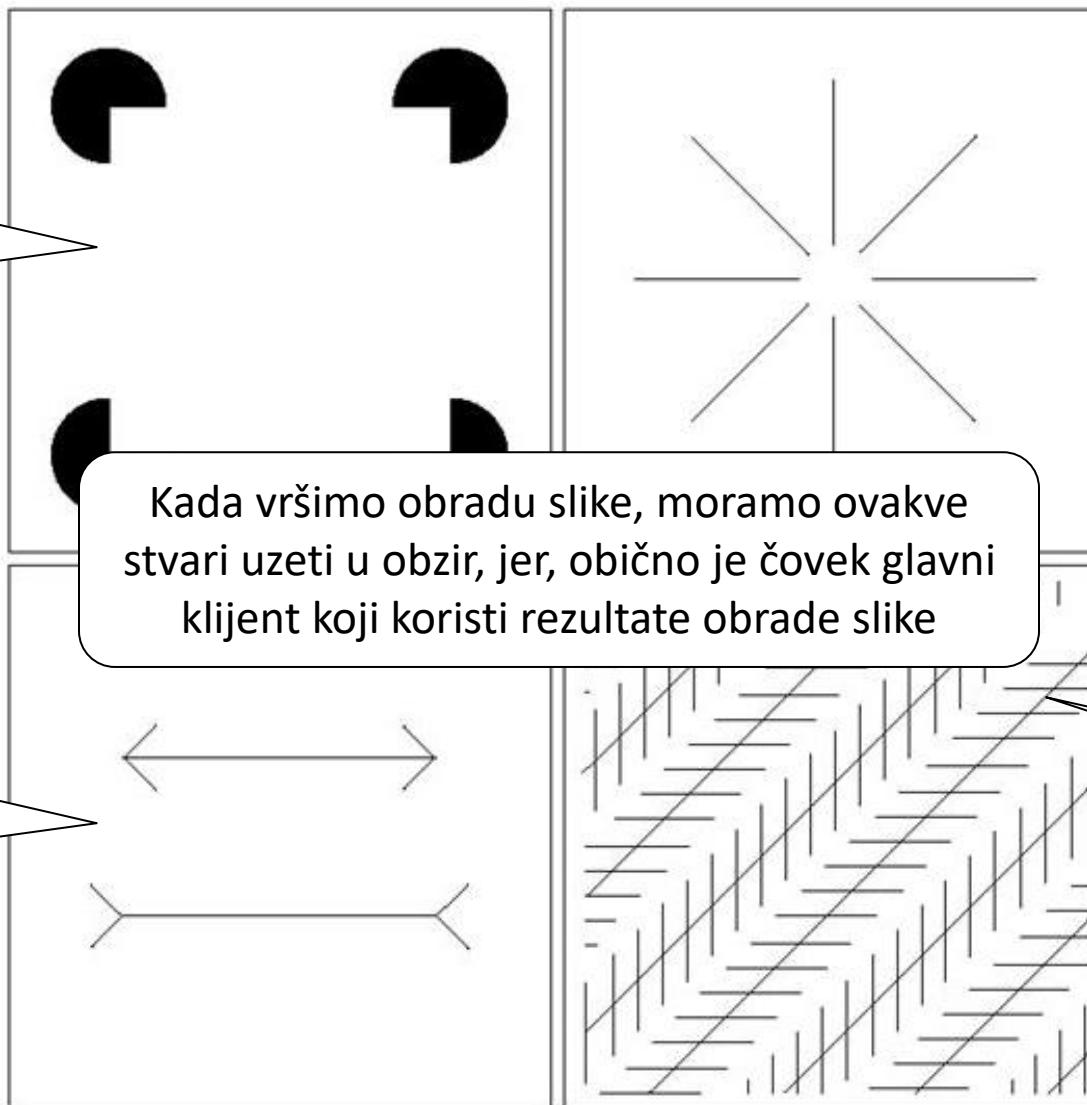
Mach band effect



Intenzitet osvetljenja svake od površina je konstantan

Način na koji mi to percepiramo nije

Ljudski vid – optičke iluzije



Ljudski vid

- Iza kompleksnog aparata postoji izuzetna moć procesiranja
- Prirodne scene se mogu vrlo brzo analizirati u mozgu iako su često kompleksne
 - Svet u kome se nalazimo je često zašumljen ili dvomislen (osvetljenje, ugao posmatranja)
 - U momentu donošenja odluke ključne informacije nam nisu poznate

Ljudski vid

- Pored sposobnosti da shvatimo svet oko sebe, takođe možemo i relativno brzo da odreagujemo na stimulanse



- Većina ljudi procesira ~ 500 megapiksela u ~ 30 fps bez velikog napora

Ljudski vid



Jedan od ključnih faktora sposobnosti snalaženja u realnom svetu je činjenica da smo navikli na određene mehanizme, veličine i količine.

Zamislite...

Dve banane

10^6 tona materije
neutronske zvezde

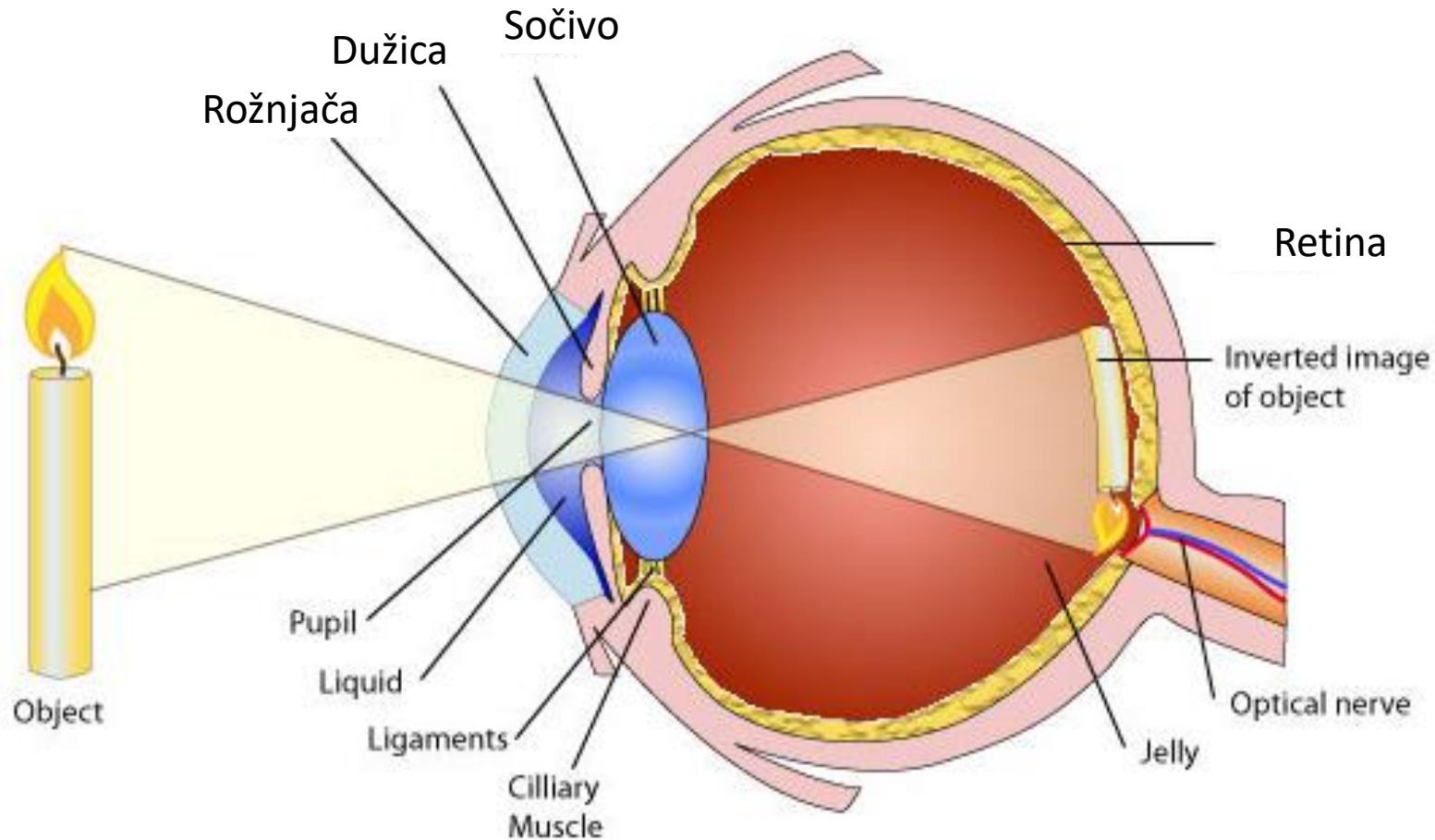
Za razumevanje slike, pored fizičkog čula vida, koristimo i kontekst

Pred iskustva o razmerama čestih stvari, aparat skriva od svesti da koristi perspektivu, binokularan vid, i razne druge vizualne trikove da bi odredio razdaljinu i veličinu objekata koje posmatramo

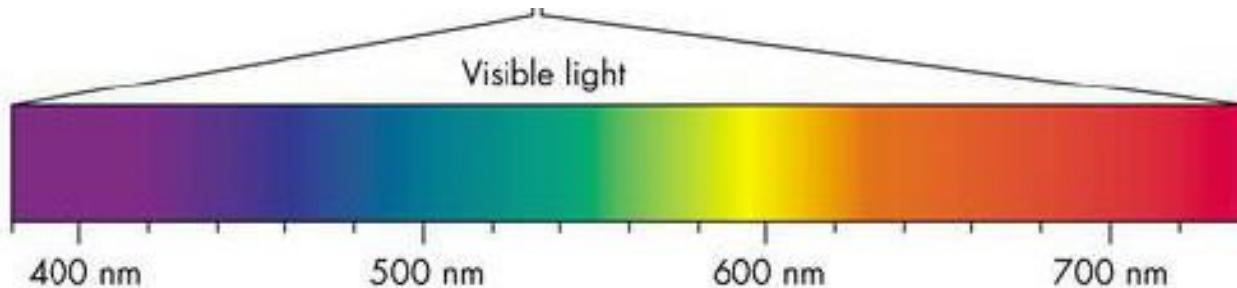
Kada se ljudi ne nalaze u uobičajenom okruženju, ovo predstavlja problem



Ljudski vid



Ljudski vid

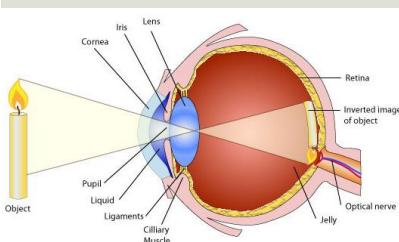
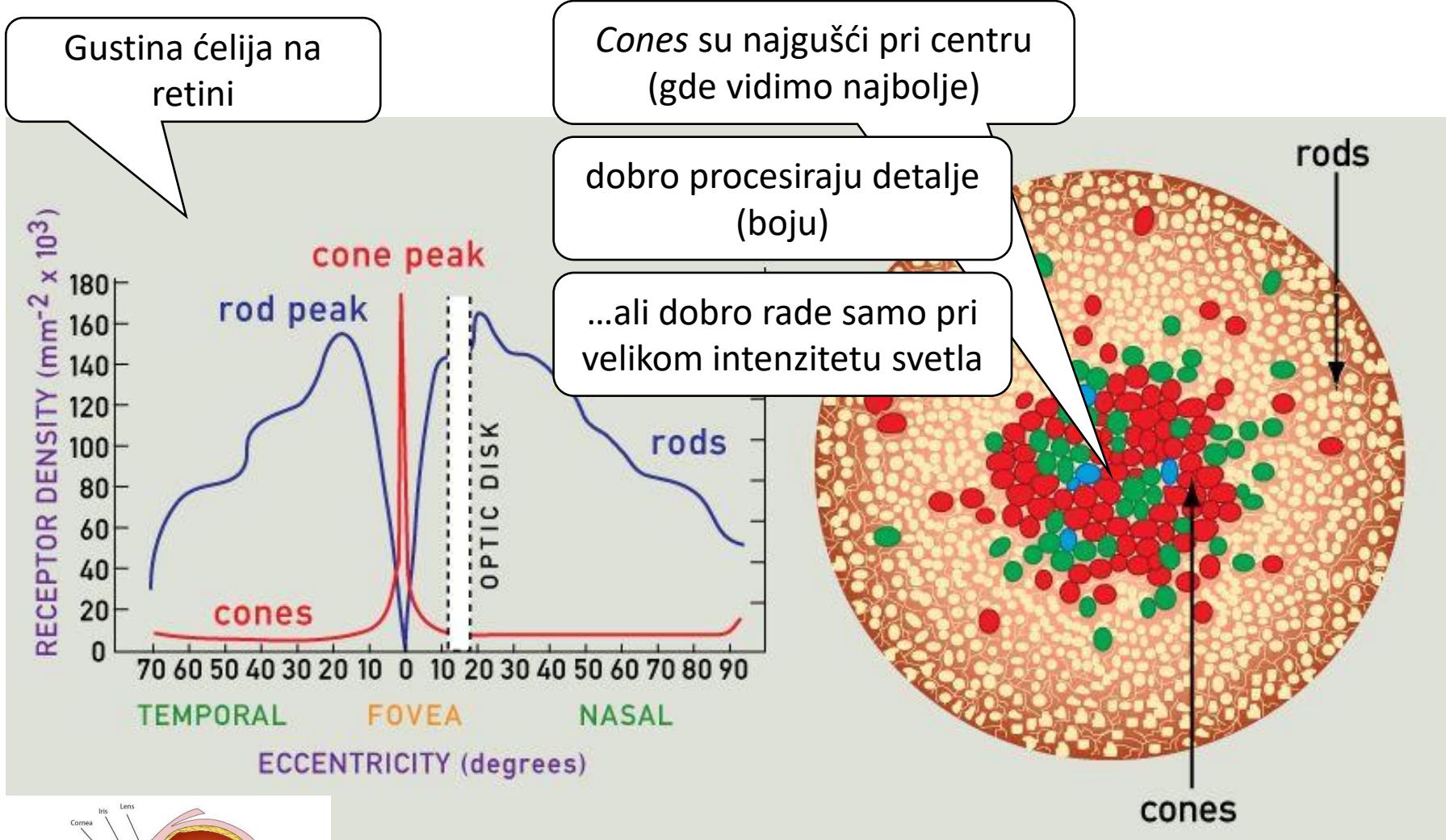


- Vidljive talasne dužine za prosečnog čoveka su 390 – 750 nm
- Kratke talasne dužine percipiramo kao ljubičastu, a duge kao crvenu boju
- Antena koja može da „uhvati“ određenu frekvenciju mora biti proporcionalna talasnoj dužini
- Ovo diktira veličinu i rezoluciju senzora na retini – zbog toga je moguće da retina bude mala i sadrži veliki broj fotoosetljivih ćelija

Ljudski vid

- Ljudske oči drugačije procesiraju intenzitet svetlosti od boje
- Čelije koje procesiraju intenzitet (*rods*) svetlosti su manje osjetljive na frekvenciju
- Čelije osjetljive na frekvenciju (*cones*) najbolje rade pri velikom intenzitetu svetla

Ljudski vid

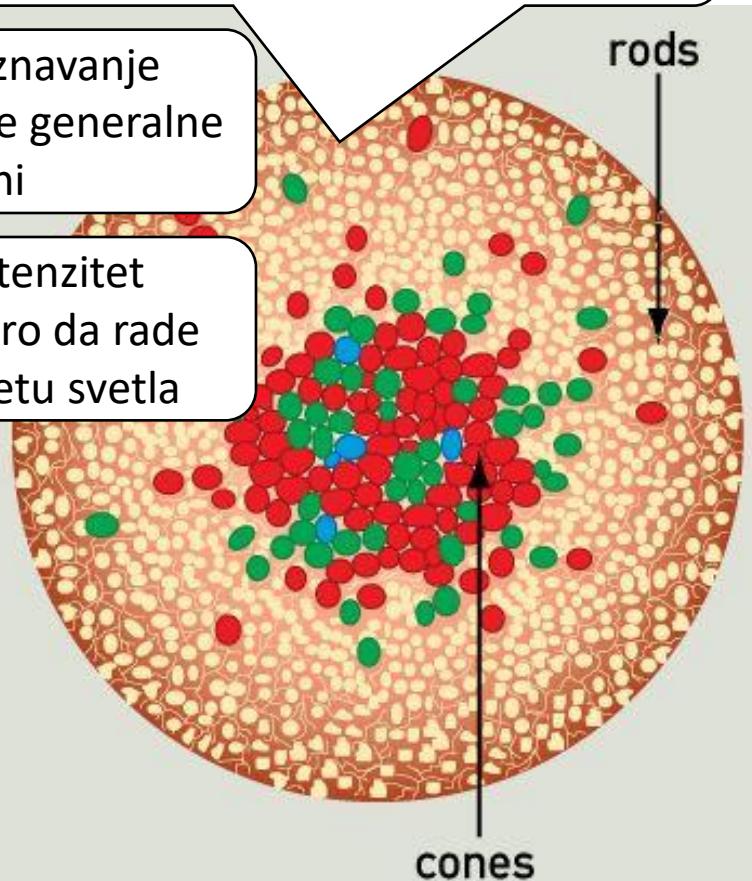
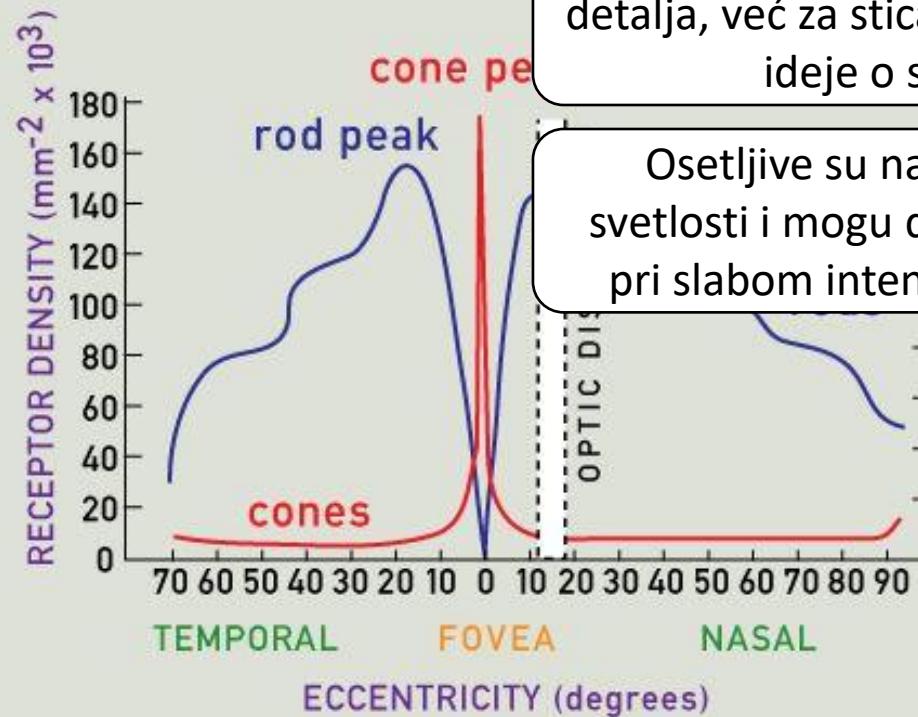


Ljudski vid

Rods su malo uniformnije raspoređeni na retini (manja koncentracija je tamo gde su cones najgušći)

Ne služe za prepoznavanje detalja, već za sticanje generalne ideje o sceni

Osetljive su na intenzitet svetlosti i mogu dobro da rade pri slabom intenzitetu svetla



Ljudski vid

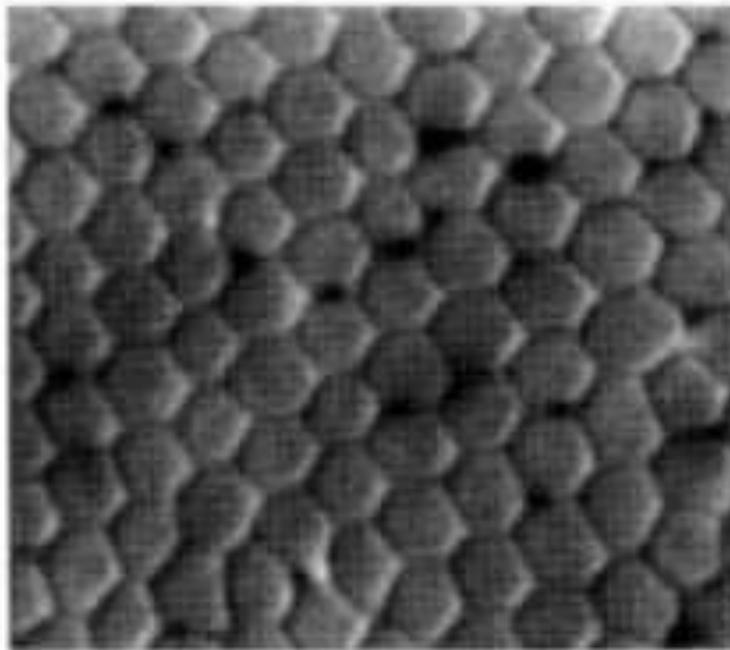


Cones ćelije su
stimulisane

Samo rods ćelije su
stimulisane

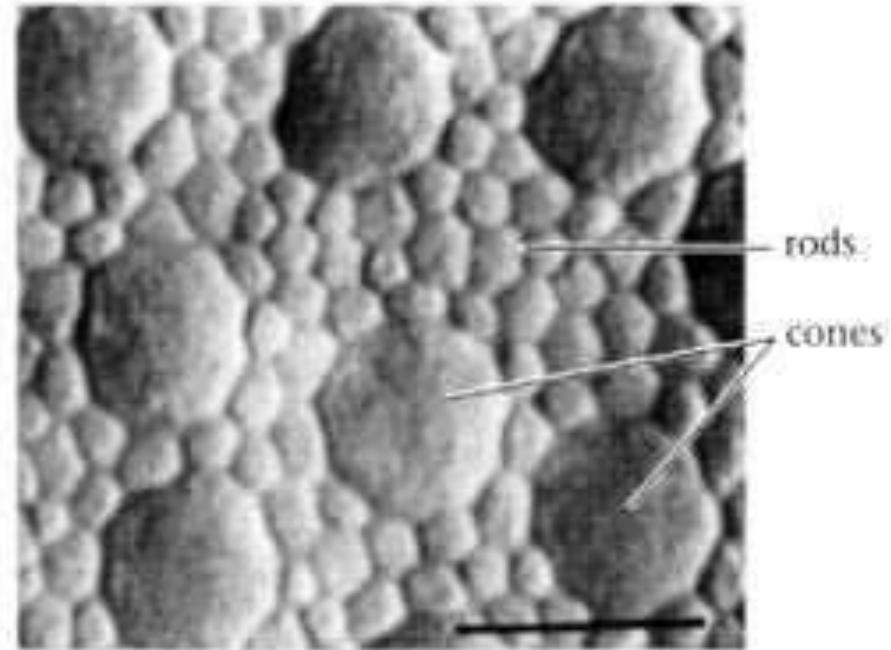
Ljudski vid

(A)



Sredina retine
(cones)

(B)



Periferija retine

Možemo primetiti da je rezolucija oka veća u sredini vidnog polja nego na perifериji

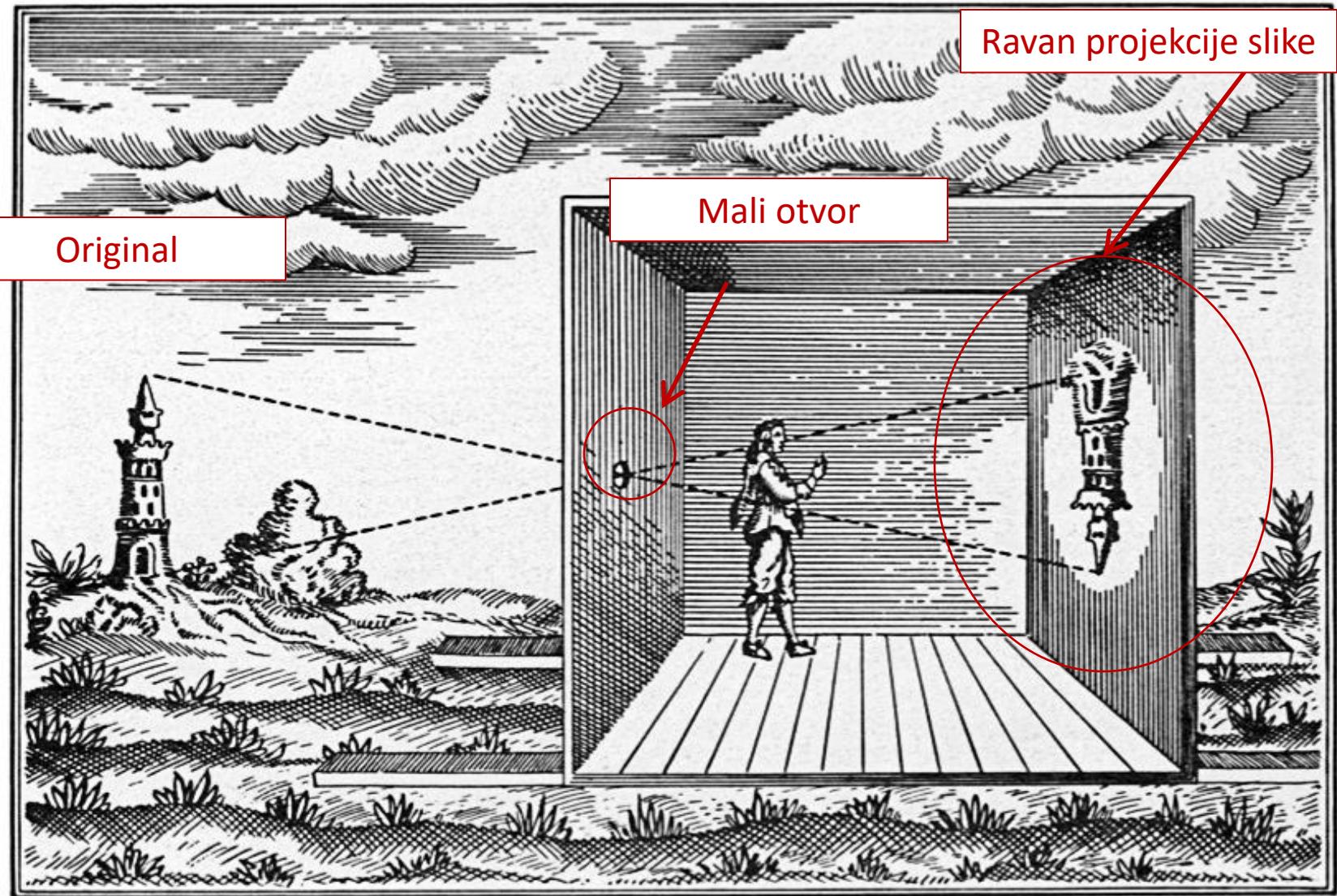
Ovo se razlikuje u odnosu na mehaničke uređaje gde je rezolucija uniformna

- Svaka *cone* ćelija se završava nervnim završetkom
- Dok više *rods* ćelija deli isti nervni završetak (jednostavna, opšta predstava prikaza)

Ljudski vid – rezolucija

- U centralnom delu retine je vid najprecizniji
 - Nesvesno koristimo mišiće oka da ovde fokusiramo scenu
 - Kružnog je oblika, oko 1.5 mm u prečniku. Aproksimiraćemo da se radi o kvadratu
 - Gustina *cones* ćelija u ovoj regiji je oko 150 000 po mm²
 - Prema ovim aproksimacijama, broj *cones* ćelija u regiji oka najveće oštrine je 337 000
 - Poređenja radi, CCD uređaji srednje rezolucije imaju isti broj receptora na 5 mm × 5 mm
- Moć oka da razaznaje detalje je uporediva sa trenutno postojećim elektronskim senzorima

Senzori za generisanje slike *camera obscura*

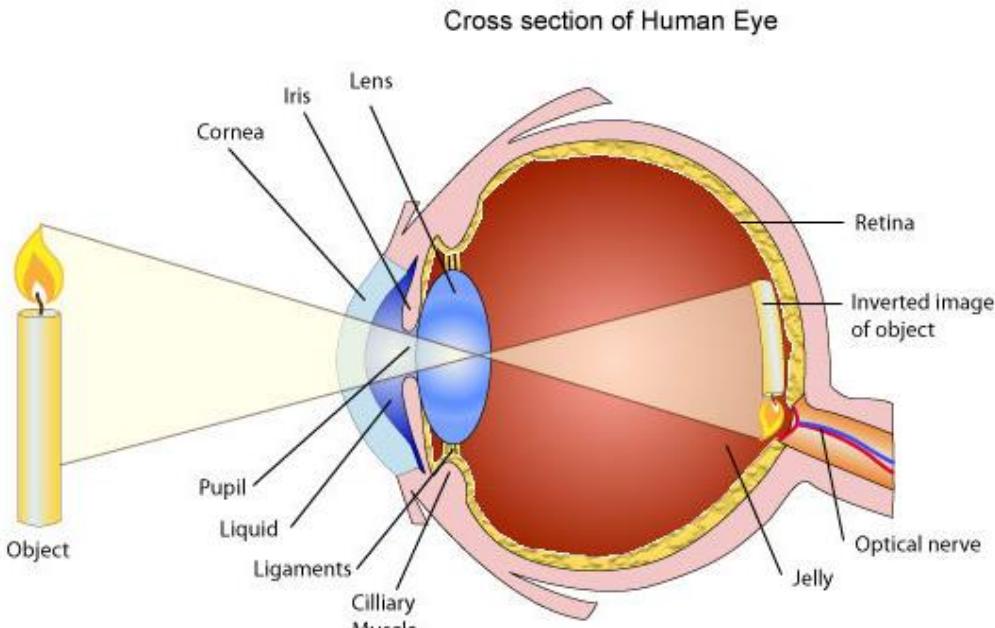
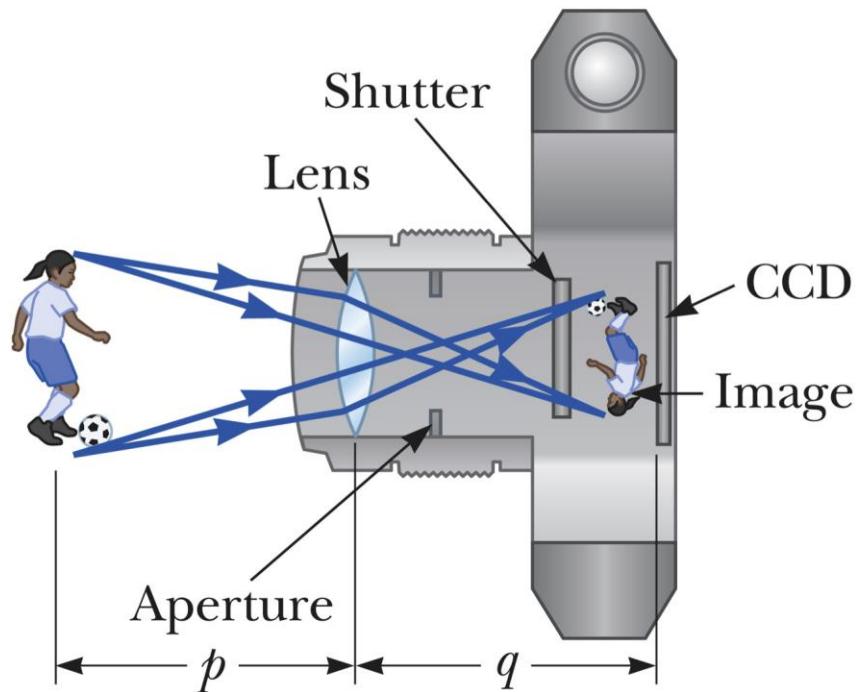


Praktična *camera obscura*

Karton na prozorima, potpuni mrak sa samo jednim malim otvorom za svetlost



Fotoaparat i oko



- U slučaju fotografije se koriste jedinjenja srebra koja su osetljiva na svetlo dok istu funkciju obavlja CCD senzor u digitalnom fotoaparatu, odnosno retina u oku
- Senzor veće površine može da primi više svetla i proizvede kvalitetniju fotografiju od senzora manje površine, neovisno o broju piksela na njima
- Veći senzori tada imaju mogućnost za bržu ekspoziciju, sa istom ukupnom količinom svetla koje stigne do senzora

Rasterizovana slika

- Bilo da se radi o foto aparatu ili oku, dobijamo diskretizovanu sliku
- U slučaju retine, rezolucija slike je ograničena brojem i gustinom ćelija
- U slučaju fotografije, rezolucija zavisi od veličine zrna fotosenzitivnog materijala

Digitalna reprezentacija slike

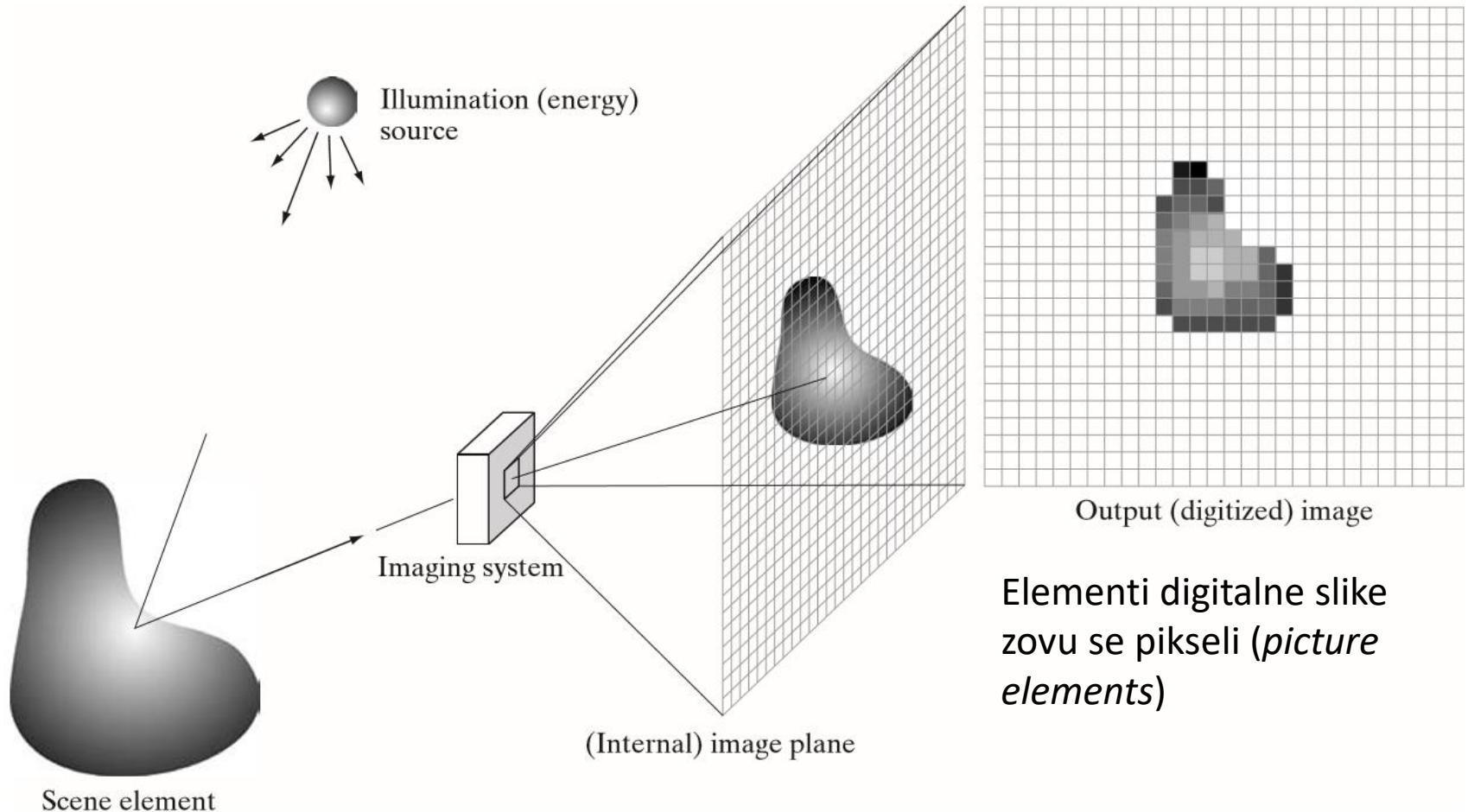


Dve vrste diskretizacije

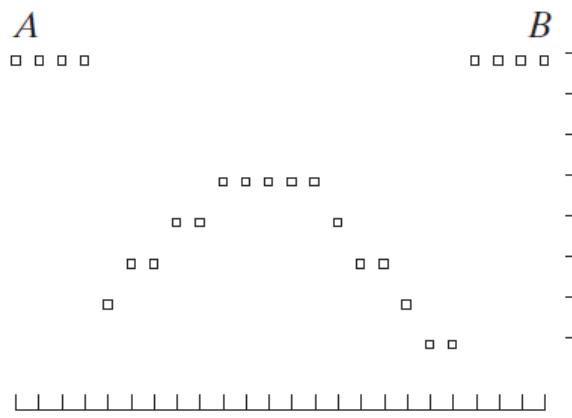
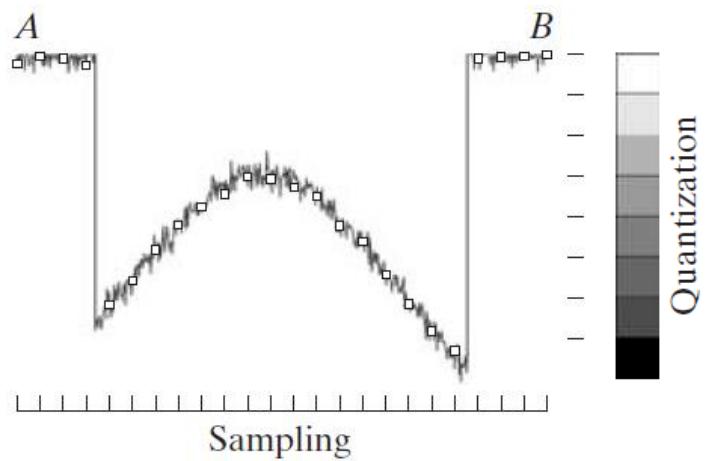
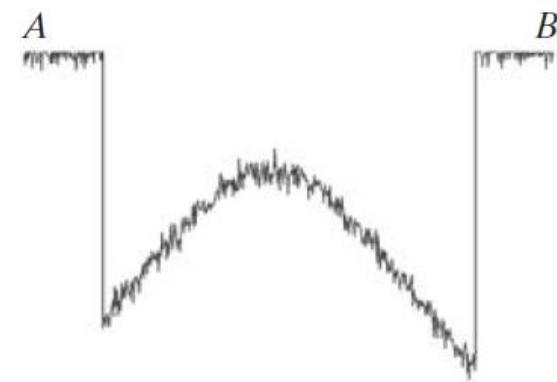
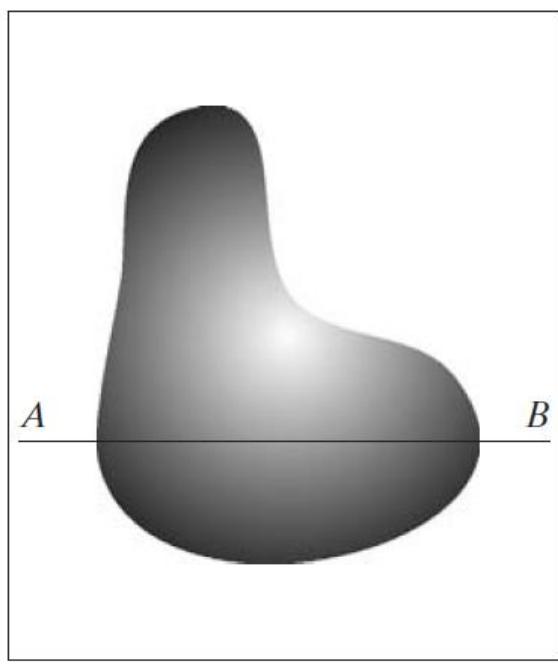
Prostorna

Broj nijansi

Prostorna diskretizacija



Konačan broj nijansi



Konačan broj nijansi

- Tip vrednosti koji čuva intenzitet svetlosti za svaki piksel je tipično raspon od 256 vrednosti (8 bita)
- U nekim situacijama je potrebna veći raspon vrednosti pa se koristi 16 ili 32 bita
- U specifičnim situacijama kada postoje drastične razlike intenziteta u istoj slici, koristi se *floating point* za opis boje (interval $[0, 1]$)

Primer diskretizacije

- 256×256 piksela
- Svaki piksel je reprezentovan sa 8 bitova
(može da reprezentuje jedan od 256 mogućih nivoa sive)
- Oba nivoa diskretizacije su važna za kvalitet slike

Kvalitet digitalne slike – rezolucija

- Kvalitet slike zavisi od prostorne diskretizacije
- Digitalna slika se karakteriše i svojom rezolucijom – proizvod broja piksela u vrsti i koloni. Veća rezolucija znači i bolji kvalitet slike



200x200



100x100



50x50

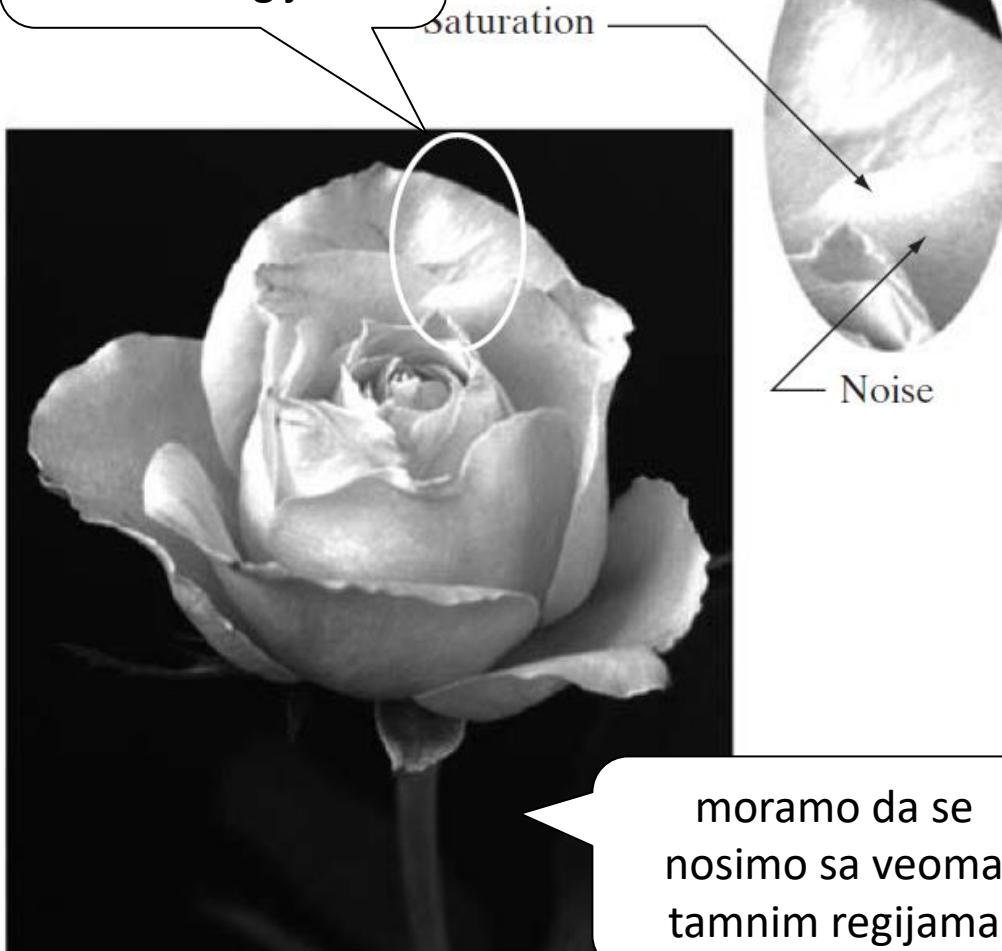


25x25

Broj nijansi je konstantan, ali menjamo rezoluciju

Kvalitet digitalne slike – kvantizacija

moramo da se
nosimo sa veoma
svetlim regijama



Imamo samo 256 mogućih nivoa
koje možemo da koristimo

Delovi slike su previše svetli i nismo
u stanju da reprezentujemo male
varijacije u osvetljenju

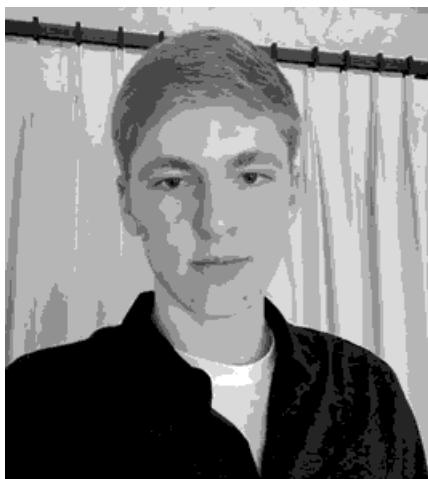
Saturacija: najveća vrednost iznad
koje su sve vrednosti odsečene
(cela saturisana površ ima
konstantan nivo intenziteta)

moramo da se
nosimo sa veoma
tamnim regijama

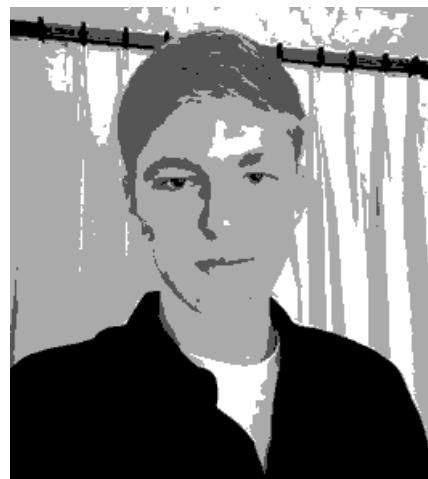
Kvalitet digitalne slike – kvantizacija



8 bit – 256 levels



4 bit – 16 levels



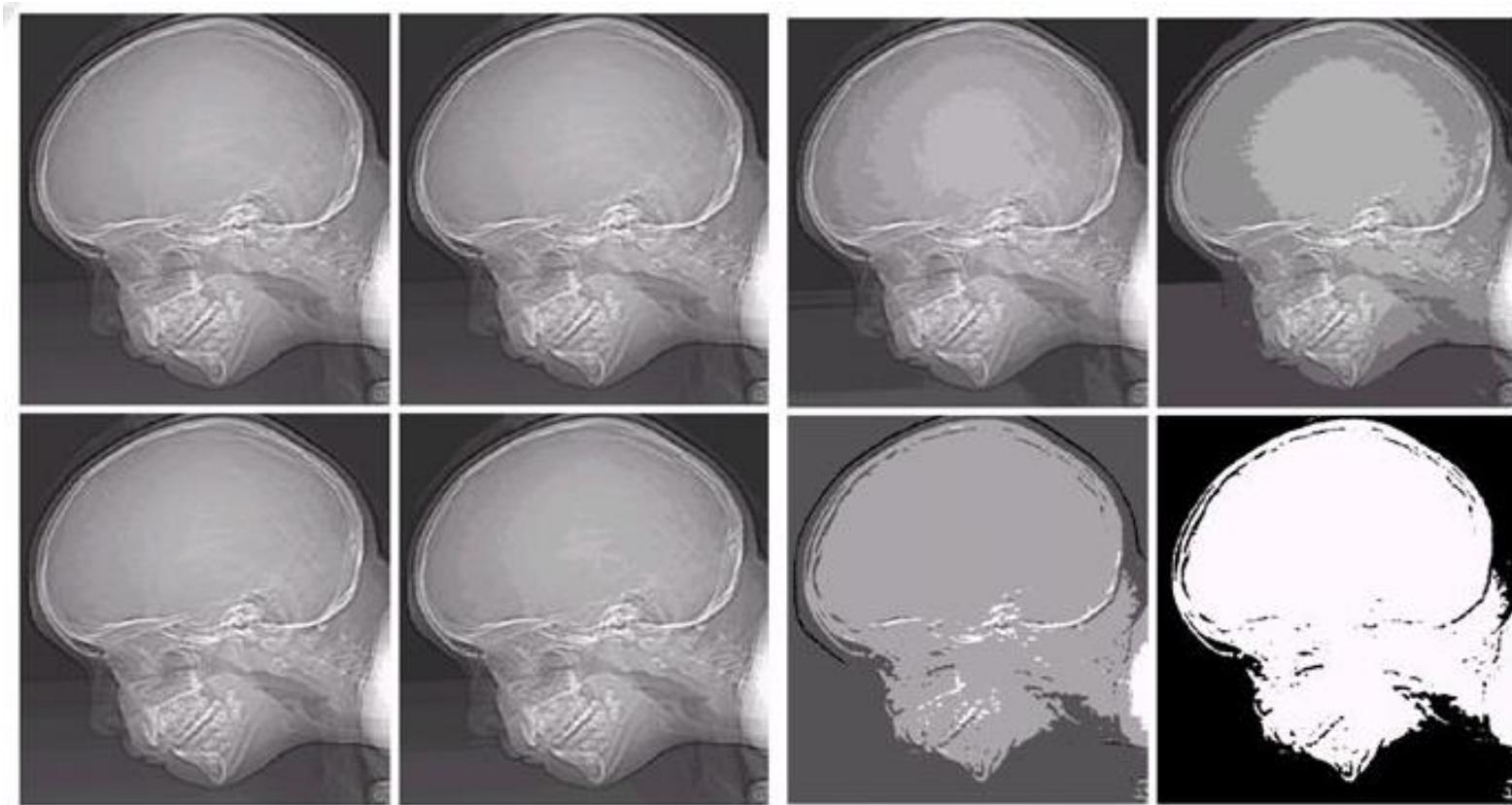
2 bit – 4 levels



1 bit – 2 levels

- Rezolucija je konstantna, ali se smanjuje broj nijansi sive
- Javljuju se lažne konture

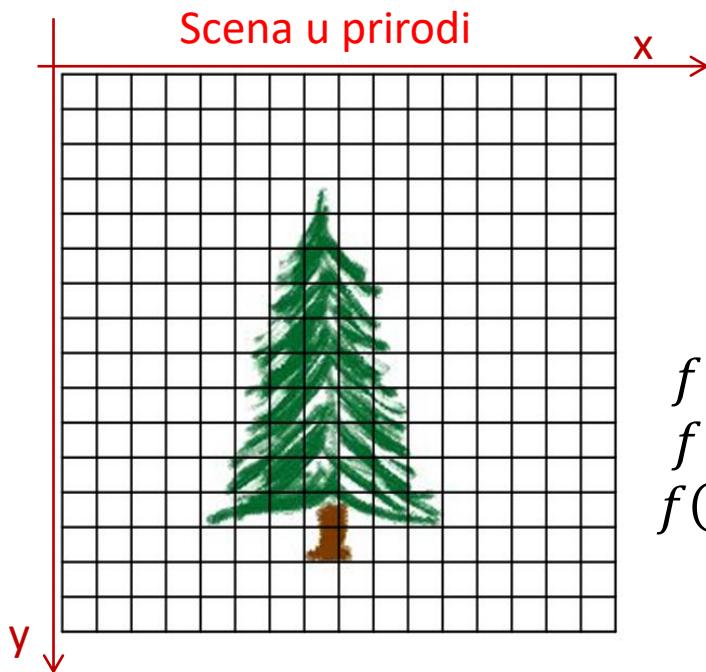
Kvalitet digitalne slike – kvantizacija



- Rezolucija je konstantna, ali se smanjuje broj nijansi sive
- Javljuju se lažne konture

Matematički model digitalne slike

- Slika je vizualna reprezentacija funkcije dve prostorne promenljive $f(x, y)$
 - U prirodi je slika kontinualna funkcija
 - Digitalna slika je diskretizovana: funkcija f je definisana samo za neke x i y

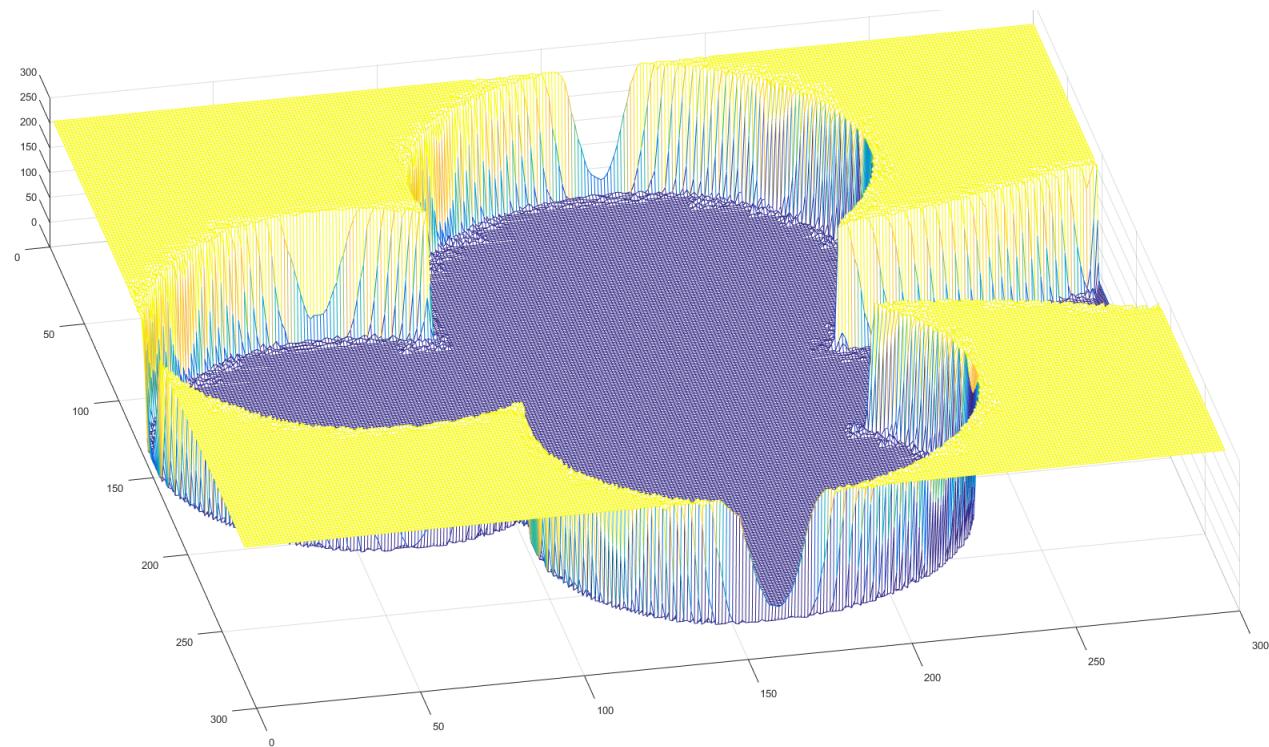
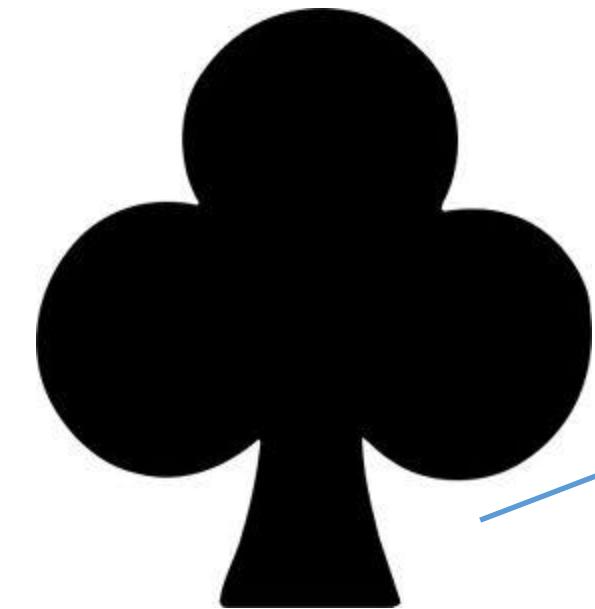


Funkcija
 $f(x, y)$

$$\begin{aligned}f(0,0) &= 0 \\f(7,3) &= 1 \\f(7,13) &= 2\end{aligned}$$

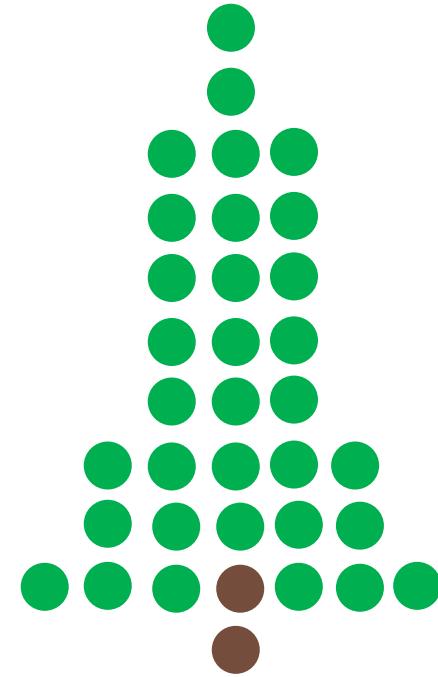
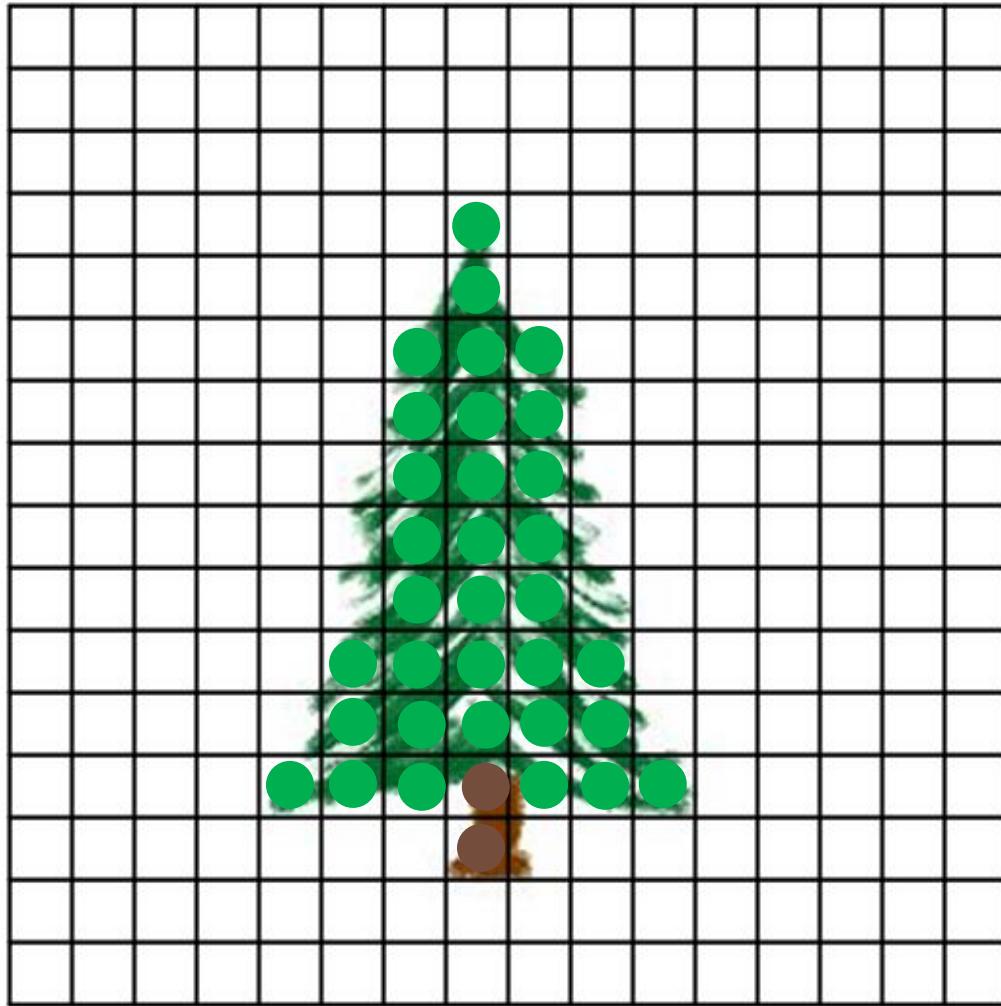
Matrica u memoriji

Matematički model digitalne slike



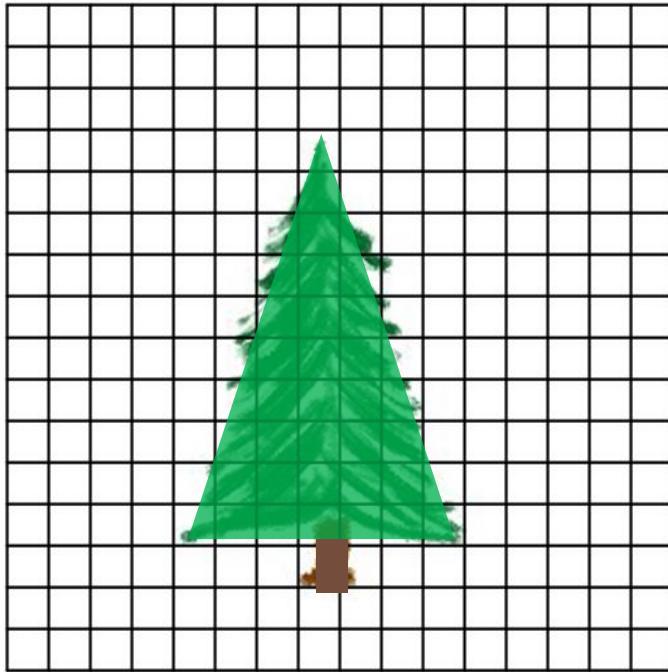
(Ako koristimo 8-bitnu reprezentaciju)
obično je crna boja 0, a bela 255

Digitalna reprezentacija slike

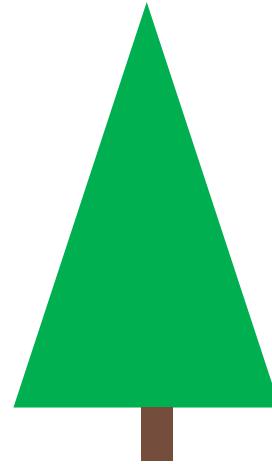


- Raster

Digitalna reprezentacija slike



Vektorski



- Alternativa rasterskoj reprezentaciji slike je vektorska reprezentacija
- Ovde, umesto da podelimo sliku u elemente iste veličine i regularnog rasporeda pokušavamo da dekomponujemo sliku u osnovne geometrijske oblike
- Najveći problemi kod vektorskih slika su biranje osnovnih oblika i način dekompozicije, dok su prednost neograničena rezolucija

Digitalna reprezentacija slike

Digitalne slike možemo podeliti u odnosu na podatke koji se nalaze u unutar piksela:

Binarne slike
(*binary images*)

Slike u nijansama sive
(*grayscale images*)

Multispektralne slike
(*multispectral images*)

Binarne slike (*binary images*)

- Slike koje za vrednosti piksela imaju samo vrednosti 0 ili 1
- U binarnoj slici često izdvajamo ono što nam je bitno (*foreground*), od ono što nam je nebitno (*background*)
- Formalnije, ovaj postupak izdvajanja bitnog od nebitnog na slici nazivamo segmentacija



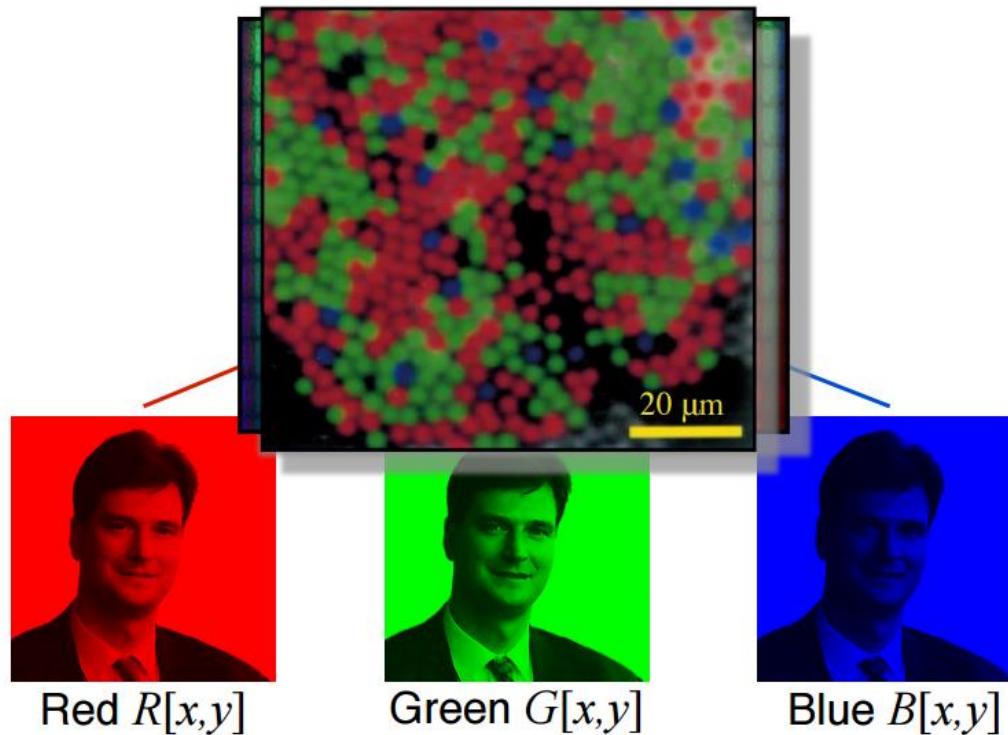
Grayscale Images

- Monohromatske slike sa jednom vrednošću intenziteta za svaki piksel
 - Npr. sa 256 nijansi sive reprezentujemo nivo osvetljenja



Multispectral Images

- Svaka komponenta boje se zapisuje u svoj kanal
- Za svaki piksel imamo vektor vrednosti intenziteta
- Obično koristimo vektor od tri elementa



Monochrome image



$$R[x,y] = G[x,y] = B[x,y]$$

Modeli boja

- Matematička apstrakcija: način na koji se boje reprezentuju vektorom brojeva
- Koordinatni sistem u kome svaka tačka predstavlja jednu boju

Aditivni (svetlosni) modeli

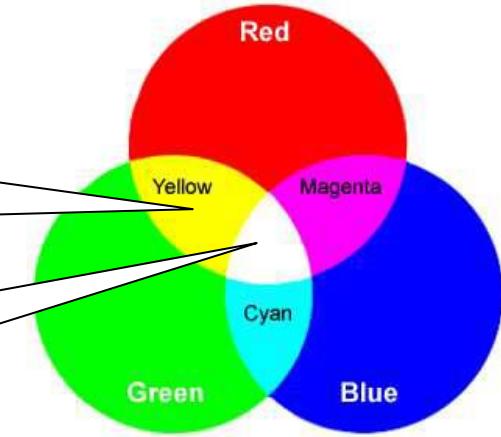
Suptraktivni
(pigmentni modeli)

Aditivni modeli

- Boju doživljavamo kao energiju svetlosnog izvora

Ako se aktiviraju dva izvora svetlosti signali se sabiraju

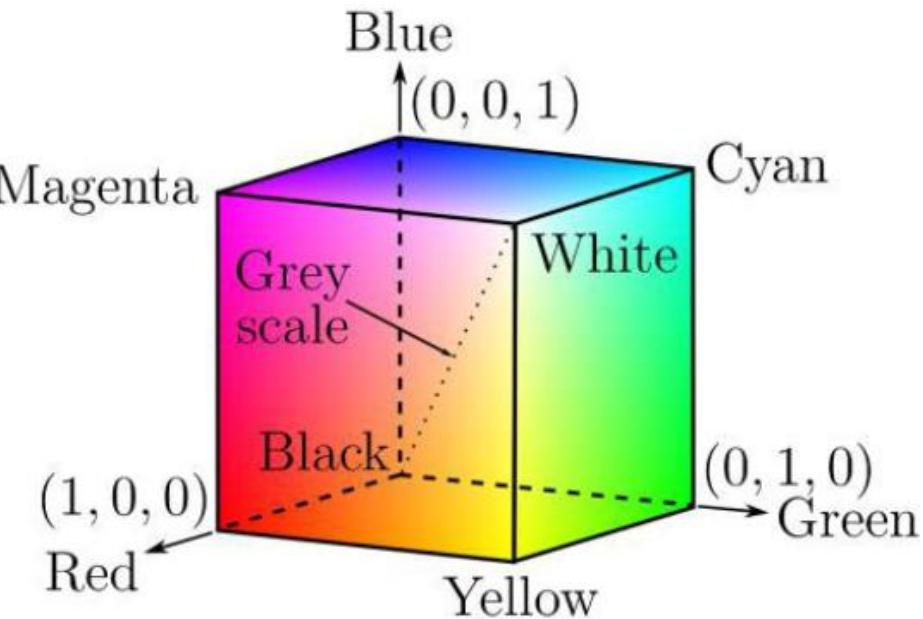
Maksimalni nadražaj svih ćelija stvara efekat bele svetlosti



- Predstavnik aditivnog modela je RGB (*Red, Green, Blue*)

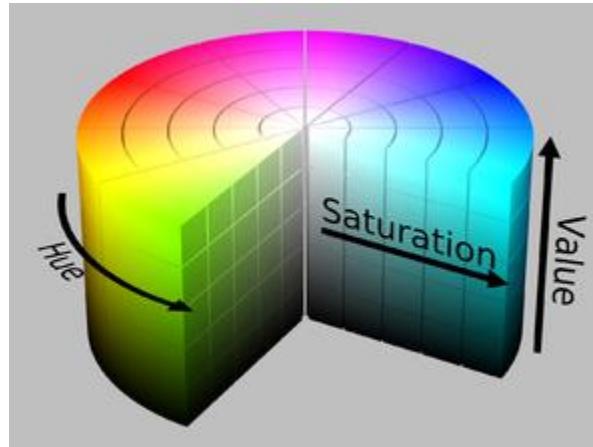
- Ove tri vrednosti određuju koordinate u 3D prostoru

- Ponekad se dodaje i jedan kanal za providnost *alpha*



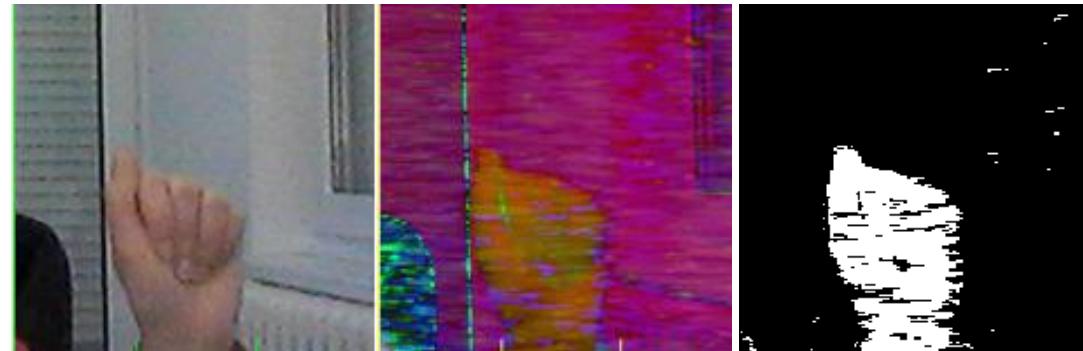
Hue Saturation Value (HSV) model

- Bazira se na ljudskom mentalnom modelu



- *Hue*: ugao mereno od vertikale (izbor boje, 0° crvena, 120° zelena, 240° plava)
- *Saturation*: količina sive u boji 0% -100%
- *Value (brightness)*: nijanse sive (0% - 100%)

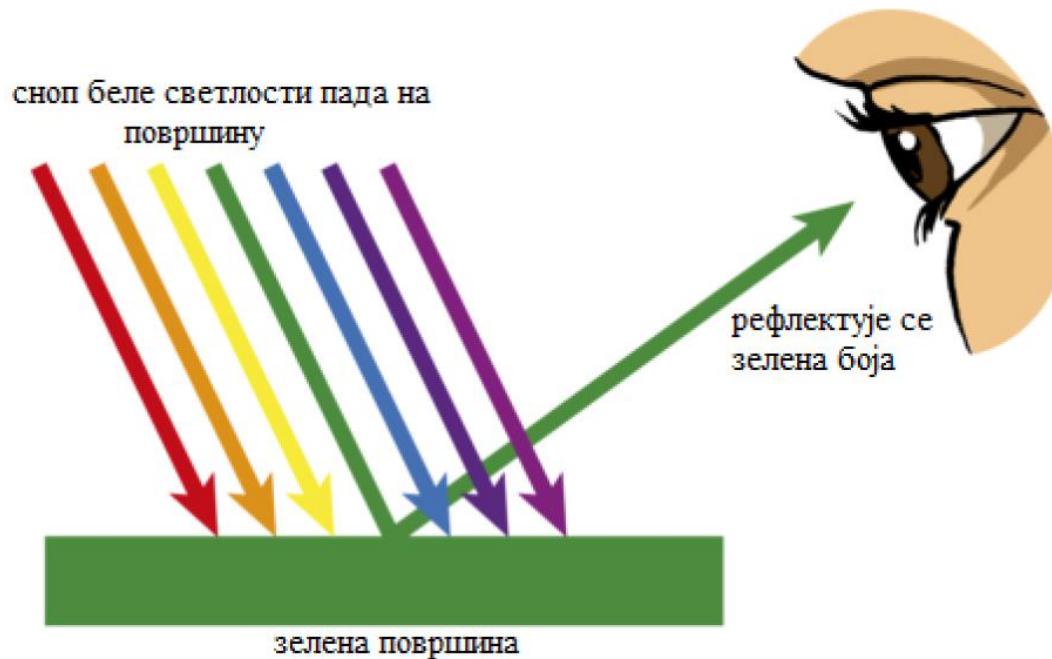
Ova reprezentacija je posebno pogodna kada želimo da segmentišemo sliku na osnovu boje (nezavisno od intenziteta)



Izdvajanje šake od pozadine (koriste se pragovi za prepoznavanje boje kože)

Supraktivni (pigmentni) modeli

- Bazira se na činjenici da je boja objekta energija svetlosti koja se reflektovala o datim objekatima
- Slike na platnu se formiraju tako što se na platno nanosi pigment – sa svakom bojom se *oduzima* neka komponenta iz reflektovanog dela spektra i tako se formira doživljaj boje



Predstavnik: CMY/CMYK

Kako konvertovati RGB u Grayscale?

1. Srednja vrednost *RGB* komponenti:

$$Y = \frac{(R + G + B)}{3}$$



Kako konvertovati RGB u Grayscale?

2. Metod perceptivne osvetljenosti:

$$Y = 0.299 \cdot R + 0.587 \cdot G + 0.114 \cdot B$$

- Ljudska percepција боја nije директно пропорционална интензитету светlosti одређene talasne dužine
- To je zato što se број ћелија осетљивих на одређене таласне дужине razlikuje (60% зелена боја, 30% crvena, 10% plava)



Video

