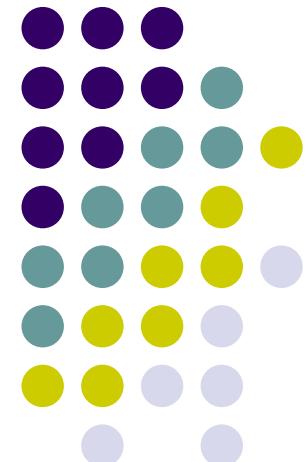


Obrada informacija

Uvod

Sven Lončarić
Damir Seršić

<http://www.fer.hr/predmet/obrinf>





Pregled tema

- Obrada informacija
- Primjene obrade signala
- Primjene obrade slike
- Praktične demonstracije



Informacije

- U okviru ovog predmeta pod pojmom informacija podrazumijevamo:
 - tekst
 - zvuk, govor, muzika,
 - slika, volumen (3-D slika) i
 - video (2-D i 3-D)



Informacije i mediji

- Informacije su temelj funkciranja civilizacije
- Mediji su sredstvo za pohranu i prijenos informacija (npr. medij: novine – informacije: tekst i slike)
- Mediji postoje već tisućama godina i služe za pohranu i prijenos informacija (npr. spiljsko slikarstvo, kamene ploče, papirus, knjige)
- Novi elektronički mediji omogućuju nove načine za obradu, prijenos i pohranu informacija



Pojam multimedija

- Multi-medij je medij koji predstavlja više različitih vrsta informacija kao što su tekst, govor, slika i video (za čiji prikaz bi inače trebalo više klasičnih medija)
- Predstavljanje multimedija u elektroničkom obliku omogućuje efikasnu obradu, prijenos i pohranu



Aspekti rukovanja informacijama

- Akvizicija informacija
- Obrada informacija
- Analiza i razumijevanje informacija
- Prijenos informacija
- Pohrana (arhiviranje) informacija



Akvizicija informacija

- Akvizicija informacija može se provoditi na puno načina:
 - Mjerenjem procesa u prirodi (temperature, tlak zraka, itd)
 - Snimanjem biomedicinskih signala i slika (EKG, CT, MR)
 - Mjerenjem signala u industrijskom procesu
 - Snimanjem govora ili muzike
 - Snimanjem fotografija ili videa ili dohvatom na WWW
 - Prikupljanjem paketa podataka u komunikacijskoj mreži
 - Prikupljanjem teksta (E-mail poruke, web stranice)



Akvizicija informacija

- Zavisno od vrste informacije mijenjaju se zahtjevi na potrebnu sklo povsku i programsku opremu:
 - Za razne vrste signala potrebni su razni senzori (za zvuk, sliku, temperaturu, itd)
 - Za analogne veličine potrebna je A/D konverzija
 - Za slike potrebna je kamera (u kojoj se nalazi CCD ili CMOS senzor)
 - Za video potrebna je video kamera koja snima niz slika



Kontinuirani i diskretni signali i slike

- Vremenski kontinuirani signal je funkcija $f(t)$, gdje je t vremenska varijabla
- Vremenski diskretni signal je funkcija $f(k)$, gdje k cjelobrojni indeks koji predstavlja vrijeme

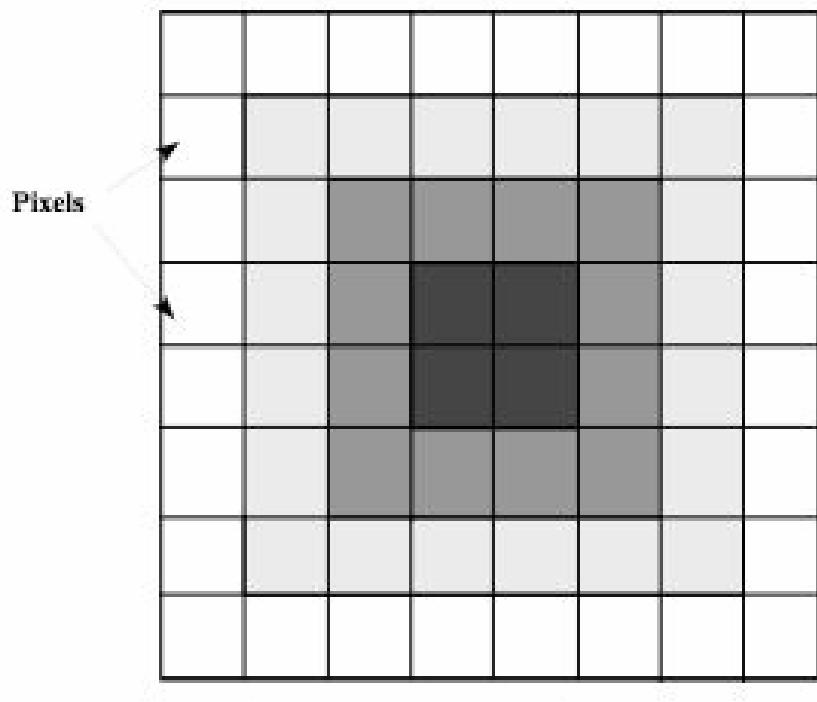


Otipkavanje signala

- Otipkavanjem (ili uzorkovanjem) se od vremenski kontinuiranog signala dobiva diskretni signal
- Uniformno otipkavanje je kad uzmemo uzorke signala $f(t)$ u trenucima $t = kT$, gdje je T period otipkavanja
- Npr. digitalni audio na CD-u je otipkan frekvencijom od 44,1 kHz (jedan uzorak svake 22,6 μs)



Otipkavanje slika



- Najčešće se koristi uniformno otipkavanje gdje su uzorci slike (pikseli) u pravokutnom rasporedu
- Prostorna frekvencija = broj uzoraka po jedinici duljine
- Frekvencija otipkavanja u x i y smjeru



Kvantizacija vrijednosti

- A/D konverzija je proces gdje se analogna (kontinuirana) vrijednost pretvara u binarni broj
- Svaki kanal digitalnog audio signala na CD-u prikazan je sa 16 bitova/uzorku
- Kod slika često se koristi prikaz sa 8 bitova/pikselu
 - Kod crno bijelih slika koristi se 8 bitova/pikselu
 - Kod slika u boji koristi se 24 bitova/pikselu (kod RGB prikaza to je 8 bitova/pikselu za svaku boju)



Definicija obrade signala (slike)

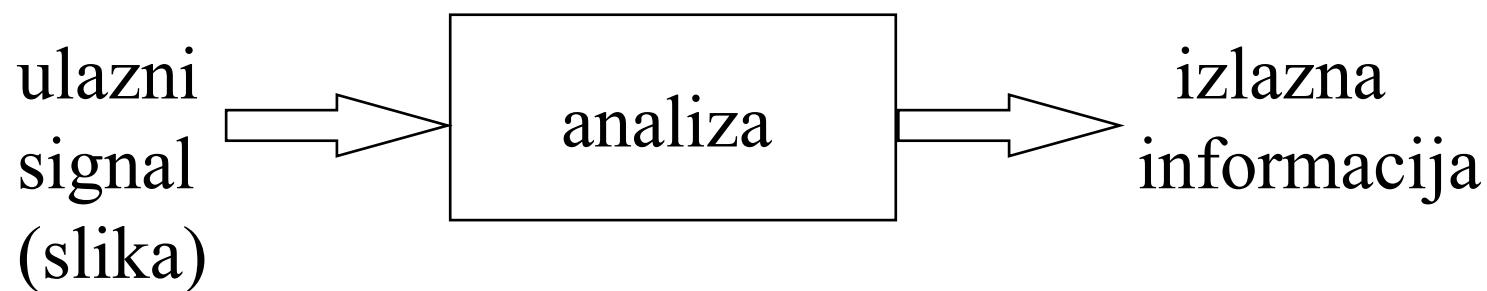
- Digitalna obrada signala ili slika = podvrgavanje numeričkih reprezentacija objekata seriji operacija s ciljem postizanja željenog rezultata
- Karakteristika: signal (slika) je na ulazu i na izlazu





Definicija analize signala (slike)

- Digitalna analiza signala ili slike = proces koji iz signala ili slike dobiva nešto različito od signala ili slike s ciljem dobivanja (ekstrakcije) informacija iz slike
- Karakteristika: ulaz je signal ili slika





Primjene obrade signala

- Digitalna obrada signala ima brojne primjene - gdje god je neku informaciju moguće prikazati kao niz brojeva
- Primjeri primjena su:
 - Digitalni audio (Compact Disc)
 - Mobilna telefonija (GSM)
 - Biomedicina
 - Sinteza i analiza govora



Compact Disc

- Najveći izum u audio tehnologiji nakon Edisonovog cilindra za snimanje zvuka (Philips-Sony izum)
- CD sadrži niz novih tehnologija:
 - Digitalno predstavljanje signala
 - Optičko čitanje (nema trošenja diska)
 - Korekcija pogrešaka u čitanju s diska
- Omogućuje visoku kvalitetu zvuka
- Visoka gustoća pakiranja informacije 1 milion bitova/mm² (Edisonov cilindar 100 bitova/mm²)
- Postoji niz drugih aplikacija CD-a



Compact Disc

- Audio signal predstavljen sa dva 16-bitovna uzorka (dva kanala) otipkanih frekvencijom od 44.1 kHz
 - Player daje 1.41 Mb/s na izlazu
 - Količina bitova upisanih na CD je još veća zbog redundantnog kodiranja za korekciju pogrešaka (4.32Mb/s)
 - 783 MB korisničke informacije za 74 minute
- Najuspješniji elektronički proizvod ikad napravljen
 - Godišnje se prodaje oko milijardu CD-a
- Literatura: Ken C. Pohlmann, Principles of Digital Audio, Google Books Search (tekst dostupan online)



Obrada signala u CD player-u

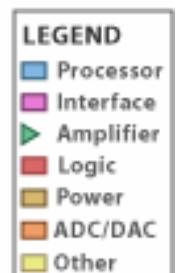
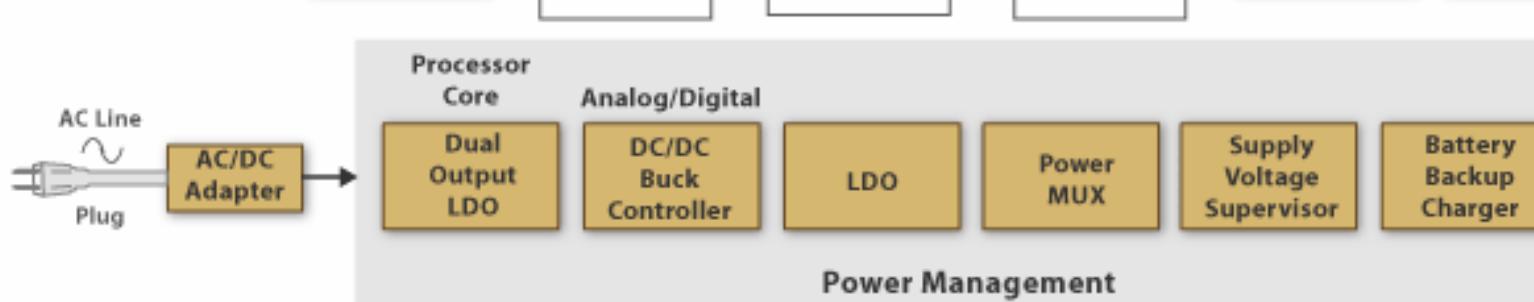
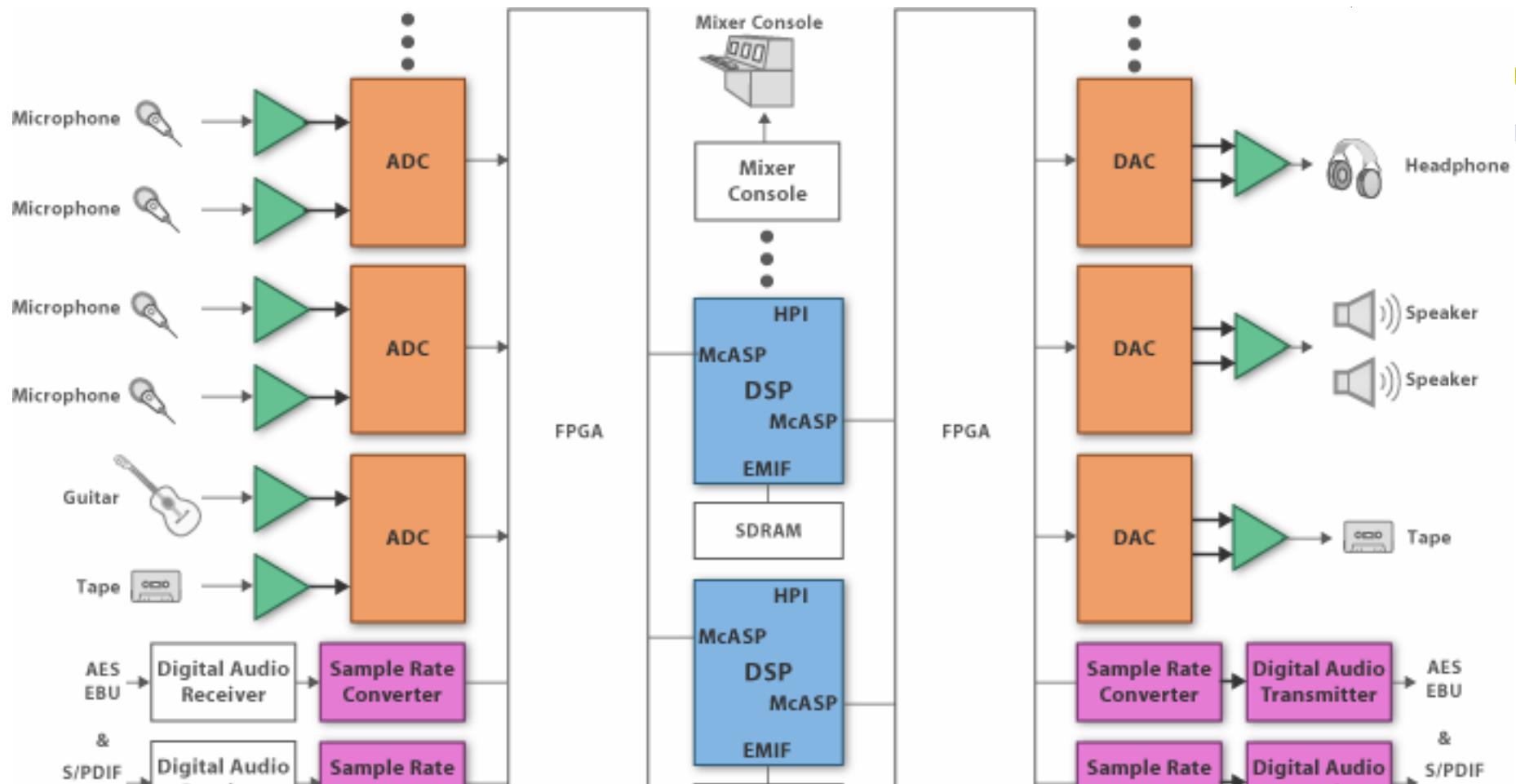
- Laserski snop čita niz bitova sa CD-a
- Zbog oštećenja medija može biti i pogrešaka pri čitanju zato se koristi modulacija koja omogućuje korekciju pogrešaka
 - Provodi se demodulacija koja uklanja pogreške
- Nakon toga provodi se dekodiranje da se dobiju konačni izlazni digitalni uzorci
- D/A konverzijom se dobiva analogni zvučni signal
 - Tu postoje razne tehnike D/A konverzije kao npr. sigma-delta D/A konverzija



Digitalni audio mikser



- Ulazi za mikrofone, instrumente, itd.
- Pretvorba analognog signala u digitalni
- Digitalna obrada signala
- Upravljanje pomoću računala ili pomoću kontrola na mikseru





Višekanalni digitalni audio

- “Surround” formati za prikaz zvuka
 - Koderi i dekoderi koriste naprednu digitalnu obradu signala
 - Načini kodiranja kojim se 6 (ili više) audio kanala prikazuje pomoću niza bitova
- Dolby Digital 5.1 (AC3)
 - Pet kanala s opsegom 20-20.000 Hz
 - Jeden kanal opsega 20-120 Hz (za subwoofer)
- DTS (Digital Theatre System)
 - Konkurentni standard za DD5.1



GSM

- Digitalna obrada signala je temelj mobilne telefonije
- GSM - Global System for Mobile Communications
- Pri širenju radio signala dolazi do višestrukih refleksija (npr. od visokih zgrada)
 - Primljeni signal je suma više reflektiranih signala
 - Problem se rješava periodičkim emitiranjem niza bitova koji služe za ekvalizaciju radio kanala
 - Postupak se zove multipath ekvalizacija i radi se pomoću digitalnog filtra koji poništava efekte refleksije



GSM

- Automatska kontrola snage predajnika zavisno od jačine primljenog signala
 - Na taj način postiže se produljenje života baterije
- Kodiranje govora
 - Govorni signal sa mikrofona je potrebno kodirati tako da se postigne maksimalna kvaliteta zvuka uz dani broj bitova/s
- Dekodiranje govora
 - Na prijemnoj strani niz bitova treba dekodirati da bi se dobio niz riječi koje se šalju na D/A konvertor za slušalicu



HD digitalna televizija

- Video komunikacijski sustavi
- Trend: novi standardi za digitalnu TV koji omogućuju višu kvalitetu slike (npr. DVB-T, DVB-S, DVB-S2)
- HDTV – 1920x1080 piksela
- Obrada slike je temelj za kodiranje i dekodiranje slike i zvuka
 - MPEG-2 za video
 - MPEG 4 za video
 - AC3 za audio



Adaptivno uklanjanje buke

- Problem: Uklanjanje buke iz pilotske kabine
 - Buka mlaznog motora do 140 dB, govor pilota 30 dB
 - Govorna komunikacija nije moguća bez poništavanja buke
 - Buka motora nije konstantna nego ovisi o režimu leta
 - Poništavanje buke mora biti adaptivno, mora ovisiti o buci



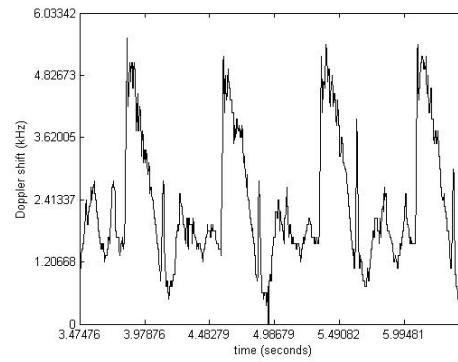
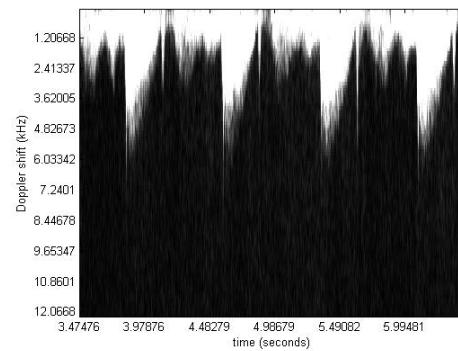
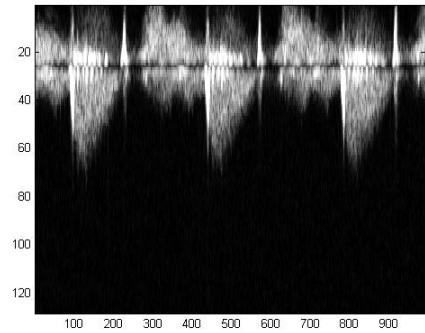
Adaptivno uklanjanje buke



- Slušalice koje poništavaju šum
 - Mikrofon mjeri vanjsku buku
 - Algoritmi za adaptivno filtriranje korigiraju originalni zvuk dodatnim signalom koji poništava vanjsku buku
 - U praksi neke vrste buke se poništavaju bolje, a neke lošije



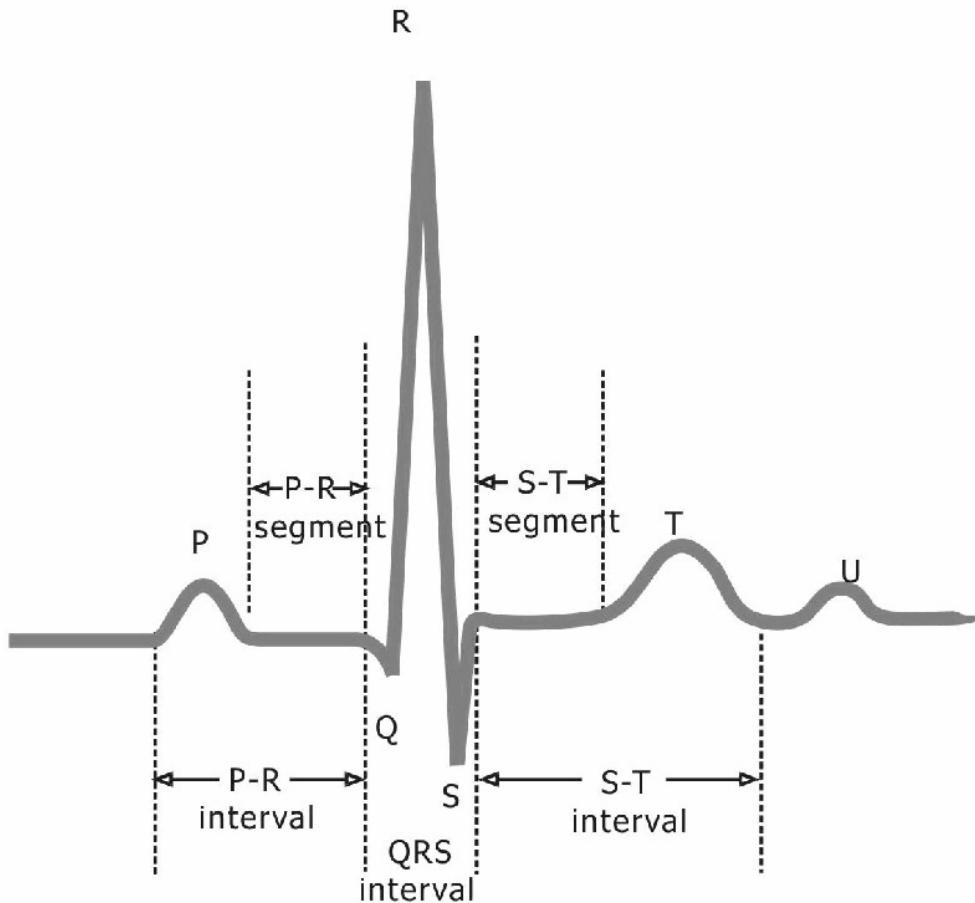
Obrada signala u biomedicini



- Analiza signala brzine krvi u aorti izmjerena ultrazvukom
- Cilj: dijagnostika bolesti srca



Analiza EKG signala



- Analiza EKG signala radi dijagnostike
- Predikcija opasnih stanja u radu srca (npr. fibrilacija srčanog mišića)
- Pacemaker dizajn



Višedimenzionalni signali - slike

- Slika je dvodimenzionalni signal
 - Prostorno kontinuirana slika $f(x,y)$
 - Prostorno diskretna slika $f(i,j)$
- U praktičnim realizacijama na računalu obično se koriste diskrete reprezentacije (slično kao kod 1-D digitalne obrade signala)
- Volumen je trodimenzionalni signal $f(i,j,k)$, gdje su i, j i k prostorne koordinate



Višedimenzionalni signali - video

- 2-D video je niz slika $f(i,j,k)$ gdje su i i j diskretne prostorne koordinate, a k diskretno vrijeme – dakle sveukupno 3-D signal
- 3-D video je niz volumena koji se dobije npr. snimanjem CT ili MRI u medicini
- 3-D video je 4-D signal (3 prostorne koordinate i jedna vremenska koordinata)



Povijest

- Bartlane cable picture transmission system
- Prijenos slike između Londona i New Yorka
- Rane dvadesete godine ovog stoljeća
- Povećanje brzine s tjedna na par sati
- Kodiranje na predajnom kraju
- Tiskanje na specijalnom pisaču na prijemnom kraju (pomoću polutonova)



Bartlane sistem za prijenos slike

- Slaba kvaliteta slike
- Pet sivih nivoa (kasnije povećano na 15)





Bartlane sistem za prijenos slike

- Primjer slike dobivene 15-tonskom opremom





Razvoj obrade slike

- Poznato je da za razvoj bilo kojeg područja postoje tri osnovna preduvjeta:
 - Teorija (predstavlja temelj za praktične metode)
 - Alati (npr. digitalna računala)
 - Dobre primjene (preduvjet za financiranje, npr. istraživanja svemira, vojne primjene)
- Karakteristika obrade slike je zahtjevnost s obzirom na potrebnu procesnu moć računala



Praktični problemi

- Područje je izuzetno zanimljivo s puno primjena:
 - Reprezentacija (predstavljanje) slike
 - Poboljšanje slike
 - Obnavljanje slike
 - Analiza i razumijevanje slike
 - Rekonstrukcija slike
 - Kompresija slike



Frekvencija otipkavanja



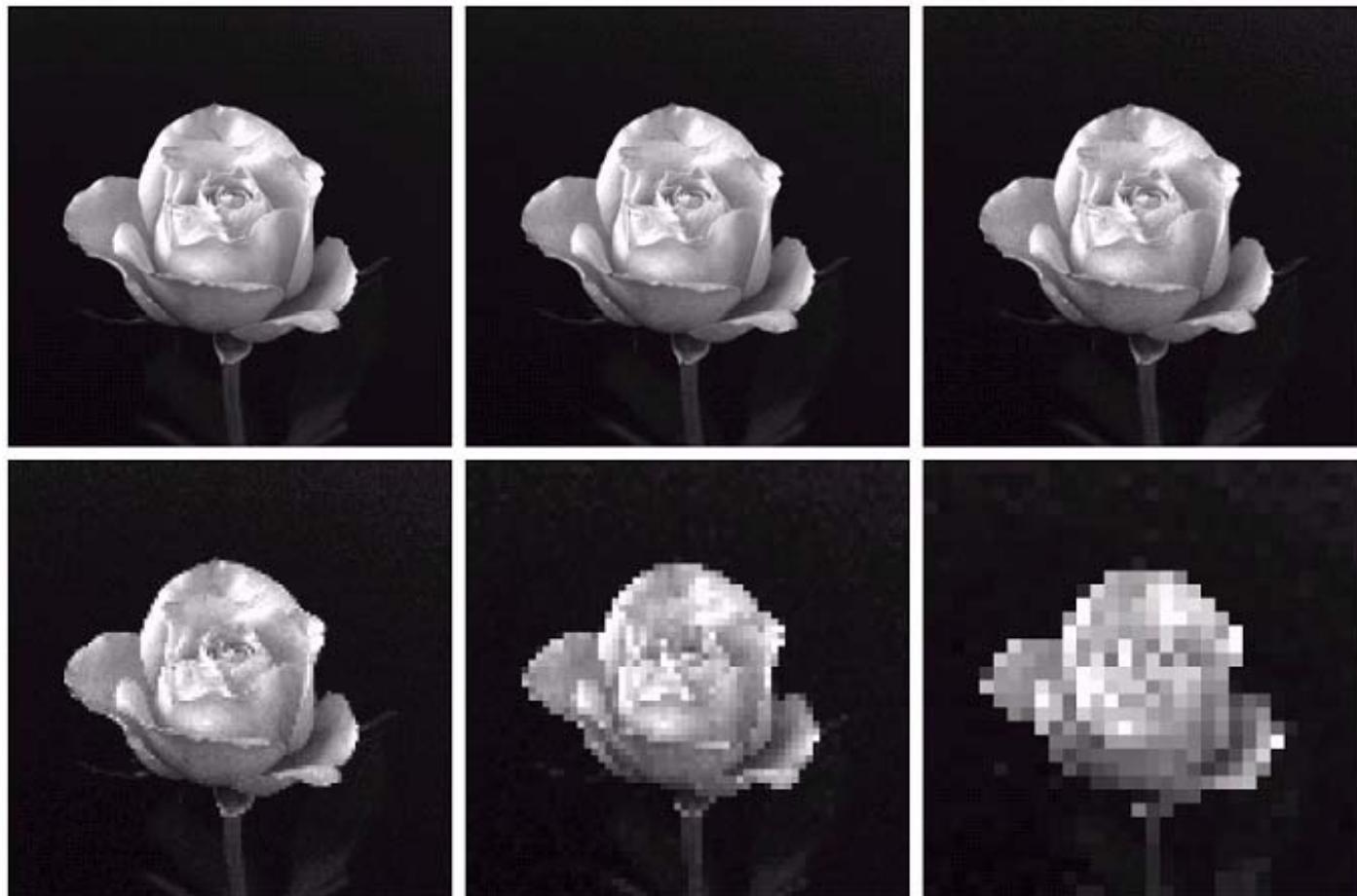
64

32



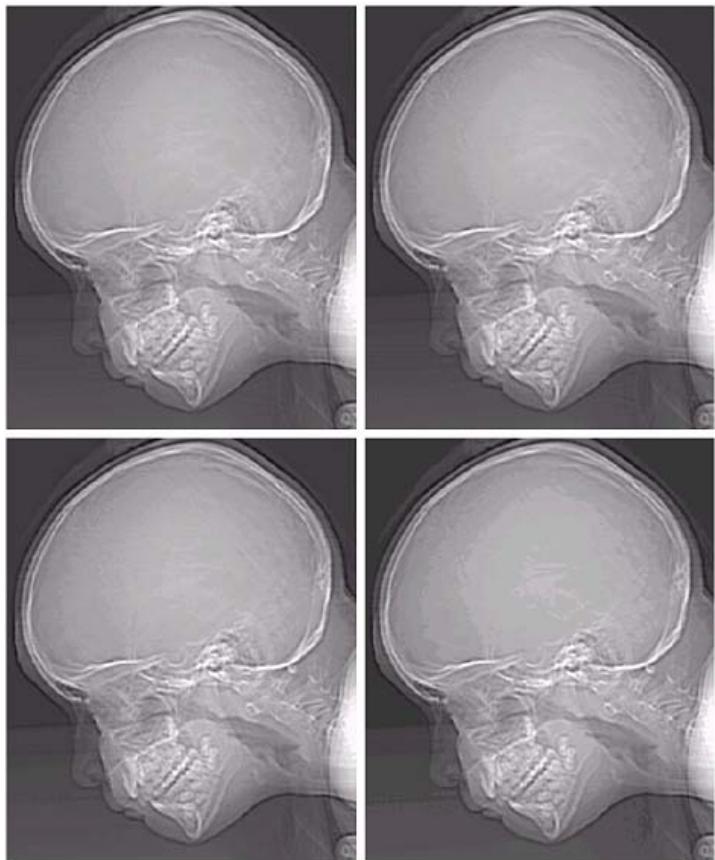
Frekvencija otipkavanja

1024×1024, 512×512, 256×256, 128×128, 64×64, 32×32





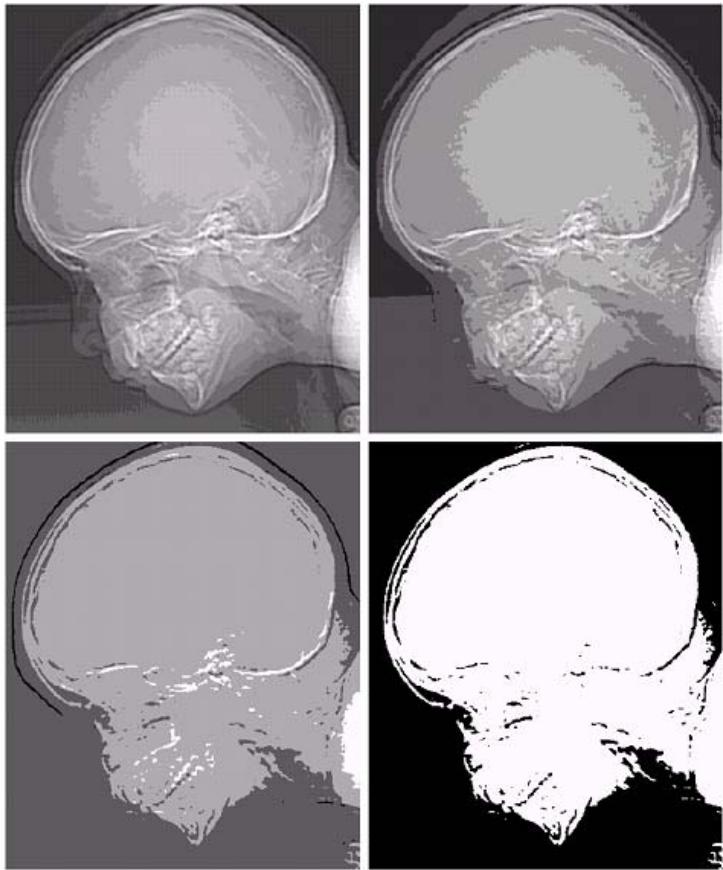
Kvantizacija svjetline



256, 128, 64 i 32
nijanse sive po točki



Kvantizacija svjetline

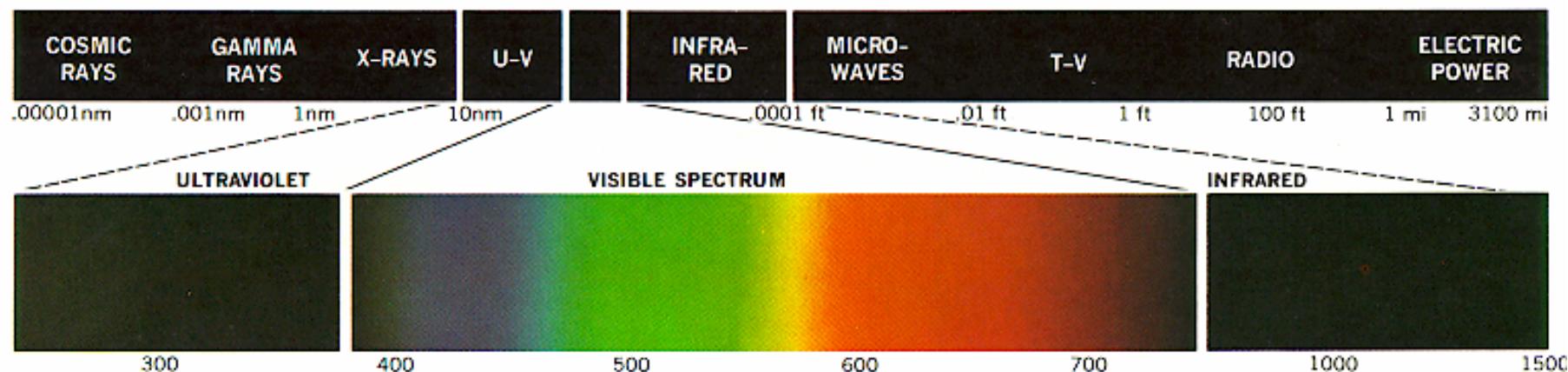


16, 8, 4 i 2
nijanse sive po točki



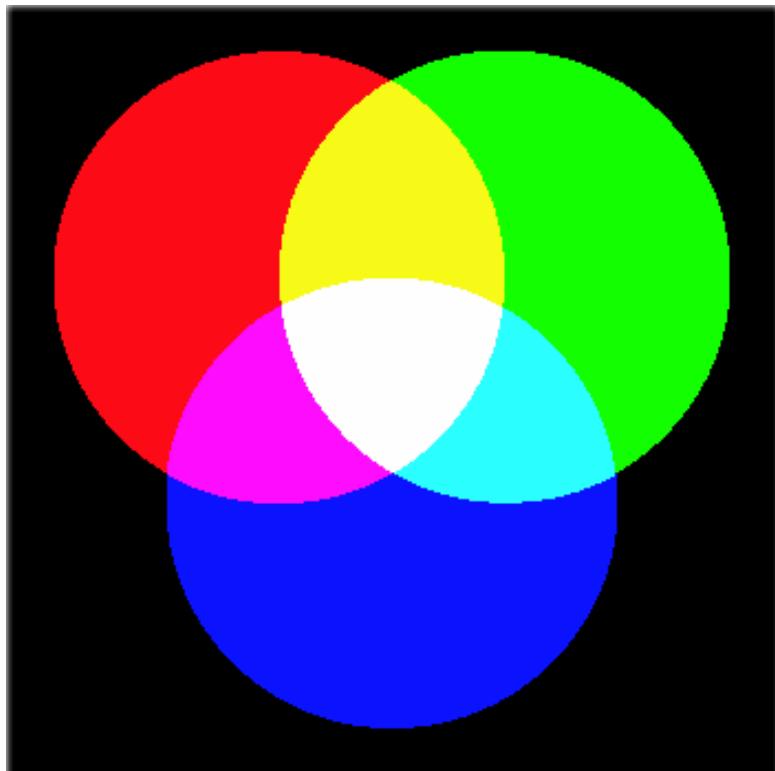
Slika u boji

- Slika u boji je signal koji se sastoji od tri 2D signala koji predstavljaju osnovne boje crvenu (*r*), zelenu (*g*) i plavu (*b*).
- CIE (*International Commission on Illumination*) je 1931. odredila valne duljine primarnih boja crvene 700 nm, zelene 546.1 nm i plave 435.8 nm

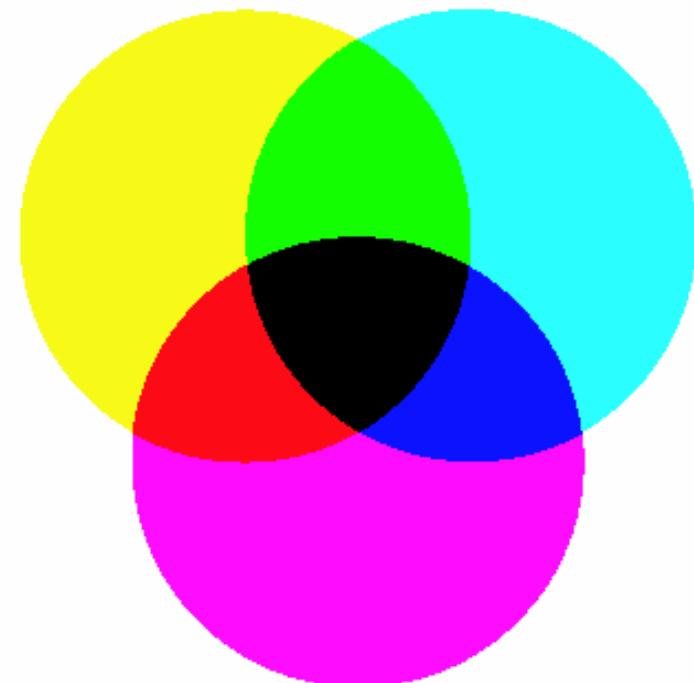




Reprodukcia boje



Aditivno - RGB
(monitor)



Subtraktivno - CMY
(printer)



Slika u boji - primjer

- Tri komponente slike u boji prikazane su ovim primjerom:



crvena



zelena



plava



Slika u boji

- Slika u boji dobiva kombinacijom prethodne tri slike:





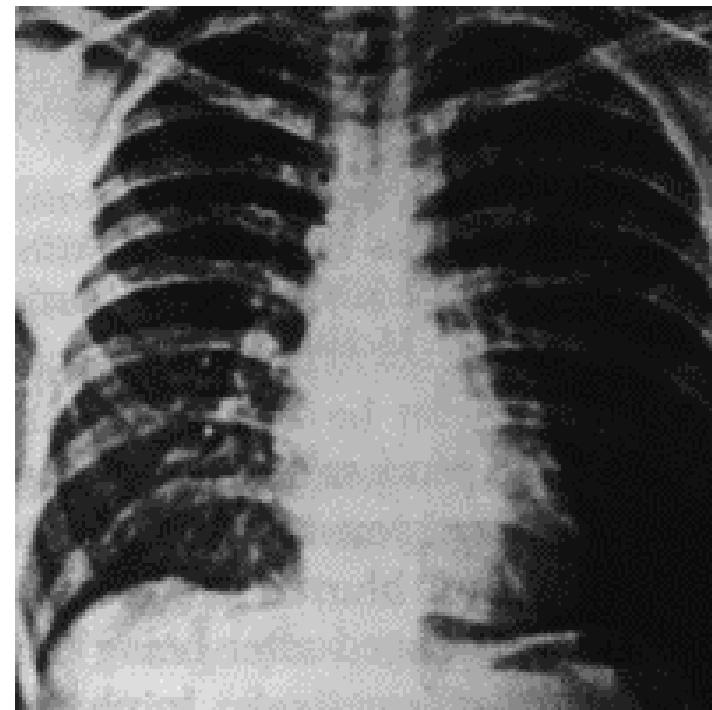
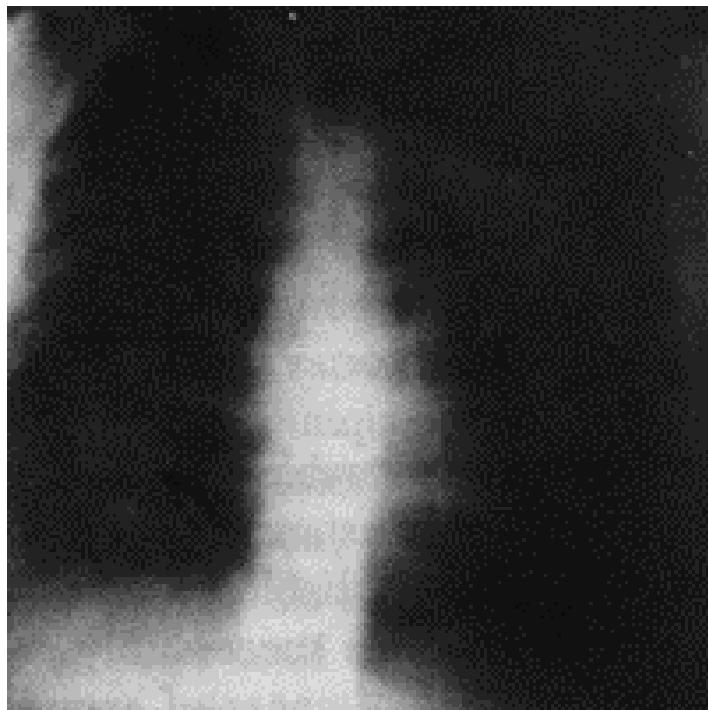
Poboljšanje slike

- Problem: Kako popraviti sliku
- Popraviti neke karakteristike slike (obično na račun ostalih):
 - poboljšanje kontrasta i rubova (contrast and edge enhancement)
 - pseudokoloriranje (pseudocoloring)
 - uklanjanje šuma
 - izoštravanje
- Algoritmi su interaktivni i aplikacijski ovisni



Primjer poboljšanja slike

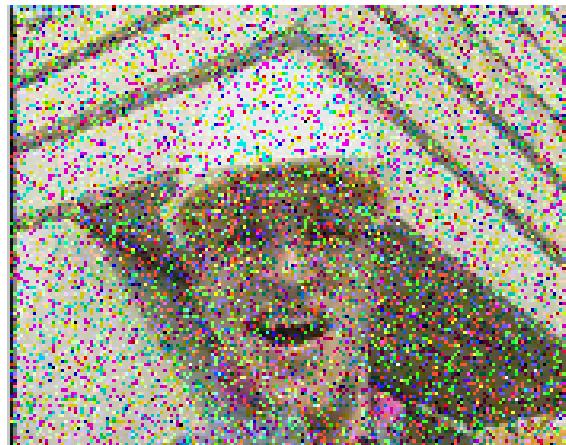
- Poboljšanje kontrasta i isticanje rubova na slici prsnog koša.





Primjer poboljšanja slike II

- Salt & papper šum. Poboljšanje uporabom median filtra.



20% točaka je šum

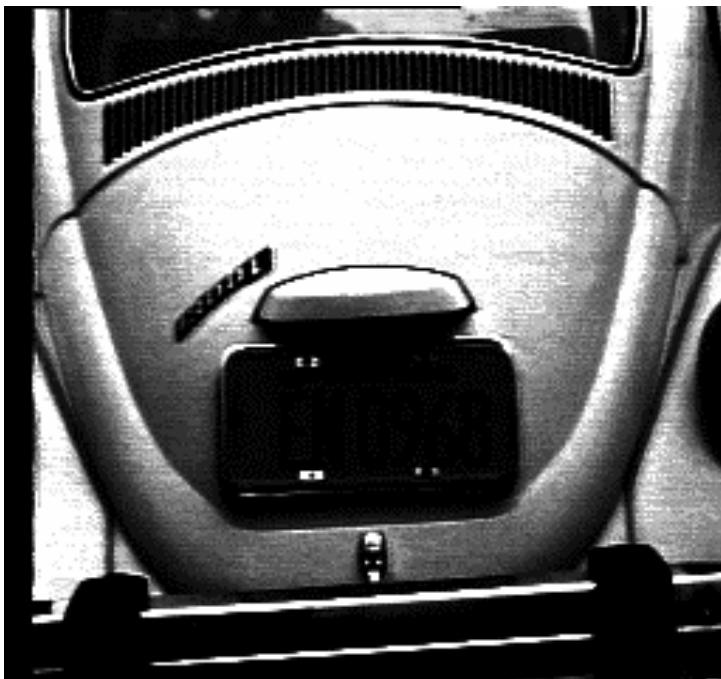


Poboljšana verzija



Primjer poboljšanja slike III

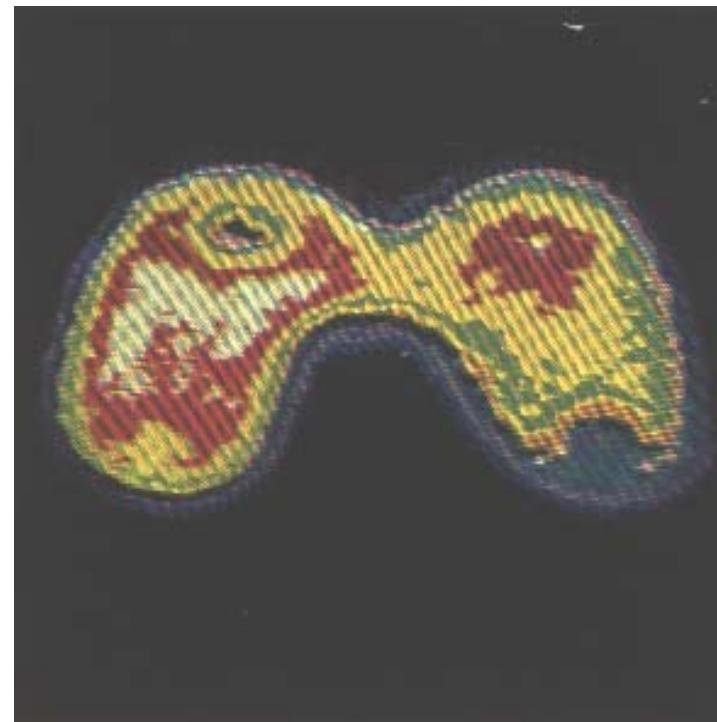
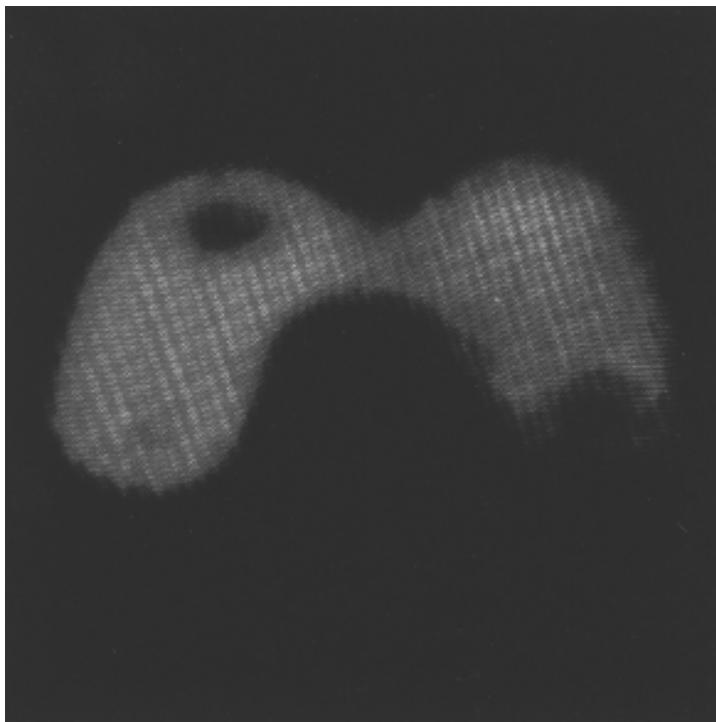
- Sliku možemo poboljšati i operacijama na histogramu.





Primjer pseudokoloriranja

- Koristi se jer ljudi razlikuju daleko više boja nego nijansi sive boje.





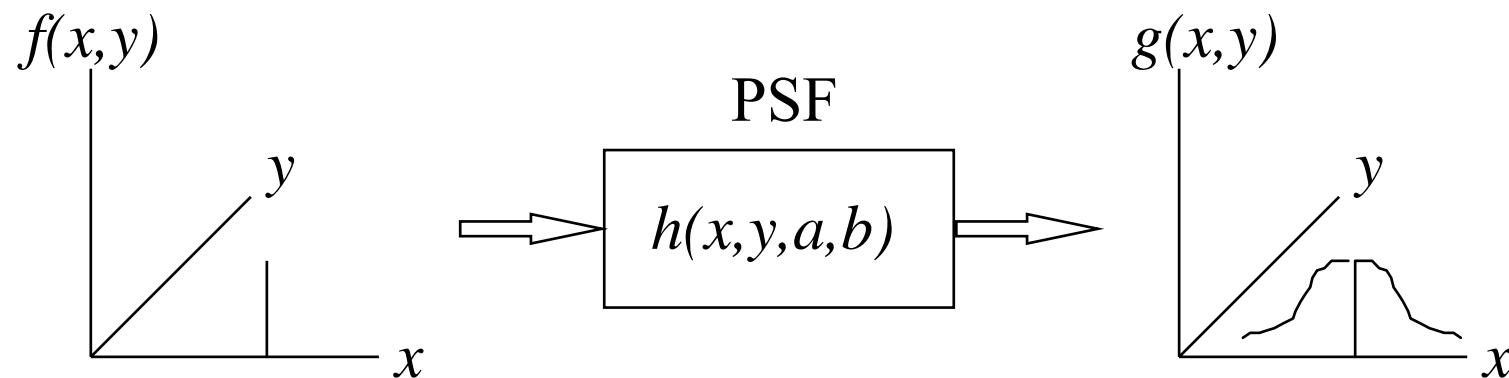
Obnavljanje slike

- Problem: Kako popraviti sliku (ali drugi pristup)
- Pretpostavka: poznat je način (model) kako je slika pokvarena:
 - npr. degradacija od strane senzora ili okoline,
 - zamućenost (loš fokus), geometrijska izobličenja ili nelinearnosti
 - uklanjanje smetnji (šuma)



Problem obnavljanja slike

- Iz zamućene i šumne slike $g(x, y)$ pronaći ocjenu (estimate) originalne slike $f(x, y)$
- Funkcija razmazivanja točke (PSF - point spread function)





Linearni model degradacije

- $f(.,.)$ predstavlja objekt
- $h(.,.,.,.)$ je funkcija razmazivanja (PSF - point spread function)
- $g(.,.)$ je dobivena slika
- $n(.,.)$ je aditivni šum

$$g(x, y) = \iint h(x, y, \alpha, \beta) f(\alpha, \beta) d\alpha d\beta + n(x, y)$$



Primjer obnavljanja slike

- Uklanjanje zamućenosti uslijed jednolikog pomicanja kamere tijekom snimanja.





Rekonstrukcija slike iz projekcija

- Posebna klasa problema obnavljanja slike
- 2-D ili 3-D objekt se rekonstruira iz nekoliko 1-D projekcija
- Svaka projekcija se dobije projiciranjem paralelnih rendgenskih zraka kroz objekt
- Rekonstrukcijski algoritmi daju sliku tankog aksijalnog sloja dajući sliku unutrašnjosti
- Upotreba: medicina (CT, MR), astronomija, radar, geologija, testiranje proizvoda



2D DFT

- 2D diskretna Fourierova transformacija je

$$F(k, l) = \frac{1}{N^2} \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} f[m, n] W_N^{km} W_N^{ln}$$

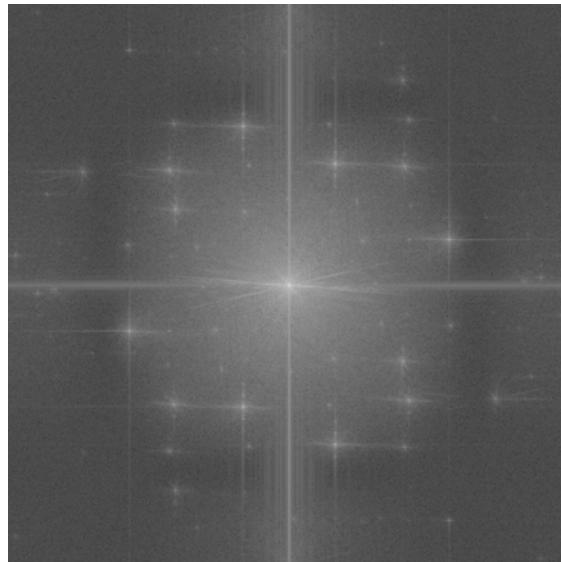
- 2D DFT svodi se na dvije 1D DFT transformacije
 - 1D DFT po stupcima pa 1D DFT po redcima (*row-column*)
 - 1D DFT po retcima pa 1D DFT po stupcima
- 1D DFT ima složenost $O(N \log_2 N)$.
- 2D DFT ima složenost $O(N^2 \log_2 N)$.



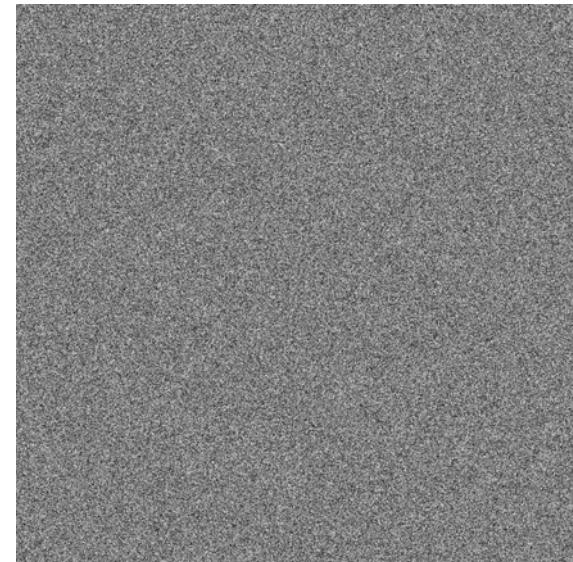
Primjer 2D Fourierove transformacije



originalna slika



amplituda



faza



Kompresija slike i videa

- Slike su memorijski intenzivne
- npr. TV video PAL rezolucije daje podatke brzinom $>10\text{MB/s}$
- Tehnike kompresije pokušavaju smanjiti broj bitova potrebnih za spremanje slike bez ili sa stanovitim gubitkom informacije
- Primjene: arhiviranje slika i dokumenata, prijenos slike, komunikacije



Kompresija slike



Original Lena
8 bitova/točci



Nakon kompresije
Prosječni *bit rate* - 0.5 bitova/točci



2D diskretna kosinusna transformacija

- 1D diskretna kosinusna transformacija je

$$F(k) = \sum_{n=0}^{N-1} f[n] \alpha(k) \cos \frac{\pi(2n+1)k}{2N}$$

$$f[n] = \sum_{k=0}^{N-1} F(k) \alpha(k) \cos \frac{\pi(2n+1)k}{2N}$$

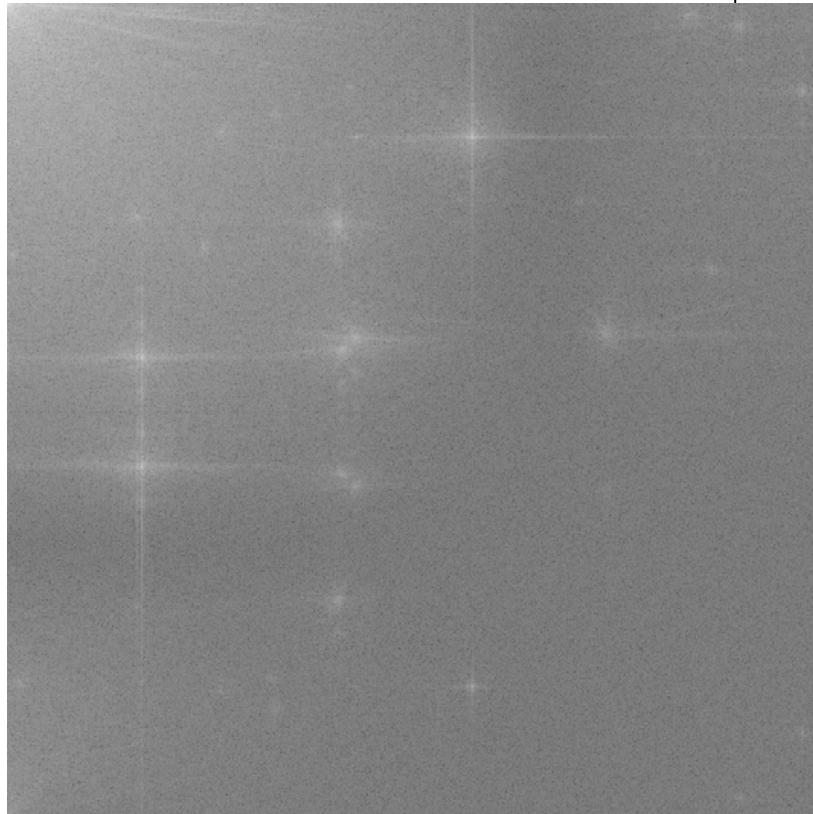
$$\alpha(k) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{N}}, & \text{za } k = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{N}}, & \text{inače} \end{cases}$$

- 2D diskretna kosinusna transformacija je

$$F(k, l) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f[n, m] \alpha(k) \cos \frac{\pi(2n+1)k}{2N} \beta(l) \cos \frac{\pi(2m+1)l}{2M}$$



Primjer 2D DCT



DCT transformacija
amplituda



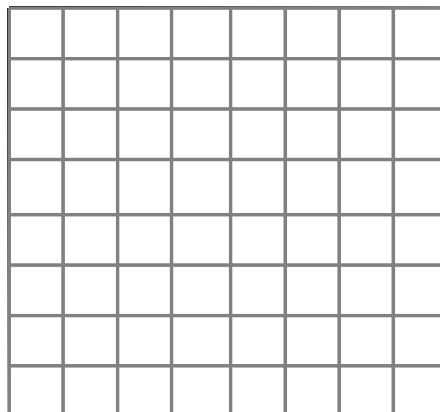
Primjena DCT pri kompresiji slika

- Slika se transformira DCT-om u **blokovima** veličine 8×8 .
- Ovisno o zapamćenom broju koeficijenata dobivamo različite kvalitete pri dekompresiji

Originalna slika



DCT koeficijenti



Rekonstruirana slika



Pogreška



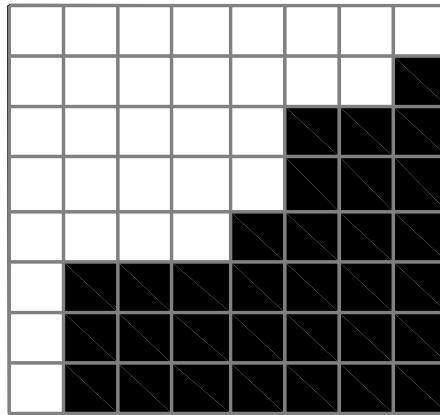


Primjena DCT pri kompresiji slika

Originalna slika



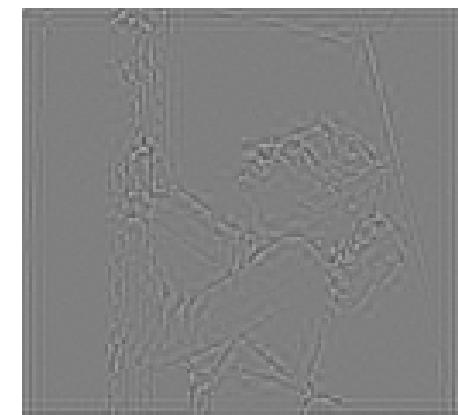
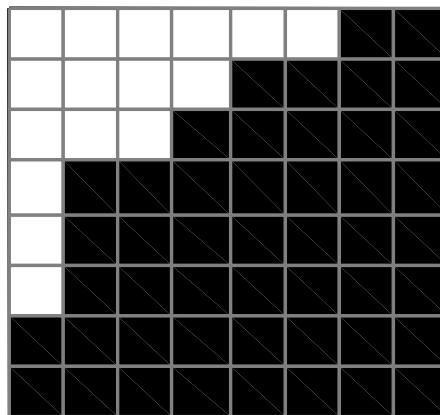
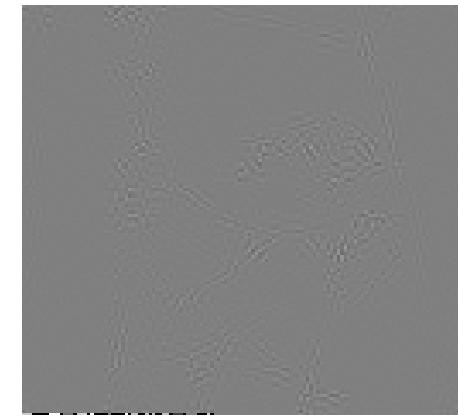
DCT koeficijenti



Rekonstruirana slika



Pogreška



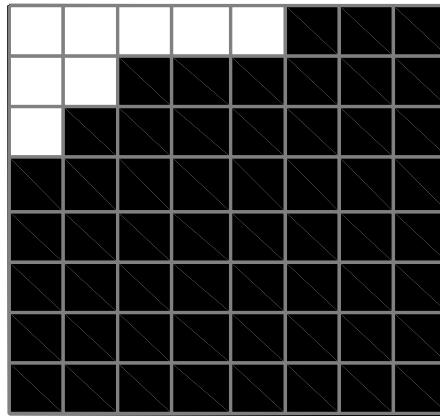


Primjena DCT pri kompresiji slika

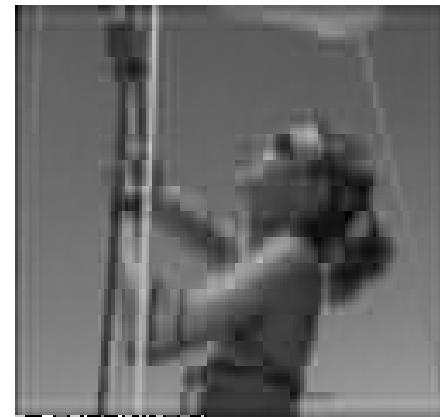
Originalna slika



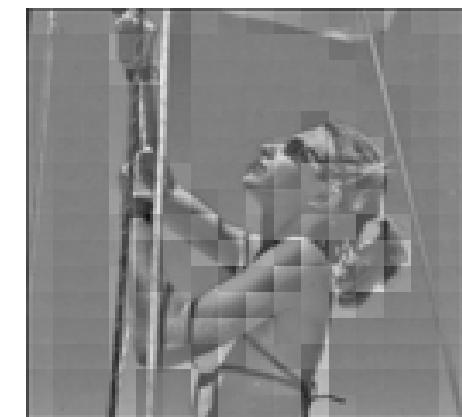
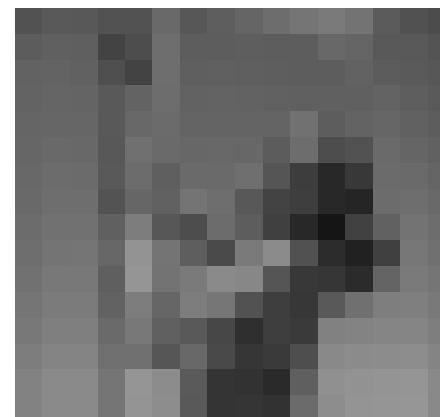
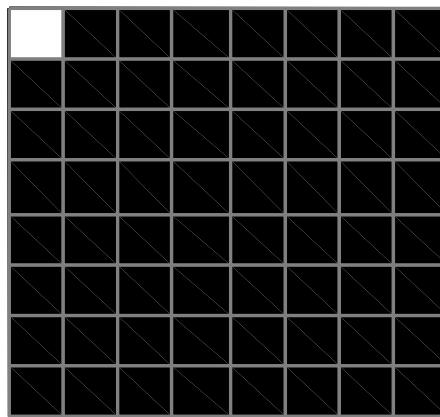
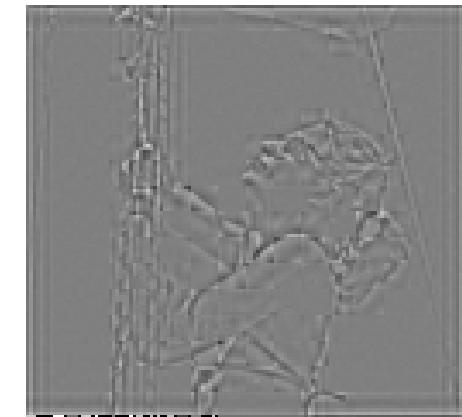
DCT koeficijenti



Rekonstruirana slika



Pogreška





Računalni vid

- Engl. computer vision
- Sustavi za računalni vid pokušavaju računalom riješiti perceptivne zadaće koje ljudi obavljaju u svakodnevnom životu
 - Prepoznavanje osoba i objekata,
 - Čitanje,
 - Kretanje u 3-D okolini i druge složene zadaće
- Računalni vid zahtijeva metode za obradu, analizu i razumijevanje slike



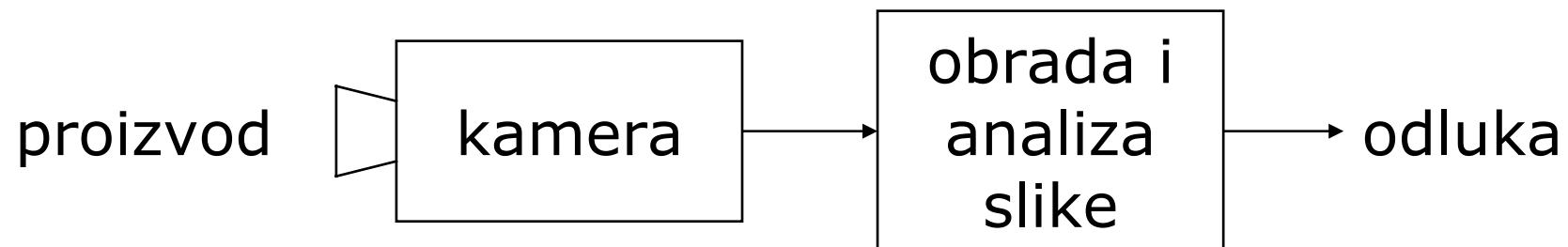
Analiza slike

- Mjerenje (ekstrakcija) informacije iz slike s svrhom dobivanja opisa
- Primjeri:
 - čitanje teksta na naljepnici na artiklu
 - klasifikacija objekata sa proizvodne linije
 - mjerenje veličine i orientacije krvnih zrnaca
 - upravljanje robota
 - upravljanje aviona na osnovu slika prikupljenih tokom leta



Primjene u industriji

- Za industrijsku kontrolu kvalitete tipičan sustav je oblika





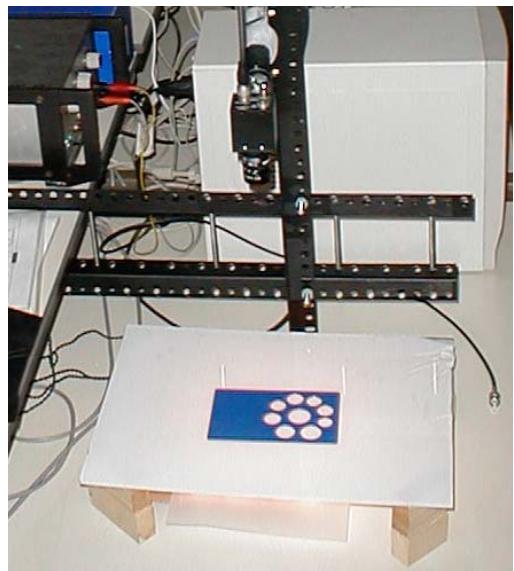
Primjene u industriji

- Nadzor i mjerena proizvodnih procesa
- Vizualna kontrola kvalitete u proizvodnji
- Upravljanje proizvodnih procesa
- Inteligentni strojevi u proizvodnji
- Autonomna vozila
- Robotski vid



Snimanje predmeta

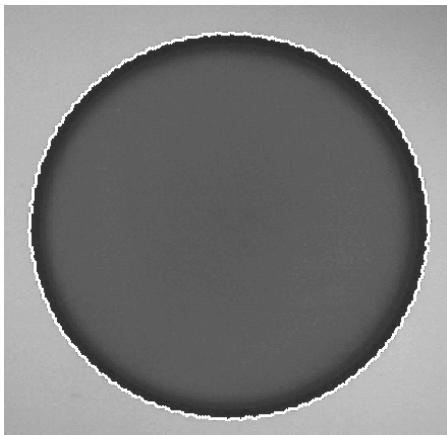
- Slika proizvoda se dobiva u kontroliranim uvjetima
 - *pozadinsko osvjetljenje* (greške oblika)
 - *prstenasto osvjetljenje* (površinske greške)





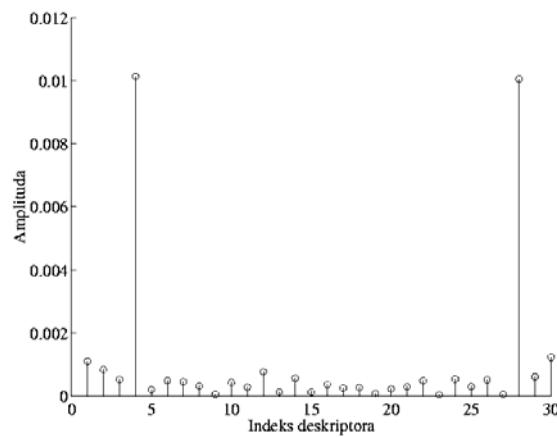
Provjera ispravnosti oblika

Proizvod (*označeni rubovi*)

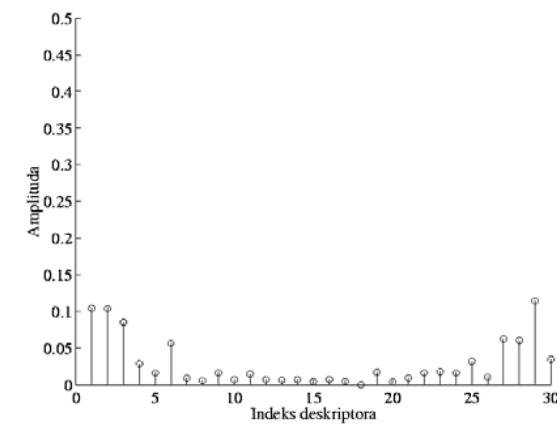
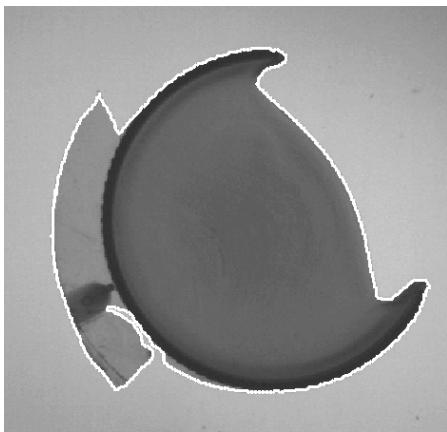


Ispravan

Fourierovi deskriptori



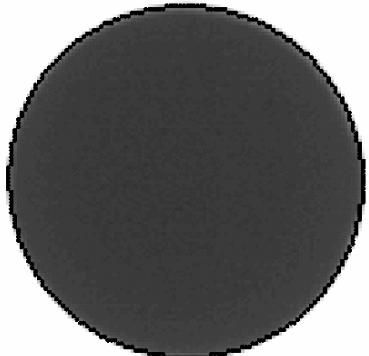
Neispravan





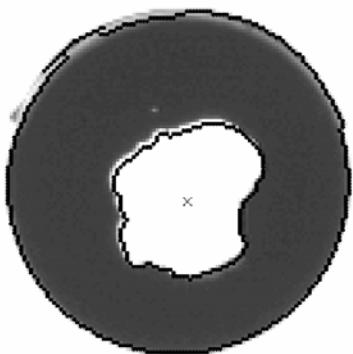
Provjera ispravnosti oblika

Ispravan

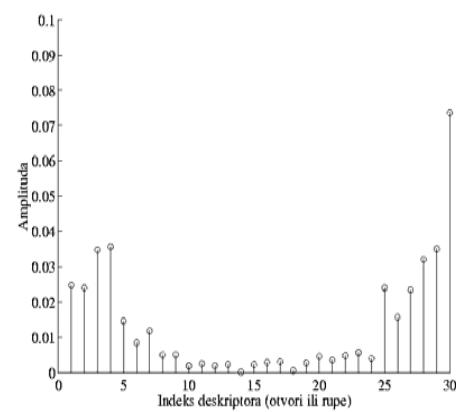
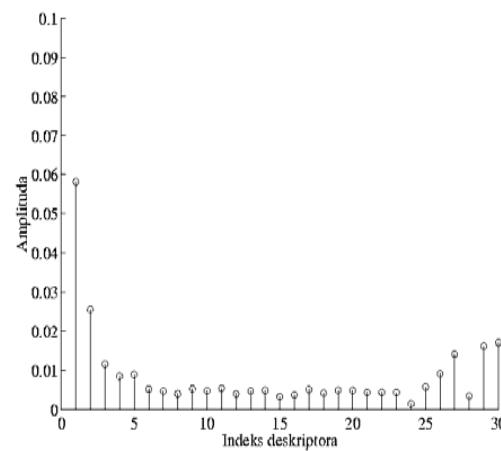
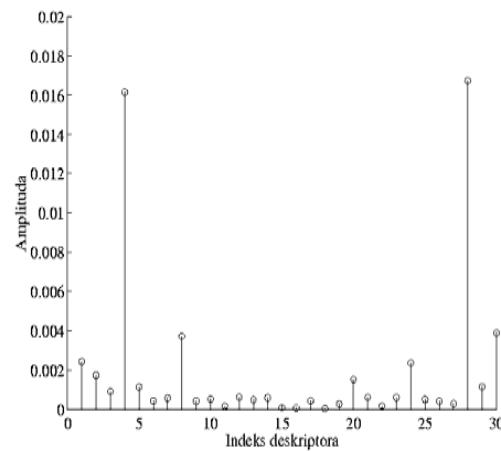


Proizvod

Neispravan



Fourierovi deskriptori

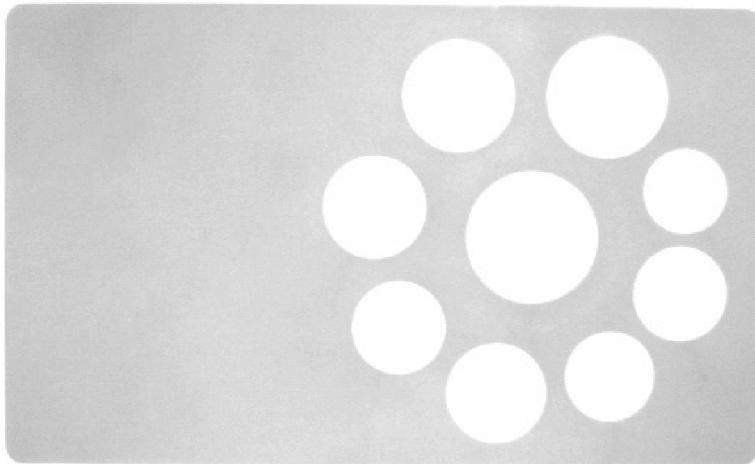




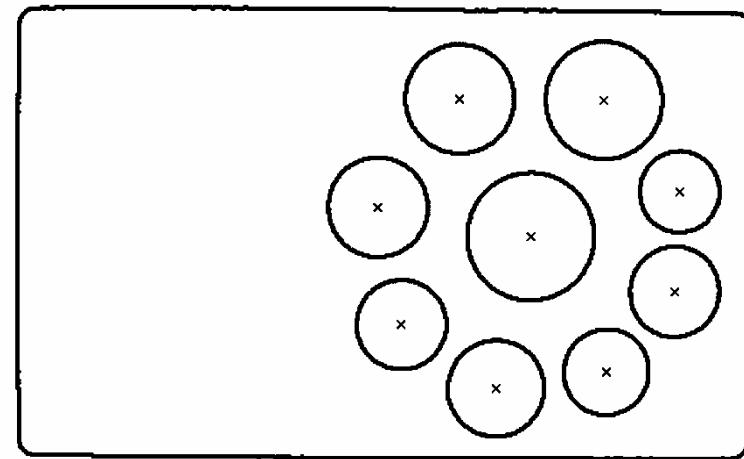
Primjer površinskih grešaka

Proizvod

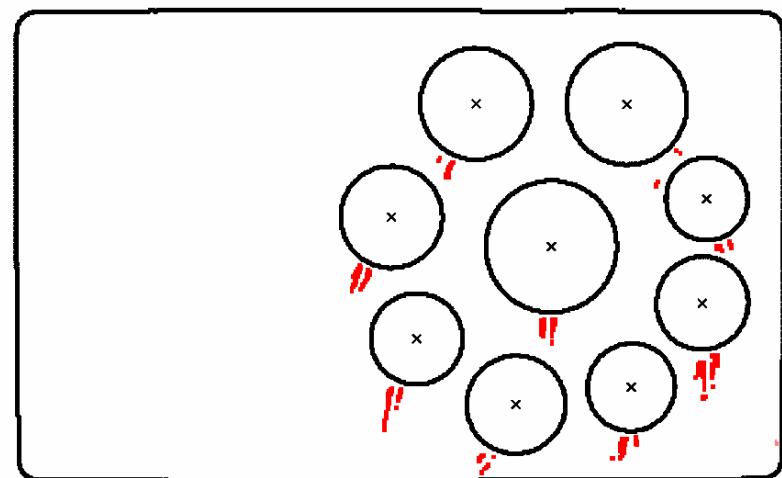
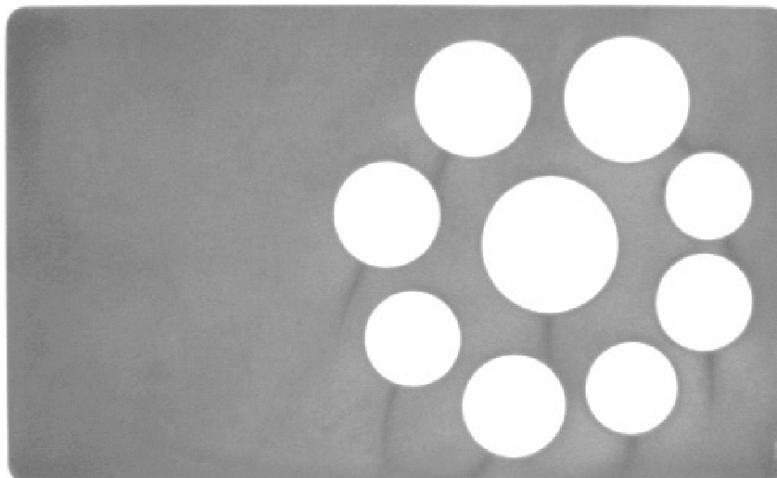
Neispravan



Rezultati analize



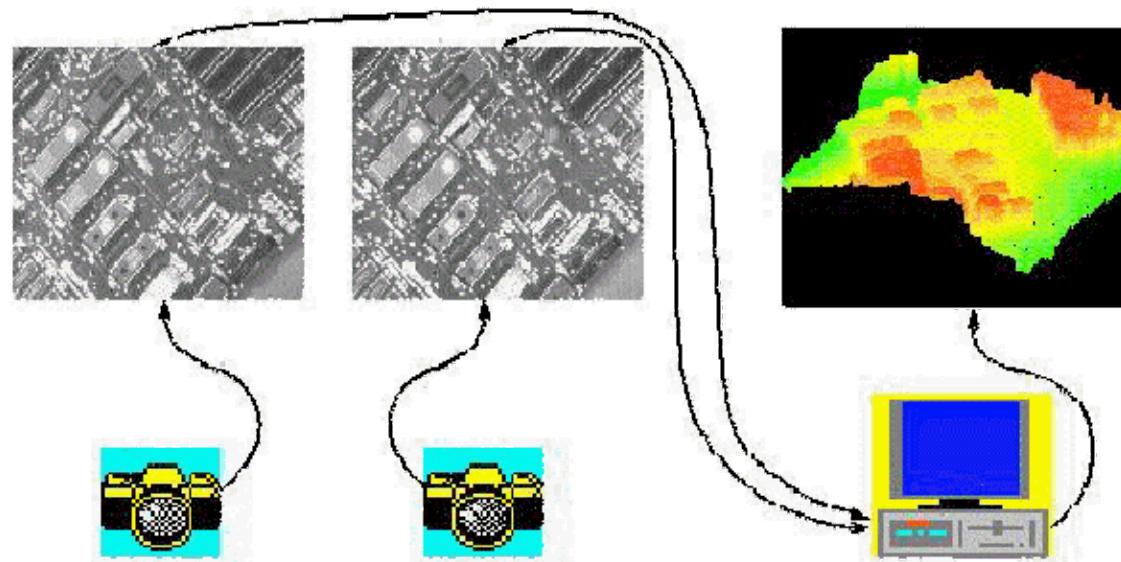
Ispravan





Stereo vid

- Rekonstrukcija 3-D strukture objekata pomoću dvije kamere
- Primjene: Industrijska kontrola kvalitete, navođenje robota





Analiza pokreta u videu

- Problem detekcije pokreta: odrediti da li se neki objekt u slici kreće
- Problem procjene pokreta: za svaku točku u slici odrediti smjer kretanja točke
- Primjene:
 - Segmentacija i praćenje objekata
 - Kompresija videa
 - Sigurnosni nadzor
 - Nadzor prometa
 - Biomedicinske primjene



Detekcija pokreta

- Za danu video snimku treba za svaku točku odrediti da li se ta točka kreće ili ne
- Tipično se promatraju razlike između dvije susjedne slike
- Ukoliko postoji razlika to može biti zbog
 - pokreta ili
 - zbog šuma u slici



Detekcija promjene na slici



Original image



Detected blob



*Minimum bounding
rectangle*

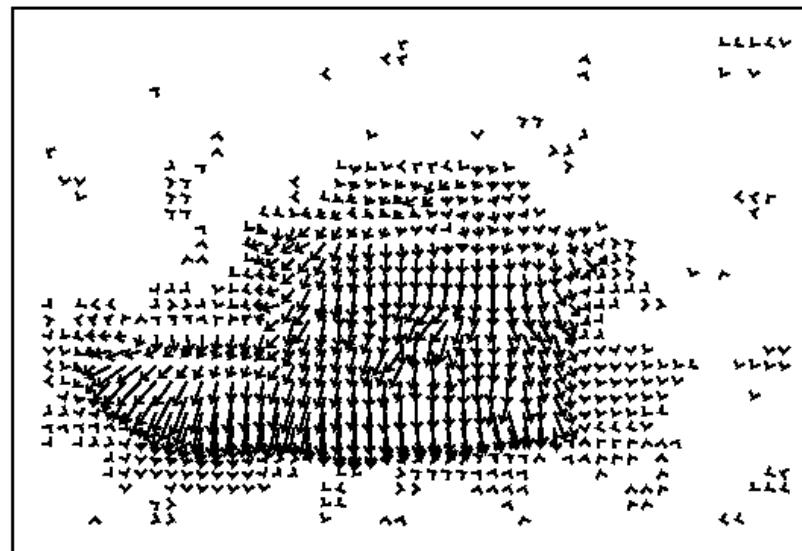


Background image

Omogućuje fokusiranje pažnje (opisano sa kvadratom koji okružuje zanimljivu regiju)

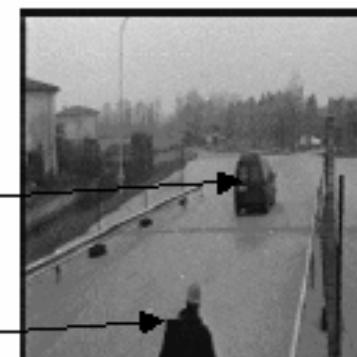
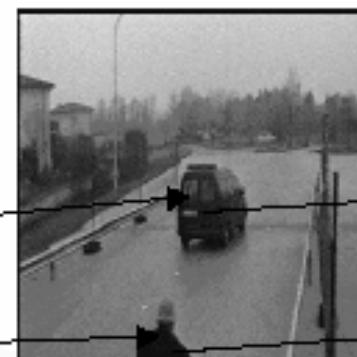
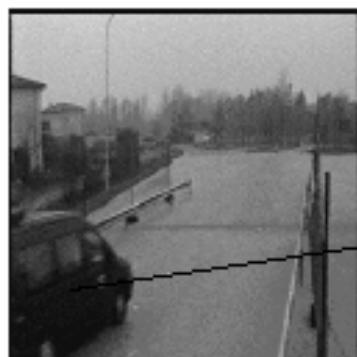
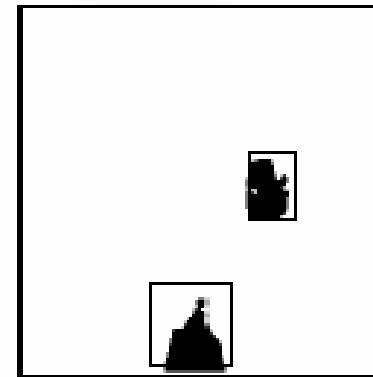
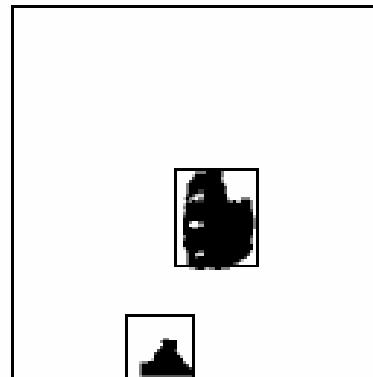
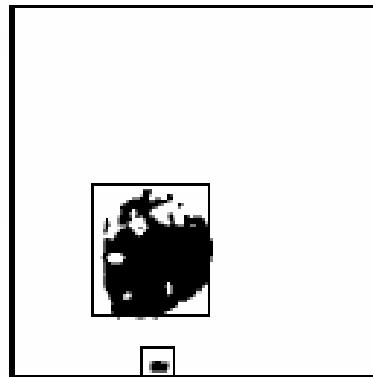
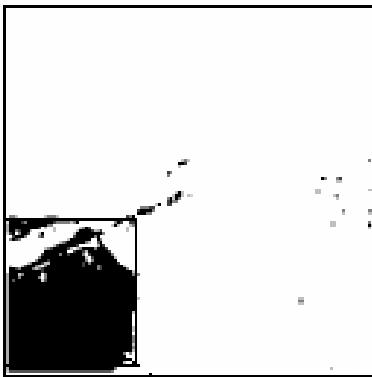


Primjer procjene pokreta



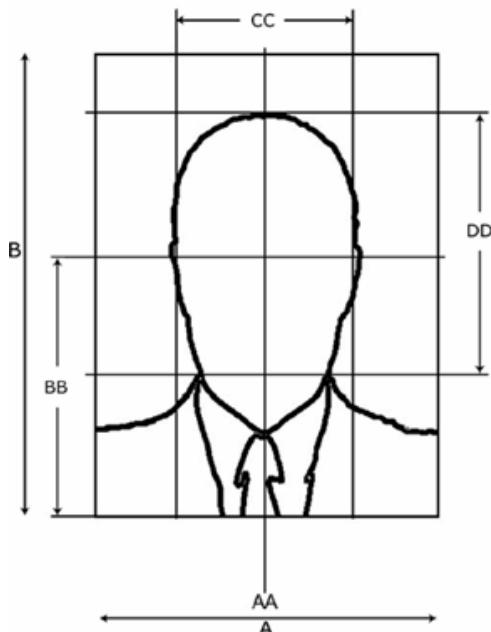


Segmentacija i praćenje





Analiza slika lica



Photograph quality

The photographs must be:

- no more than 6-months old
- 35–40mm in width
- close up of your head and top of your shoulders so that your face takes up 70–80% of the photograph
- in sharp focus and clear
- of high quality with no ink marks or creases

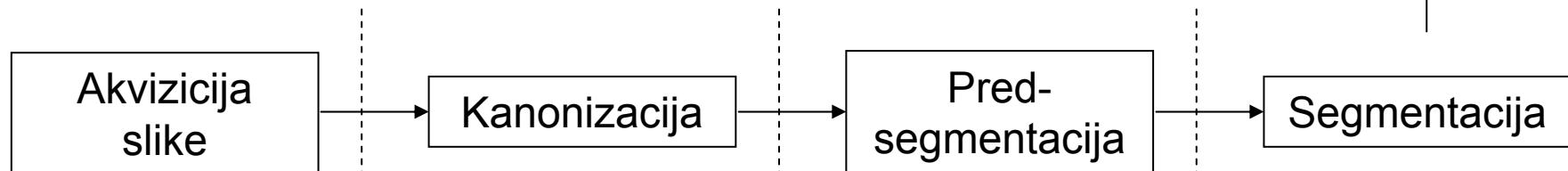
The photographs must:

- show you looking directly at the camera
- show your skin tones naturally
- have appropriate brightness and contrast
- be printed on high quality paper, and at high resolution

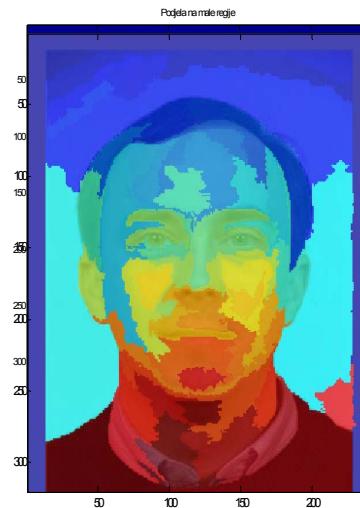
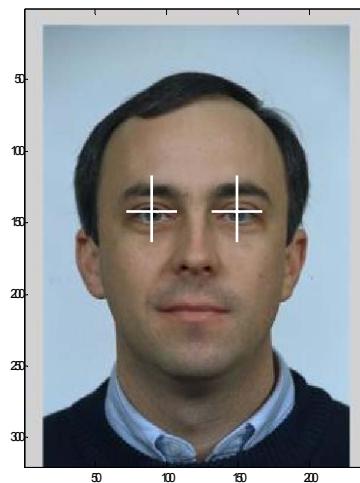
Photographs taken with a digital camera must be high quality colour and printed on photo-quality paper.



Analiza slika lica



Rezultati





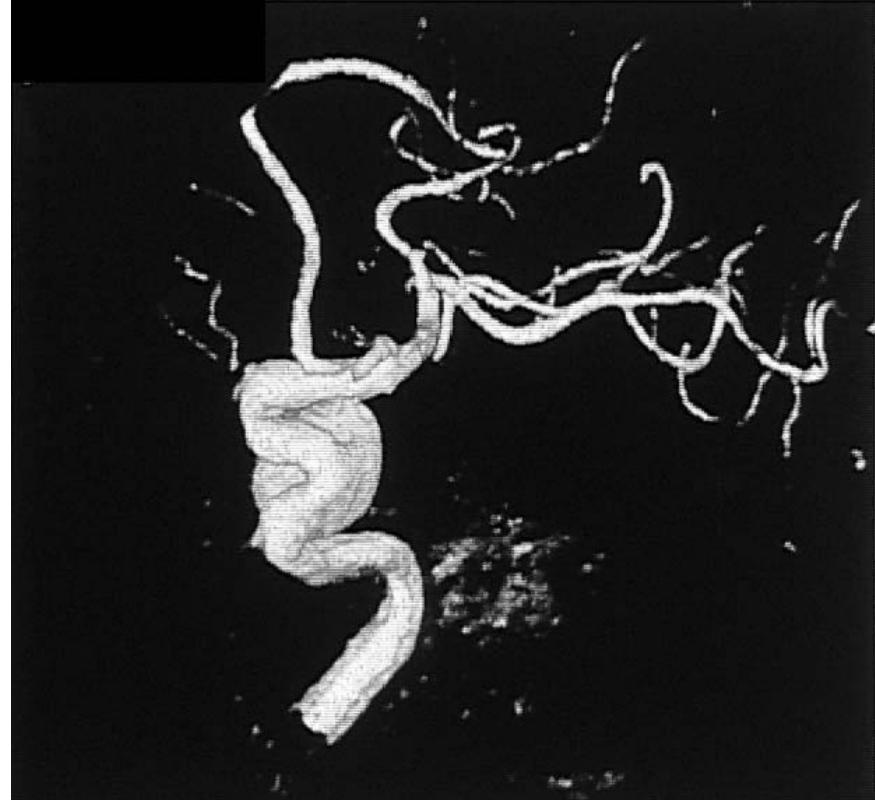
Obrada slika u medicini

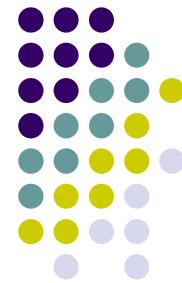
- Slike su dobivene snimanjima npr. pomoću računalne tomografije, magnetske rezonancije ili ultrazvuka
- Poboljšanje kontrasta slika
- Pseudokoloriranje slika za bolju vidljivost
- Rekonstrukcija slika iz projekcija
- Analiza slika (prepoznavanje organa, kvantitativna mjerena, praćenje progresivnih bolesti)
- Registracija slika



Rentgensko snimanje

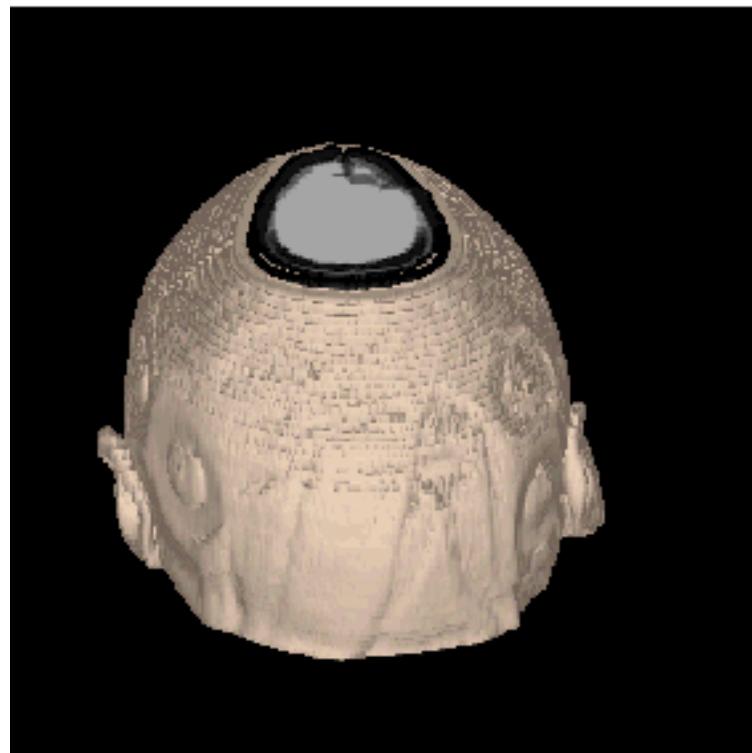
- Naješće angiografija sa ubrizgavanjem kontrasta.





Izgradnja 3-D modela

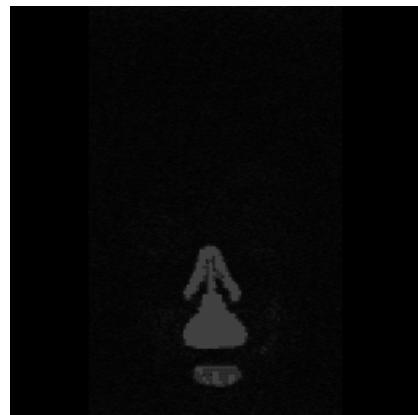
- Skup slika daje 3-D model (volumen)



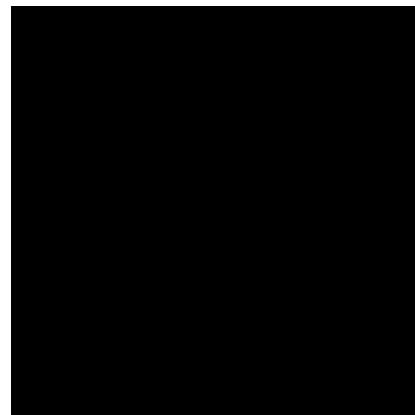


MRI snimanje

- Mjerenje vremena relaxacije nakon magnetskog impulsa (~1,5T).



coronalni



sagitalni

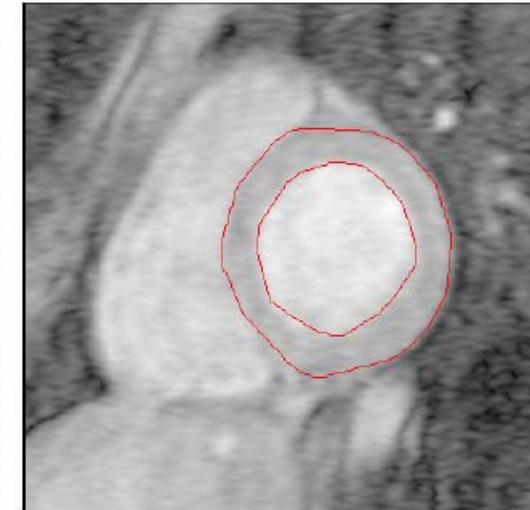
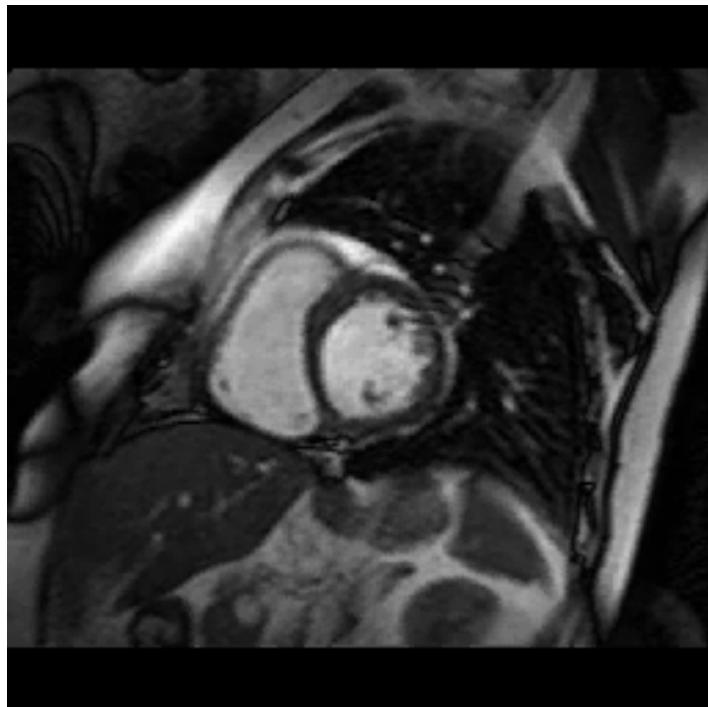


transaxialni



Analiza medicinskih slika

- Segmentacija lijeve klijetke

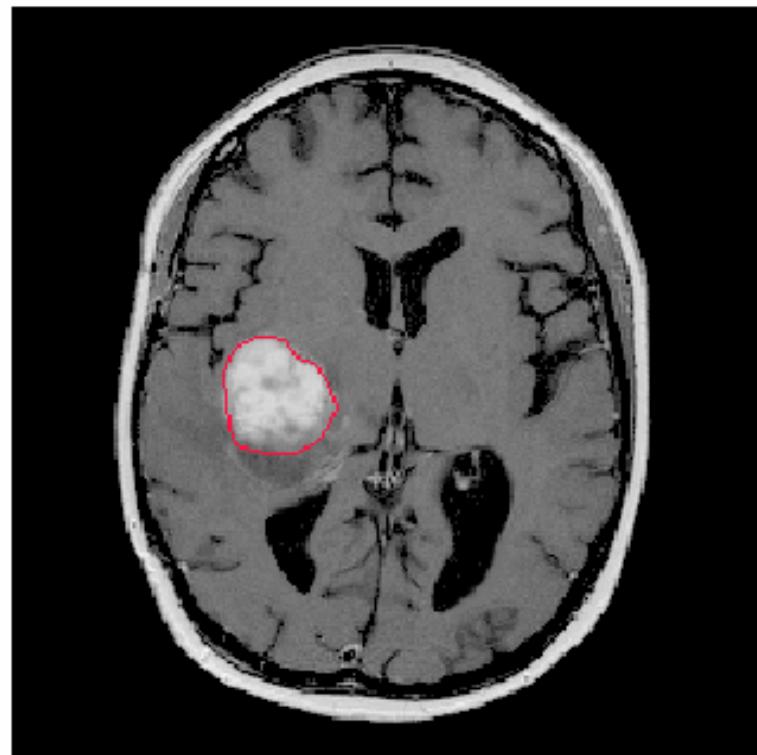


Segmentacija aktivnim konturama



Analiza medicinskih slika II

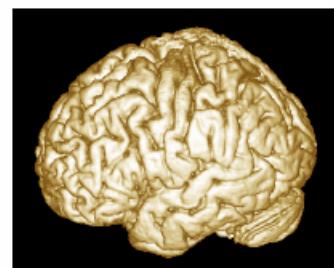
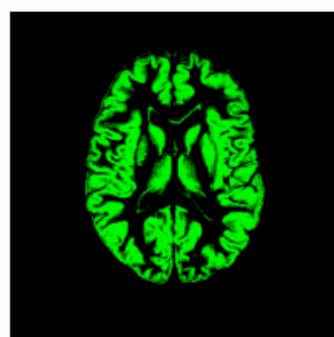
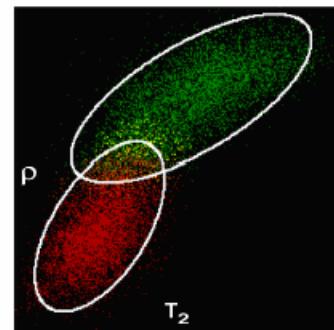
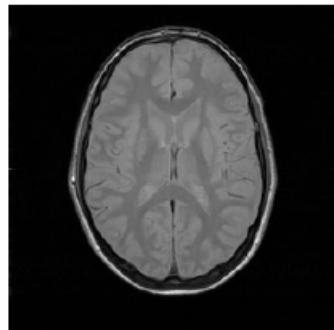
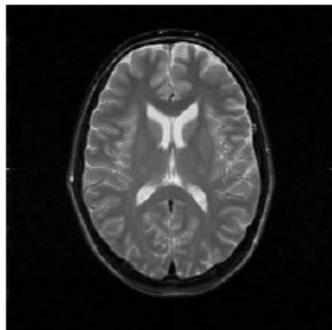
- Segmentacija tumora u mozgu





Analiza medicinskih slika III

- Segmentacija sive tvari u mozgu

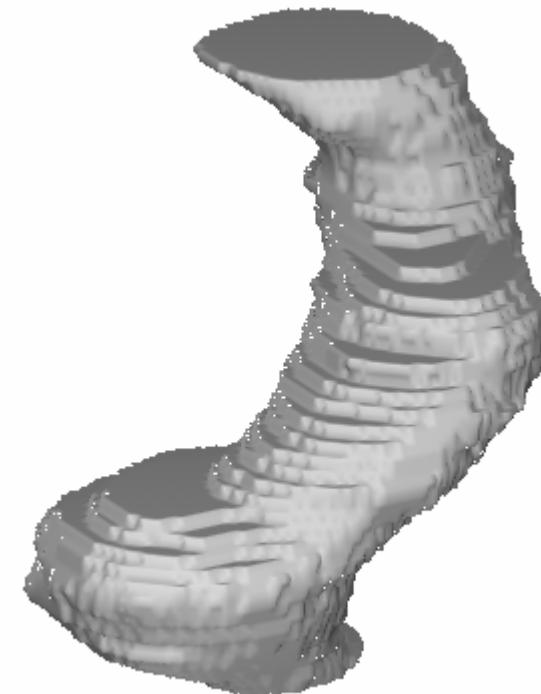
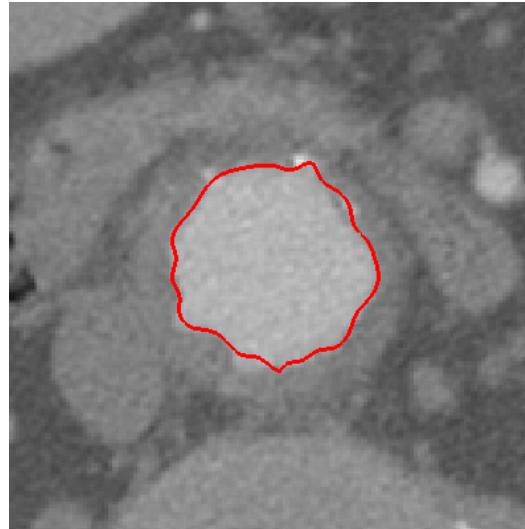
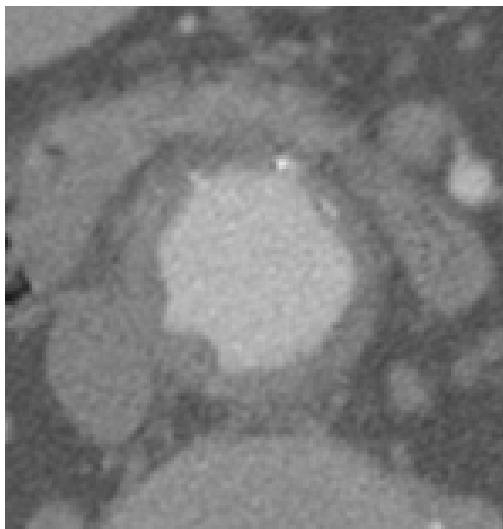


3D vizualizacija samo sive tvari (zeleno)



Analiza medicinskih slika IV

- Segmentacija žile iz CT slika



vizualizacija krvne žile



Daljinska snimanja

- engl. remote sensing
- Slike iz velike udaljenosti (sateliti, avioni)
- Geologija (nalazišta nafte i minerala)
- Poljoprivreda (bolesti, prinosi, vegetacija)
- Meteorologija (oblaci, atmosfera)
- Ekologija (zagađenja, oceani, ledenjaci)
- Šumarstvo
- Vojne i policijske primjene



Potrošačka elektronika

- Digitalne foto kamere
- Digitalne video kamere
- Skeneri
- Printeri
- Video telefoni
- Video projektori



Astronomija

- Poboljšanje slika zvijezda dobivenih teleskopima
 - uklanjanje optičkih izobličenja
 - uklanjanje atmosferskih izobličenja
- Primjer: Hubble teleskop



Ostale primjene obrade slike

- Nuklearna fizika
- Biologija
- Mikroskopija (histologija)
- Radar, sonar (poboljšanje slika)
- Vojne primjene (navođenje, praćenje letjelica)
- Policijske primjene (otisci prstiju, slike osoba)



Predstavljanje slike

- Problem: kako analitički opisati sliku
- Sustavi ortogonalnih funkcija dvije varijable
- Transformacije slika (Fourier, itd.)
- Predstavljanje slike pomoću “komponenti” u drugoj domeni
- Linearni sustavi za obradu slike (FIR, IIR)
- Nelinearni sustavi za obradu slike



Sklopovlje za digitalnu obradu slike

- Digitalna obrada slike izuzetno je složena i numerički zahtjevna
- Upotreba računala opće namjene (off line)
 - memorijski intenzivna
- Specijalizirani sklopovi za rad u realnom vremenu
- Digitalni signal procesori
- Specijalizirane arhitekture za obradu slike
- Multiprocesorski i distribuirani sustavi



Znanstvena područja

- Raspoznavanje uzoraka (pattern recognition)
- Neuronske mreže
- Soft computing (genetički algoritmi, fuzzy sustavi)
- Računalska grafika
- Vizualizacija volumena (volume and surface rendering)
- Inteligentni sustavi (ekspertni sustavi)
- Virtualna realnost (prividna stvarnost)



Zaključak

- Obrada informacija
- Primjene obrade signala
- Primjene obrade slike