

Uvod u digitalnu obradbu slike i računalni vid

Sven Lončarić
Tomislav Petković
Hrvoje Bogunović

Što je slika?

- 2D diskretni signal
- Matrica
- Digitalna slika se dobije prostornim otipkavanjem kontinuiranog 2D signala i kvantiziranjem dobivenih vrijednosti
- **Rezolucija** dobivene slike je proporcionalna frekvenciji otipkavanja.
- **Dubina** slike je proporcionalna broju bita kvantizatora.

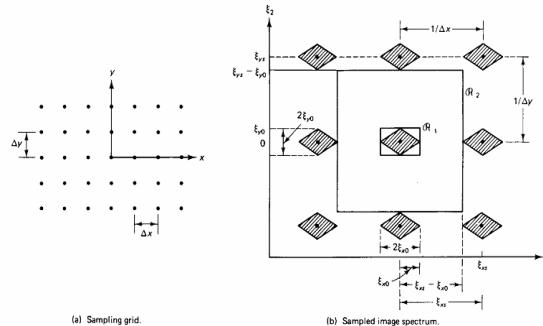
2

Slika kao 2D signal

- Kod obrade 1D signala smo uglavnom smo promatrali sustave nezavisne o vremenu (*LTI*)
$$h(t, T) = h(t - T)$$
- Kod obrade 2D signala ne zanima nas vrijeme, već prostorne koordinate.
Promatramo *LSI* sustave
$$h(x, y, m, n) = h(x - m, y - n)$$
- Slika je nekauzalan signal.

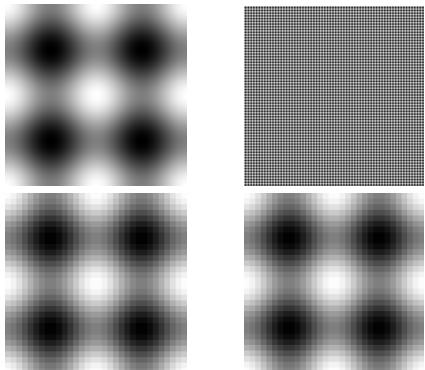
3

Primjer 2D pravokutnog otipkavanja



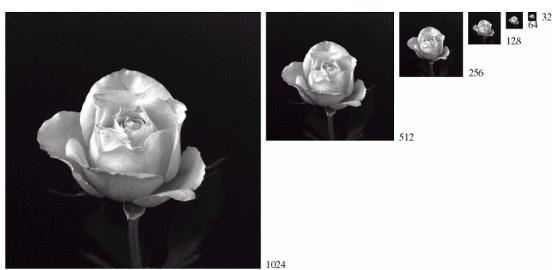
4

Primjer aliasing-a



5

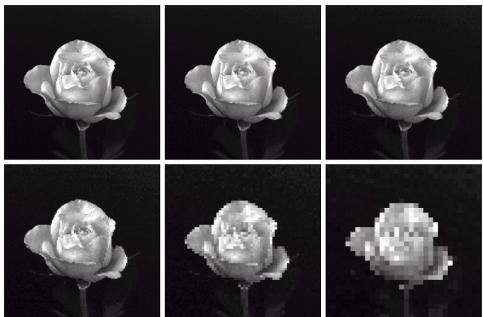
Frekvencija otipkavanja



6

Frekvencija otiskavanja II

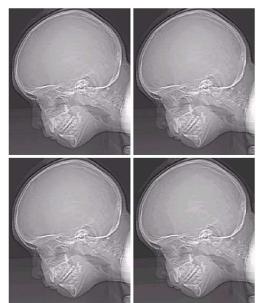
1024×1024, 512×512, 256×256, 128×128, 64×64, 32×32



7

Dubina kvantizacije

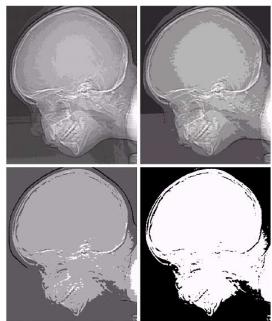
256, 128, 64 i 32 nijanse sive po točki



8

Dubina kvantizacije II

16, 8, 4 i 2 nijanse sive po točki



9

Crno bijela slika

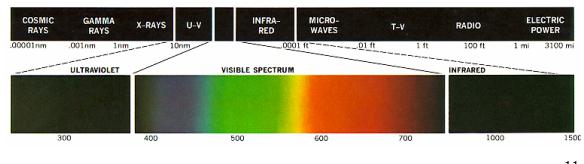
- Crno bijela slika je 2D signal gdje je intenzitet I predstavljen kao funkcija dvije koordinate x i y .



10

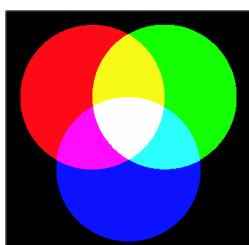
Slika u boji

- 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

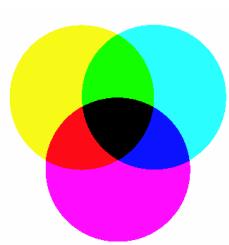


11

Reprodukacija boje



Aditivno - RGB
(monitor)



Subtraktivno - CMY
(printer)

12

Slika u boji - primjer

- Tri komponente slike u boji prikazane su ovim primjerom:



13

Slika u boji

- Potpuna slika u boji dobiva kombinacijom prethodne tri slike:



14

Film

- Film (*video signal*) je niz slika koji možemo promatrati kao funkciju tri varijable, i to dvije prostorne i jedne vremenske.



15

Početci - Bartlane sustav

- Bartlane sustav za prijenos slike između Londona i New Yorka napravljen dvadesetih godina prošlog stoljeća (*Bartlane cable picture transmission system*)



16

Početci televizije

- 1929. V. K. Zworykin predstavlja prve praktične naprave za snimanje i projekciju slike (*iconoscope, kinescope*)
- Prva javna televizija koja započinje s emitiranjem je BBC 1936. godine

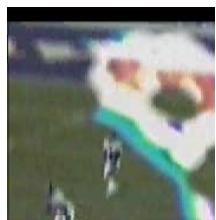
17

Daljnji razvoj područja

- Potican je zbog
 - razvoja digitalnih računala
 - istraživanja svemira
1. *Jet Propulsion Laboratory*, 1964.
 2. sonda *Ranger 7.*, slike mjeseca
 3. *Surveyor program*, slike mjeseca
 4. *Mariner program*, slike Marsa

Danas

- Područje je izuzetno zanimljivo
 - novi algoritmi za kompresiju slike/filma s gubitkom koji se temelje na wavelet transformaciji
 - novi algoritmi za kompresiju bez gubitka
 - daljnji napredak u području analize i razumijevanja slike
 - televizija nove generacije



19

Primjena obradbe slike

- Dvije glavne primjene metoda za digitalnu obradbu slike su:
 - Poboljšanje slike za ljudsku interpretaciju (*obradba slike*)
 - Obrada slike za automatsku interpretaciju pomoću računala (*analiza i razumijevanje slike*)

20

Primjena obradbe slike

- Usporedba različitih zadataka prema složenosti

Operacija	Ulaz	Izlaz	Složenost
obradba	slika	slika	niska
analiza	slika	simbolički	srednja
razumijevanje	simbolički	simbolički	visoka

21

Primjer kompresije slike



Original Lena
8 bita/točci

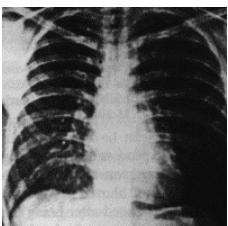
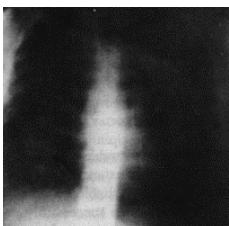


Kompresirana slika
Prosječni *bit rate* - 0.5 bita/točci

22

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

24

Primjer poboljšanja slike III

- Sliku možemo poboljšati i operacijama na histogramu.



25

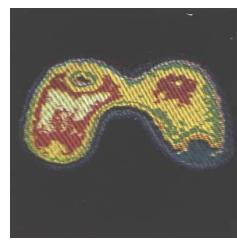
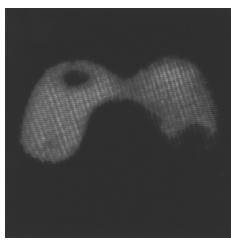
Primjer restauracije slike

- Uklanjanje zamućenosti uslijed jednolikog pomicanja kamere tijekom snimanja.



Primjer pseudokoloriranja

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



27

Znanstvena područja

- Obrada signala
 - 1D, 2D, 3D, 4D
 - Umjetna inteligencija
 - Raspoznavanje uzoraka
 - Soft computing (neuro, genetsko i fuzzy računarstvo)
 - Ekspertni sustavi
 - Računalni vid
 - Računalna grafika
 - Medical Imaging

28

2D Fourierova transformacija

- Kontinuirana 2D Fourierova transformacija je
$$\begin{aligned}
 F(\omega_1, \omega_2) &= \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, y) e^{-j(\omega_1 x + \omega_2 y)} dx dy \\
 &= \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-j\omega_2 y} \left(\int_{-\infty}^{+\infty} f(x, y) e^{-j\omega_1 x} dx \right) dy \\
 &= \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-j\omega_1 x} \left(\int_{-\infty}^{+\infty} f(x, y) e^{-j\omega_2 y} dy \right) dx
 \end{aligned}$$

29

2D Fourierova transformacija

- Razlikujemo nekoliko osnovnih slučajeva

aperiodičan	periodičan
$F(\omega_1, \omega_2) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, y) e^{-j(\omega_1 x + \omega_2 y)} dx dy$ $f(x, y) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} F(\omega_1, \omega_2) e^{j(\omega_1 x + \omega_2 y)} d\omega_1 d\omega_2$	$F(k, l) = \frac{1}{T_M T_N} \int_{T_M T_N} \int_{T_M T_N} f(x, y) e^{-2\pi j \left(\frac{kx}{T_N} + \frac{ly}{T_M} \right)} dx dy$ $f(x, y) = \sum_{l=-\infty}^{+\infty} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} F(k, l) e^{2\pi j (kx/T_N + ly/T_M)}$
$F(\omega_1, \omega_2) = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} f[n, m] e^{-j(\omega_1 n + \omega_2 m)}$ $f[n, m] = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} F(\omega_1, \omega_2) e^{j(\omega_1 n + \omega_2 m)} d\omega_1 d\omega_2$	$F(k, l) = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f[n, m] e^{-2\pi j (kn/m + lm/N)}$ $f[n, m] = \sum_{l=0}^{M-1} \sum_{k=0}^{N-1} F(k, l) e^{2\pi j (kn/N + lm/M)}$

30

2D DFT

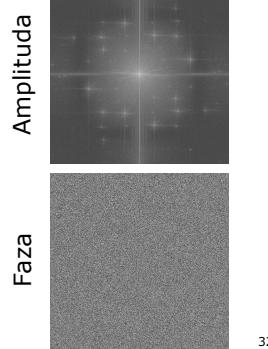
- 2D diskretna Fourierova transformacija je

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

- 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 $O(N^2 \log_2 N)$.

31

Primjer 2D Fourierove transformacije



32

2D diskretna kosinusna transformacija

- 1D diskretna kosinusna transformacija je

$$F(k) = \sum_{n=0}^{N-1} f[n] \alpha(k) \cos \frac{\pi(2n+1)k}{2N} \quad \alpha(k) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{N}}, & \text{za } k = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{N}}, & \text{inače} \end{cases}$$
$$f[n] = \sum_{k=0}^{N-1} F(k) \alpha(k) \cos \frac{\pi(2n+1)k}{2N}$$

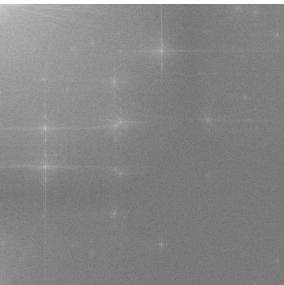
- 2D diskretna kosinusna transformacija je

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

- DCT je realna ortogonalna transformacija.
- DCT nije realni dio DFT.
- DCT niza duljine N moguće je izračunati pomoću DFT simetrično proširenog niza duljine $2N$.

33

Primjer 2D DCT



DCT transformacija
amplituda

34

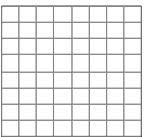
Primjena DCT pri kompresiji slike

- Slika se transformira DCT-om u blokovima veličine 8×8 .
- Rekonstrukcija se vrši isto u blokovima veličine 8×8 . Inverzna transformacija se koristi samo nekim odabranim elementima bloka veličine 8×8 DCT-a originalne slike.

Originalna slika



DCT koeficijenti



Rekonstruirana slika



Pogreška

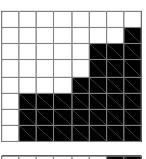


Primjena DCT pri kompresiji slike

Originalna slika



DCT koeficijenti



Rekonstruirana slika

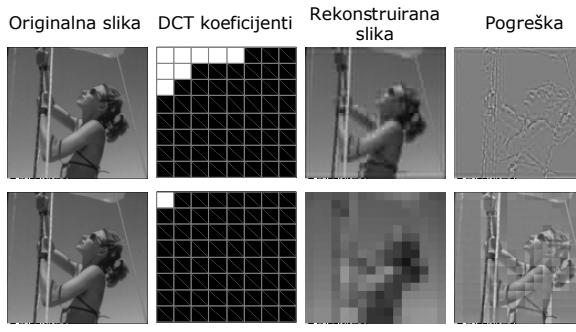


Pogreška



36

Primjena DCT pri kompresiji slika



37

Računalni vid (Computer Vision)

- Generiranje informacije iz jedne ili više slika.
- Artificial Intelligence
- U skladu sa granama:
 - Pattern Recognition, Neural Networks, Expert Systems, Genetic Algorithms
- Podloga je obradba slike (*Image Processing*).
- Računalni vid možemo promatrati kao inverzan problem problema računalne grafike.

38

Odnos CV, CG, IP



Računalni vid je inherentno loše postavljen problem (*ill posed*)

39

Paradigma (2D) računalnogvida

Slika (elementi su vrijednosti intenziteta)

Ekstrakcija značajki
Segmentacija

Simbolička slika (elementi su labele)

Resegmentacija
Računanje svojstava

Relacijska struktura

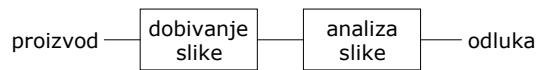
Usporedba sa modelima

Raspoznavanje

40

Primjene u industriji

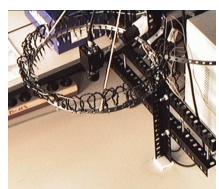
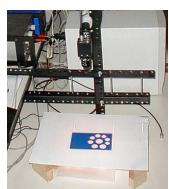
- Obično se koristi za
 1. kontrolu kvalitete proizvoda
 2. dobivanje informacija potrebnih za upravljanje industrijskim robotima
- Za industrijsku kontrolu kvalitete tipičan sustav je oblika



41

Dobivanje slike

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

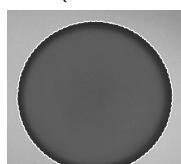


42

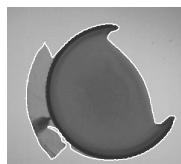
Primjer grešaka oblika (I)

Proizvod (označeni rubovi)

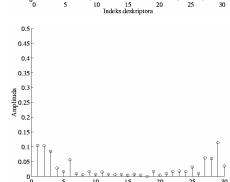
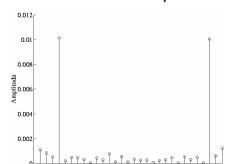
Ispраван



Neispravan



Fourierovi deskriptori



43

Primjer grešaka oblika (II)

Proizvod

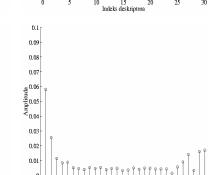
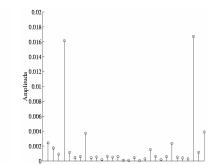
Ispраван



Neispravan



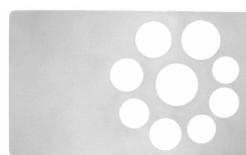
Fourierovi deskriptori



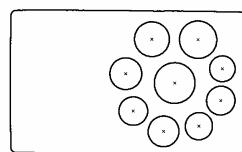
Primjer površinskih grešaka

Proizvod

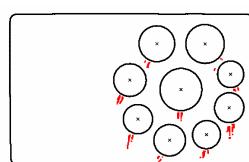
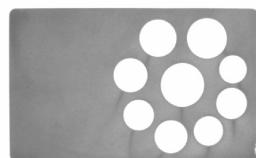
Neispravan



Rezultati analize



Ispраван

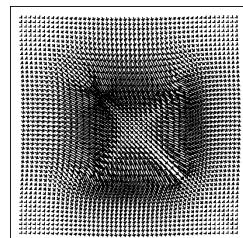
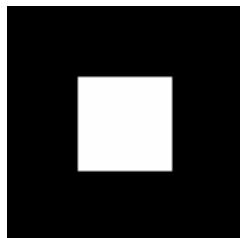


Estimacija pokreta - primjena

- Primjena: detekcija, segmentacija, praćenje, video nadzor.
- Koristi se za smanjenje temporalne redundancije u video sekvenci.
- Prediktivno kodiranje video zapisa
- MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4
- H.263 – videokonferencijski standard

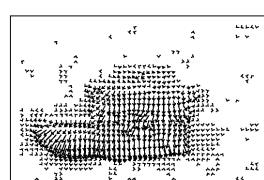
46

Primjer - kvadrat



47

Primjer - auto



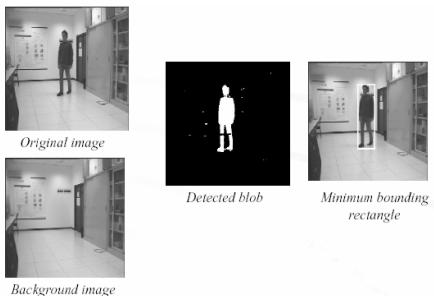
48

Detekcija pokreta

- Vezano uz detekciju vremenske promjene
- Rezultat je da ili ne ili pixeli u pokretu
- Počelo je kao obično oduzimanje slika uz korištenje praga. Problem je predstavljao šum.
- Bitno je razlučiti stvarnu kretnju od obične promjene intenziteta ili od prisutstva šuma.

49

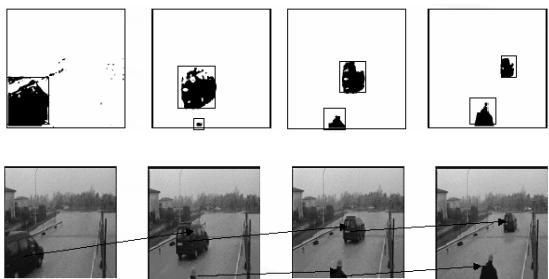
Detekcija promjene na slici



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

50

Segmentacija i praćenje



51

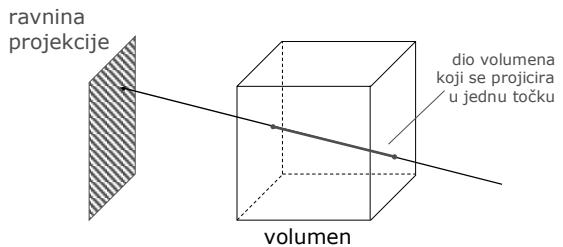
Volume Rendering

- Postoje dvije glavne vrste algoritama
- Algoritmi u prostoru slike
 - bacanje zrake (*ray casting, backward mapping*)
 - projekcija na ravninu (*plane compositing, forward mapping*)
- Algoritmi u frekvencijskoj domeni

52

Praćenje zrake (ray casting)

- Za svaku točku prikaza pratimo zraku kroz volumen prema ravnini projekcije



53

Opis praćenja zrake (ray casting)

- Za svaku točku prikaza pratimo zraku kroz volumen
- Za svaki element volumena (voxel) računamo njegov doprinos zbog njegove boje $C_{(x,y,z)}$ i neprozirnosti $\alpha_{(x,y,z)}$
$$C_k = \alpha_{k-1}C_{k-1} + (1-\alpha_{k-1})\alpha_{(x,y,z)}C_{(x,y,z)}$$
$$\alpha_k = \alpha_{k-1} + (1-\alpha_{k-1})\alpha_{(x,y,z)}$$
- Konačna vrijednost točke prikaza je

$$C = C_k / \alpha_k$$

54

Algoritmi u frekvencijskoj domeni

- Temelje se na teoremu o projekciji (*Fourier Projection-Slice Theorem*)
- Inverzna fourierova transformacija 2D presjeka 3D frekvencijske reprezentacije volumena odgovara projekciji volumena u smjeru okomitom na presjek

55

Algoritmi u frekvencijskoj domeni

- Fourierova transformacija volumena je
$$I(u, v, w) = \iiint i(x, y, z) e^{-2\pi j(ux+vy+wz)} dx dy dz$$
- Ako postavimo $w = 0$ i presložimo redoslijed integracije dobivamo
$$I(u, v, 0) = \iint \left(\underbrace{\int i(x, y, z) dz} \right) e^{-2\pi j(ux+vy)} dx dy$$
projekcija točaka uzduž z -osi

56

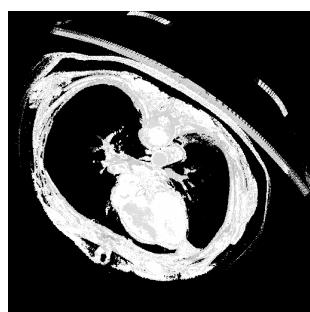
Algoritmi u frekvencijskoj domeni

- Koriste se FFT (*Fast Fourier Transform*) i FHT (*Fast Hartley Transform*).
- Složenost prepocesiranja volumena je $n^3 \log(n)$, dok je za samo dobivanje slike složenost $n^2 \log(n)$ što predstavlja poboljšanje u odnosu na obično praćenje zrake.
- Najveći problem su problemi s nepostojanjem zasjenjenja.

57

Primjer

- Presjek kroz tijelo u ravnini srca.



58

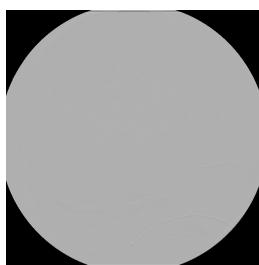
Primjena u medicini

- Tipovi slika
 - X-ray
 - CT (Computed Tomography)
 - Nuclear Medicine Imaging
 - SPECT (Single Photon Emission CT)
 - PET (Positron Emission Tomography)
 - MRI (Magnetic Resonance Imaging)
 - Ultrazvuk

59

X-ray modalitet

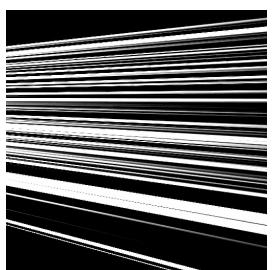
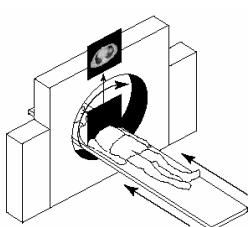
- Koriste se X-zrake.
- Naješće angiografija sa ubrizgavanjem kontrasta.



60

CT modalitet

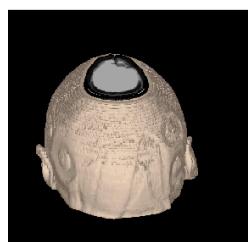
- X zrake za dobivanje projekcije.
Rekonstrukcija slicea iz projekcija.



61

Izgradnja 3D modela

- Skup sliceova daje 3D model (volumen).



62

MRI modalitet

- Mjerenje vremena relaksacije nakon magnetskog impulsa ($\sim 1,5T$).



coronalni



sagitalni

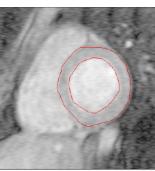
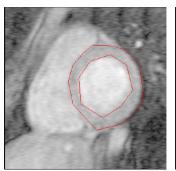
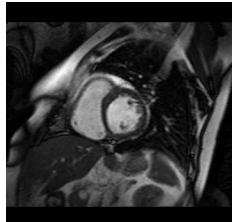


transaxialni

63

Analiza medicinskih slika

- Segmentacija lijeve klijetke

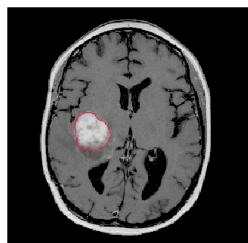


Segmentacija aktivnim konturama

64

Analiza medicinskih slika II

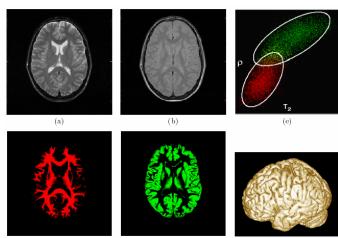
- Segmentacija tumora u mozgu



65

Analiza medicinskih slika III

- Segmentacija sive tvari u mozgu

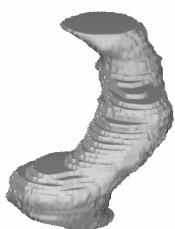
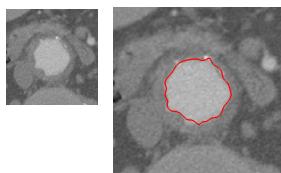


3D vizualizacija samo sive tvari (zeleno)

66

Analiza medicinskih slika IV

- Segmentacija žile iz CT slika



vizualizacija ruba žile radi uočavanja aneurizme

67

Stereo vid

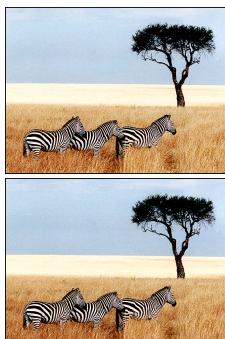
- Rekonstrukcija 3-D strukture objekata pomoću dvije kamere
- Primjene: industrijska kontrola kvalitete, navođenje robota



68

Digital watermarking

- Steganografija – Neprimjetno skrivanje tajnih poruka unutar većih poruka
- Primjer: Poruka može biti skrivena u slici tako da se prikaže pomoću najmanje značajnih bitova u slici
- Vodeni žig (engl. watermark) može se koristiti za zaštitu autorskih prava
 - kontrola distribucije multimedijskih materijala



69

Pattern recognition

- Prepoznavanje objekata iz slika i videa
- Primjeri aplikacija:
 - Prepoznavanje lica
 - Analiza i anotacija sportskih video snimki
 - Automatska anotacija video snimki vijesti
 - Brojanje automobila
 - Prepoznavanje broja na registrskoj pločici
 - Inteligentni nadzor objekata i kontrola pristupa

70

Content-based image retrieval

- Image indexing
- Video indexing
- Primjene:
 - Arhiviranje slika i videa u novinarstvu i televiziji
 - Pretraživanje baza slika na temelju sadržaja (primjer: baze umjetničkih slika)
 - Detekcija slika golih ljudi za kontrolu pristupa web poslužiteljima

71

Primjeri primjene I

- Analiza slike
 - OCR, obrada otiska prstiju
 - Klasifikacija uzorka na proizvodnoj traci, osiguranje kvalitete
 - Mjerenje veličine i orientacije predmeta
 - Upravljanje robotom (autom, avionom)
 - Interpretacija medicinskih slika (automatsko nalaženje tumora i sl.)
 - Praćenje/navođenje osoba, vozila, raketa
 - Remote sensing (geologija, meteorologija)

72

Primjeri primjene II

- Medicinska primjena
 - Computer Assisted Radiology/Surgery
 - Poboljšanje kontrasta, izdvajanje bitnog sadržaja
 - Pseudokoloriranje slika za bolju vidljivost
 - Registracija slika (CT, MR, PET, SPECT, itd.)
 - Rekonstrukcija slike iz 1D projekcija (CT, MRI ..)

73

Grupa za digitalnu obradu slike

- Koordinator: Prof. dr. sc. Sven Lončarić
- Web site grupe: <http://ipg.zesoi.fer.hr>
- Asistenti:
 - Mr. sc. Marko Subašić
 - Hrvoje Bogunović, dipl.ing.
 - Tomislav Petković, dipl.ing.

74

Mogućnosti sudjelovanja u projektima

- Analiza slika u biomedicini
 - 3-D elastična registracija slika
 - Segmentacija organa i krvnih žila
 - Analiza protoka krvi
- 3-D rekonstrukcija plohe objekta
 - Stereo vid za industrijske primjene
 - Laserska triangulacija
- Prepoznavanje lica pomoću više kamera
- Brojanje i klasifikacija automobila

75

Mogućnosti sudjelovanja u projektima

- Analiza i praćenje pokreta iz video snimki
- Analiza sportskih snimki
- Analiza i anotacija snimki vijesti
- Poboljšanje i obnavljanje slika
- Virtual reality za vizualizaciju volumena
- Web informacijski sustav za organizaciju konferencija
- Bilo koja druga tema po izboru vezana za navedena područja

76

Kontakt informacije

- Zainteresirani studenti pozivaju se da kontaktiraju prof. Lončarića
- E-mail:
sven.loncaric@fer.hr
- URL:
<http://ipg.zesoi.fer.hr>



77
