

Metode formiranja i analyze medicinske slike

OSNOVI DIGITALNE OBRADE SLIKE

UVOD

- ▶ **Digitalna obrada slike (DOS)** predstavlja skup metoda za obradu slike pomoću računara
- ▶ Najčešći **izvori ulaznih signala (slika)** jesu kamere ali mogu biti i sateliti, urežaji za medicinsko dijagnostikovanje, radari, sonari, ifd.
- ▶ Slika koja se obrađuje uglavnom sadrži informacije iz čoveku vidljivog dela spektra, međutim, postoje potrebe i za analizom podataka iz čoveku nevidljivog dela elektromagnetskog spektra
- ▶ Iz prethodno pomenutog razloga, termin **DOS se koristi za digitalnu obradu bilo kakvih dvodimenzionalnih podataka**
- ▶ **Izlazne informacije** iz sistema za DOS u najvećem broju slučajeva predstavljaju novu sliku, međutim, mogu biti i numerički podaci koji kvantifikuju neka obeležja **ulaznih** signala

KRATKA ISTORIJA DOS

- ▶ Razvoj DOS-a počinje 1920-ih zarad potrebe za prenosom slika preko Atlanskog okena putem kablovske veze (DOS na obe komunikacione strane)
- ▶ Do naglog razvoja DOS-a dolazi prilikom istraživanja svemira – 1964. je digitalni računar prvi put iskorišćen za popravak kvaliteta slika Meseca dobijenih sa svemirske sonde „Ranger 7“
- ▶ Zbog ovoga je do skoro DOS bio sinonim za veoma skupu i naprednu tehnologiju dostupnu samo malom broju svetskih laboratorija

KRATKA ISTORIJA DOS

- ▶ Naglim razvojem elektronike (prvenstveno DSP procesora) DOS dobija svoju primeni i u sferama u kojima nije mogla biti korišćena zbog, do tад, visoke cene
- ▶ Počinje primena DOS-a u medicini za obradu i popravku slika dobijenih upotrebom rendgена i ultrazvučne tehnologije, a zatim i za 3D modelovanje na osnovu kompjuterske tomografije i NMR

KRATKA ISTORIJA DOS

- ▶ Krajem 90-tih godina prošlog veka dolazi do masovnog korišćenja digitalnih fotoaparata i oprema za DOS postaje dostupna širokom spektru inženjera
- ▶ Samim tim, nastaje i mnoštvo računarskih programa koji podržavaju DOS – u istraživačke svrhe i za formiranje algoritama se najčešće koristi *Matlab*
- ▶ Napreduje i digitalna televizija, prenos slike putem interneta kao i razni multimedijalni sistemi

UPOTREBA DOS

- ▶ Iako je spektar primene DOS-a izuzetno širok, metodi koji se koriste u istoj moguće je podeliti u 6 različitih kategorija:
 - ▶ Metodi za reprezentaciju slike
 - ▶ Metodi za poboljšanje slike
 - ▶ Metodi za restauraciju slike
 - ▶ Metodi za kompresiju slike
 - ▶ Metodi za analizu slike
 - ▶ Metodi za rekonstrukciju slike iz više perspektiva

OSNOVA DOS

- ▶ Slika predstavlja **reprezentaciju nekog objekta i sadrži informacije o objektu** koji predstavlja
- ▶ Informacije koje slika nosi uglavnom su sadržane u delu **elektromagnetskog spekra vidljivom vizuelnim sistemom čoveka**
- ▶ **Monohromna slika** (crno-bela ili siva slika) predstavlja kontinualnu funkciju dvodimenzionalne raspodele intenziteta – $f(x,y)$

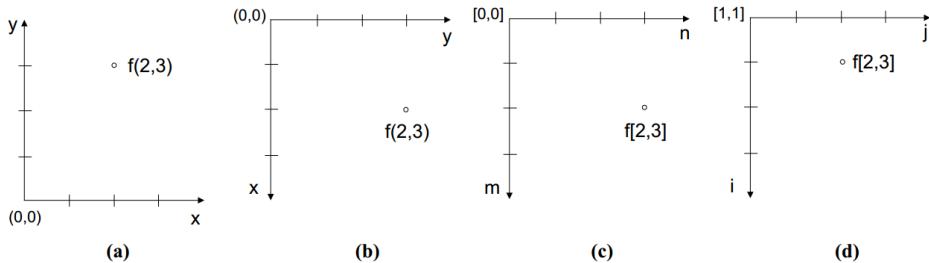
OSNOVA DOS

- ▶ x,y – predstavljaju prostorne koordinate
- ▶ $f(x,y)$ – nivo **sivog** u tački određenom koordinatama x,y
- ▶ **Digitalna monohromna slika** (crno-bela ili siva slika) predstavlja funkciju kod koje su diskretizovane vrednosti koordinata – x,y ali i vrednosti intenziteta – $f(x,y)$
- ▶ Zbog toga, digitalna slika ima ograničen broj elemenata - **piksela**



OSNOVA DOS

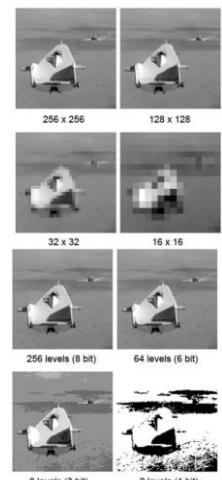
- ▶ Različiti sistemi za reprezentaciju monohromne slike – upoređivanje sa Dekartovim pravouglim sistemom



Slika 1.1 Pravougli koordinatni sistemi: (a) Dekartov sistem, (b) Sistem za reprezentaciju kontinualne slike, (c) Sistem za reprezentaciju digitalne slike, (d) Matrični sistem.

UPOTREBA DOS - Metodi za reprezentaciju slike

- ▶ Osnovni problem reprezentacije slike jeste karakterizacija **površine** koju predstavlja jedan piksel ili pel
- ▶ Takođe je bitna **vernost** reprezentacije objekta koju slika predstavlja – zavisi od kvaliteta **senzora** i rezolucije A/D **konvertora** (8 bita, 16 bita, ...)
- ▶ Pod ovu oblast spadaju i metodi čiji je cilj reprezentacija sekvenci slika (video snimka) gde se pored pomenuta dva problema pojavljuje i vreme, te je posmatran problem moguće sagledati kao **3D**



UPOTREBA DOS - Metodi za poboljšanje slike

- ▶ Osnovni cilj je da se promene neke karakteristike slike tako da ona bude pogodnija za prikaz na ekranima ili za dalju analizu
- ▶ Ovim metodama se **ne povećava nivo informacija** sadržanih u slici već se samo **olakšava** korišćenje postojećih informacija
- ▶ Ovi metodi su brojni a najčešće korišćeni su poboljšanje kontrasta, eliminacija šuma, izoštrevanje slike, bojenje delova slike...

UPOTREBA DOS - Metodi za restauraciju slike

- ▶ Cilj je sličan metodima za poboljšanje slike, s tim da je upotreba ovih metoda ograničena na slučajeve gde je **degradacija slike poznata** ili je moguće formirati model degradacije slike
- ▶ Tipični primeri su otklanjanje geometrijskih izobličenja na slici nastalih usled zakrivljenosti sočiva i **uklanjanje šuma** čiji je statički model poznat
- ▶ Ovi metodi su kompleksni i uglavnom ih nije moguće vršiti u realnom vremenu – **vrše se offline**

UPOTREBA DOS - Metodi za kompresiju slike

- ▶ Slike sadrže veliku količinu informacija - „Slika vredi hiljadu reči.“
- ▶ Filmska slika dimenzije 24mm x 36mm sa rezolucijom filma 0.01mm sadrži oko 10^7 elemenata
- ▶ Digitalna slika rezolucije 512 x 512 piksela ima 256 000 elemenata – ukoliko se svaki element predstavi sa 8 bita, slika zauzima 256kB (1 sekund sa 50fps bi zauzimao preko 10MB)
- ▶ Potrebno je izvršiti kompresiju
 - ▶ Metode za kompresiju kod kojih se ne smanjuje kvalitet slike
 - ▶ Metode za kompresiju kod kojih se smanjuje kvalitet slike

UPOTREBA DOS - Metodi za analizu slike

- ▶ Cilj analize slike jeste dobijanje kvantitativnih i dodatnih informacija o objektima na slici i njihovim međusobnim relacijama
- ▶ Osnovni primer jeste prepoznavanje oblika – veštački vid
- ▶ U ovu grupu metoda spadaju:
 - ▶ Metodi za izdvajanje ivica
 - ▶ Metodi segmentacije
 - ▶ Metodi identifikacije objekata na slici
 - ▶ ...

UPOTREBA DOS - Metodi za rekonstrukciju slike iz projekcija

- ▶ Posebna grupa metoda gde je cilj rekonstrukcija višedimenzionog objekta iz niza manje dimenzionih informacija
- ▶ Primer je rekonstrukcija 3D objekta iz 2D slika dobijenih iz različitih uglova
- ▶ Ova grupa metoda je najveću primenu našla u medicini, ali i u ispitivanju raznih materijala i astronomiji
- ▶ Primer: kompjuterizovana tomografija

DVODIMENZIONALNI SIGNALI I SISTEMI

DVODIMENZIONALNI SIGNALI I SISTEMI – elementarni diskretni signali

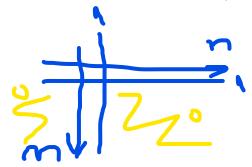
- ▶ Jedinični **impuls**

$$\delta[m,n] = \begin{cases} 1, & m = n = 0 \\ 0, & \text{drugde.} \end{cases}$$

- ▶ Jedinična funkcija

$$u[m,n] = \begin{cases} 1, & m, n \geq 0 \\ 0, & \text{drugde.} \end{cases}$$

- ▶ Postoje i signali koji nemaju ekvivalent u jednodimenzionom prostoru



$$u_L[m,n] = \begin{cases} 1, & m = 0, \text{ ili } n = 0 \\ 0, & \text{drugde,} \end{cases}$$

$$u_T[m,n] = \begin{cases} 1, & m \geq 0 \\ 0, & \text{drugde.} \end{cases}$$

- ▶ Eksponencijalna sekvenca

$$e[m,n] = \begin{cases} A\alpha^m\beta^n, & m, n \geq 0 \\ 0, & \text{drugde.} \end{cases}$$

DVODIMENZIONALNI SIGNALI I SISTEMI – elementarni diskretni signali

- ▶ Važne klase signala su **separabilne sekвенце**

$$x[m,n] = f[m]g[n]$$

- ▶ I **periodične sekвенце**

$$x[m,n] = x[m+M, n] = x[m, n+N], \quad \text{za svako } [m, n]$$

DVODIMENZIONALNI SIGNALI I SISTEMI – linearni vremenski nepromenljivi sistemi

- ▶ Vezu između ulaza i izlaza predstavljamo relacijom: $y[m,n] = R\{x[m,n]\}$.
- ▶ Zarad uprošćavanja matematičkog opisa sistema, uvode se razna ograničenja, od kojih su najvažnija:

- ▶ **Linearost** (princip superpozicije)
aditivnost + homogenost

$$R\left\{\sum_{i=1}^K a_i x_i[m,n]\right\} = \sum_{i=1}^K a_i y_i[m,n],$$

- ▶ **Vremenska (prostorna) nepromenljivost**

$$R\{x[m-m_1, n-n_1]\} = y[m-m_1, n-n_1].$$

DVODIMENZIONALNI SIGNALI I SISTEMI – linearni vremenski nepromenljivi sistemi

- ▶ **Izlaz linearog sistema R** za ulaz x se može opisati kao:

$$\begin{aligned} y[m,n] &= R\{x[m,n]\} = R\left\{\sum_{k=-\infty}^{+\infty} \sum_{l=-\infty}^{+\infty} x[k,l] \delta[m-k, n-l]\right\} \\ &= \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \sum_{l=-\infty}^{+\infty} x[k,l] R\{\delta[m-k, n-l]\} = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \sum_{l=-\infty}^{+\infty} x[k,l] h[m,n; k, l], \end{aligned} \quad \text{impulsni odziv}$$

- ▶ Ukoliko se prepostavi i **prostorna nepromenljivost**:

$$h[m,n; k, l] = R\{\delta[m-k, n-l]\} = h[m-k, n-l],$$

DVODIMENZIONALNI SIGNALI I SISTEMI – linearni vremenski nepromenljivi sistemi

- ▶ Konačan izlaz iz sistema R je:

$$y[m,n] = R\{x[m,n]\} = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \sum_{l=-\infty}^{+\infty} x[k,l]h[m-k,n-l] = x[m,n]*h[m,n],$$

- ▶ Konvolucionna suma ili konvolucija u potpunosti određuje izlaz LPN sistema na pobudu ukoliko je poznat impulsni odziv sistema.

DVODIMENZIONALNI SIGNALI I SISTEMI – linearni vremenski nepromenljivi sistemi

- ▶ Konvolucija 1D signala

$$y(n) = x(n) \circledast h(n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k) h(n-k)$$

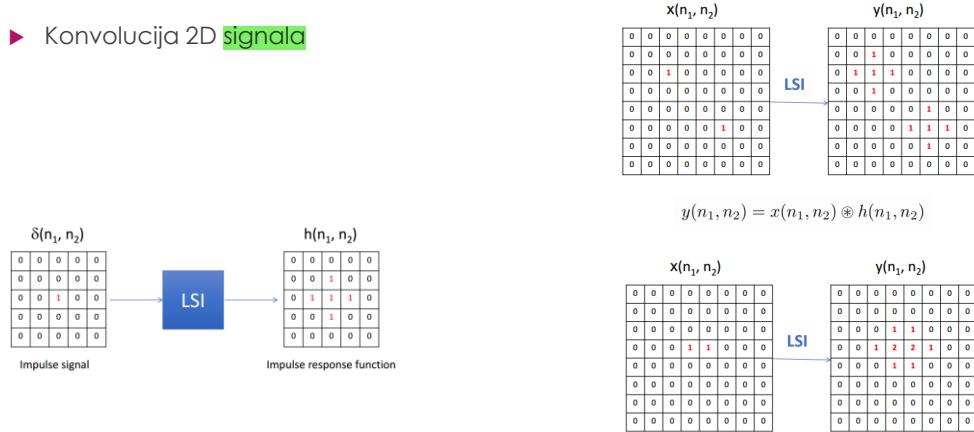
$x = [1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5]$
 $h = [2 \ 4 \ 6]$

$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ \downarrow & & & & \\ [6 & 4 & 2] \end{bmatrix}$	$5 * 6 = [30]$
$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ \downarrow & & & & \\ [6 & 4 & 2] \end{bmatrix}$	$6 * 4 + 5 * 4 = [44 \ 30]$
$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ \downarrow & & & & \\ [6 & 4 & 2] \end{bmatrix}$	$3 * 6 + 4 * 4 + 5 * 2 = [44 \ 44 \ 30]$
$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ \downarrow & & & & \\ [6 & 4 & 2] \end{bmatrix}$	$2 * 6 + 3 * 4 + 4 * 2 = [32 \ 44 \ 44 \ 30]$
$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ \downarrow & & & & \\ [6 & 4 & 2] \end{bmatrix}$	$1 * 6 + 2 * 4 + 3 * 2 = [20 \ 32 \ 44 \ 44 \ 30]$
$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ \downarrow & & & & \\ [6 & 4 & 2] \end{bmatrix}$	$1 * 4 + 2 * 2 = [8 \ 20 \ 32 \ 44 \ 44 \ 30]$
$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ \downarrow & & & & \\ [6 & 4 & 2] \end{bmatrix}$	$1 * 2 = [2 \ 8 \ 20 \ 32 \ 44 \ 44 \ 30]$

Full convolution: $y(n) = [2 \ 8 \ 20 \ 32 \ 44 \ 44 \ 30]$

DVODIMENZIONALNI SIGNALI I SISTEMI – linearni vremenski nepromenljivi sistemi

- ▶ Konvolucija 2D signalata



DVODIMENZIONALNI SIGNALI I SISTEMI – Furijeova transformacija 2D signalata

- ▶ Analogono diskretnim 1D signalima, **Furijeova transformacija $x[m,n]$ 2D signalata** je:

$$X(\omega_m, \omega_n) = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x[m, n] e^{-j(m\omega_m + n\omega_n)},$$

- ▶ Dok je **inverzna FT** je opisana izrazom:

$$x[m, n] = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\pi}^{+\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} X(\omega_m, \omega_n) e^{j(m\omega_m + n\omega_n)} d\omega_m d\omega_n$$

DVODIMENZIONALNI SIGNALI I SISTEMI – Furijeova transformacija 2D signala

- ▶ Osobine FT 2D signala ukoliko je transformacija prikazana sa $x[m,n] \Leftrightarrow X(\omega_m, \omega_n)$.

- ▶ **Periodičnost** (perioda $2\pi \times 2\pi$)

$$X(\omega_m, \omega_n) = X(\omega_m + 2\pi, \omega_n) = X(\omega_m, \omega_n + 2\pi) = X(\omega_m + 2\pi, \omega_n + 2\pi)$$

- ▶ **Linearnost**

$$\sum_{i=1}^K x_i[m,n] \Leftrightarrow \sum_{i=1}^K X_i(\omega_m, \omega_n)$$

- ▶ **Konvolucija**

$$x[m,n]*y[m,n] \Leftrightarrow X(\omega_m, \omega_n)Y(\omega_m, \omega_n)$$

DVODIMENZIONALNI SIGNALI I SISTEMI – Furijeova transformacija 2D signala

- ▶ **Množenje**

$$x[m,n]y[m,n] \Leftrightarrow X(\omega_m, \omega_n)* Y(\omega_m, \omega_n)$$

- ▶ **Separabilnost**

$$x[m,n] = x_1[m]x_2[n] \Leftrightarrow X(\omega_m, \omega_n) = X_1(\omega_m)X_2(\omega_n)$$

- ▶ Pomeraj u prostornom ili vremenskom domenu

$$x[m - m_1, n - n_1] \Leftrightarrow X(\omega_m, \omega_n)e^{-j\omega_m m_1}e^{-j\omega_n n_1},$$

$$e^{j\eta_m m}e^{j\eta_n n}x[m,n] \Leftrightarrow X(\omega_m - \eta_m, \omega_n - \eta_n).$$

DVODIMENZIONALNI SIGNALI I SISTEMI – Furijeova transformacija 2D signala

- ▶ **Simetrija** (* konjugovano kompleksna vrednost)

$$x[-m, n] \Leftrightarrow X(-\omega_m, \omega_n),$$

$$x[m, -n] \Leftrightarrow X(\omega_m, -\omega_n),$$

$$x[-m, -n] \Leftrightarrow X(-\omega_m, -\omega_n),$$

$$x^*[m, n] \Leftrightarrow X^*(-\omega_m, -\omega_n),$$

$x[m, n]$ - realna sekvenca $\Leftrightarrow X(\omega_m, \omega_n) = X^*(-\omega_m, -\omega_n)$,

$x[m, n]$ - realna parna sekvenca $\Leftrightarrow X(\omega_m, \omega_n)$ - realna parna funkcija,

$x[m, n]$ - realna neparna sekvenca $\Leftrightarrow X(\omega_m, \omega_n)$ - imaginarna neparna funkcija

DVODIMENZIONALNI SIGNALI I SISTEMI – Furijeova transformacija slike

- ▶ Najčešće se izračunava u opsegu $0 \leq \omega_m, \omega_n < 2\pi$
- ▶ Kada se prikazuje spektar u obliku slike, koordinatni početak je u levom gornjem uglu slike – **standardna FT**
- ▶ Standardna FT nije pogodna za uočavanje bitnih karakteristika jer su niske učestanosti smeštene po uglovima slike FT, pa se uvodi **optička FT** koja se dobija pomeranjem FT po obe ose učestanosti za π te je koordinatni početak, a i niske učestanosti, sad smešten u centar slike FT

5.
početak

A	B
C	D

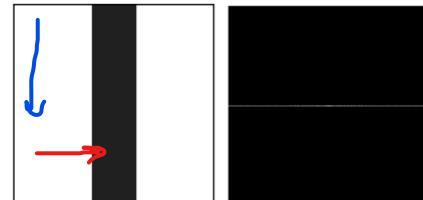
(a)

D	C
B	A

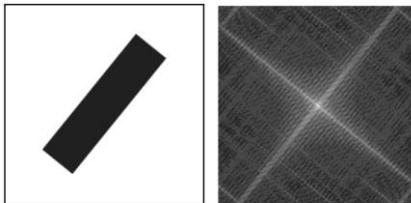
(b)

DVODIMENZIONALNI SIGNALI I SISTEMI – Furijeova transformacija slike

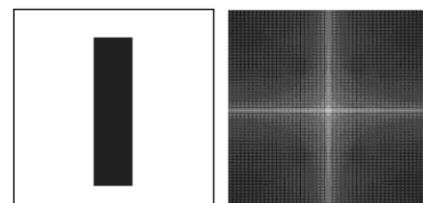
- ▶ Furijeova transformacija binarnih slika



Slika 2.2 Binarna slika i njen amplitudski spektar.



Slika 2.4 Rotirana binarna slika i njen amplitudski spektar.



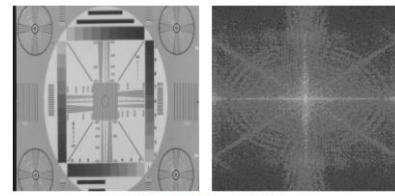
Slika 2.3 Složenja binarna slika i njen amplitudski spektar.

DVODIMENZIONALNI SIGNALI I SISTEMI – Furijeova transformacija slike

- ▶ Furijeova transformacija složenijih slika



Slika 2.5 Slika Katedrala i njen amplitudski spektar.



Slika 2.6 TV test slika i njen amplitudski spektar.

OSOBINE SVETLOSTI I VIZUELNOG SISTEMA

OSOBINE SVETLOSTI I VIZUELNOG SISTEMA

- ▶ Svetlost - EM zračenje koje pobuđuje vizuelni sistem čoveka i čija je talasna **dužina**
 $350 \text{ nm} \leq \lambda \leq 780 \text{ nm}$
- ▶ Svetlosni izvor – svako telo koje emituje svetlost:
 - ▶ Primarni izvori – proizvode sopstveno zračenje (Sunce, električne svetiljke, sveće)
 - ▶ Sekundarni izvori – reflektuju ili čine difuznim postojće **zračenje**

OSOBINE SVETLOSTI I VIZUELNOG SISTEMA

- ▶ Kod proučavanja svetlosti postoje 2 tipa veličina:

- ▶ Radiometrijske veličine (ne uzimaju u obzir karakteristike posmatrača)

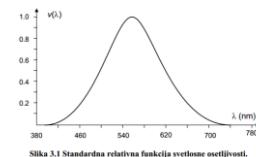
- ▶ **Gustina** fluksa zračenja $f(x,y,\lambda) = \rho(x,y,\lambda)I(\lambda)$

$$e_r(x,y) = \int_0^{\infty} f(x,y,\lambda)d\lambda$$

- ▶ **Iradijansa** (ozračenost) $e_r(x,y) = \int_0^{\infty} f(x,y,\lambda)d\lambda$
- ▶ Fluks zračenja $P = \iint_{x,y} e_r(x,y)dx dy$

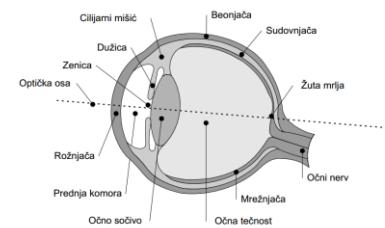
- ▶ Fotometrijske veličine (u većoj ili manjoj meri uzimaju u obzir karakteristike posmatrača)

- ▶ **Osvetljenost** $l(x,y) = k \int_0^{\infty} f(x,y,\lambda)v(\lambda)d\lambda$
- ▶ Svetlosni fluks $\Phi = \iint_{x,y} l(x,y)dx dy$



OSOBINE SVETLOSTI I VIZUELNOG SISTEMA

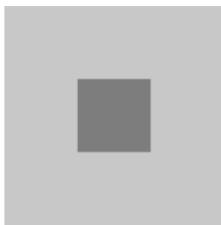
- ▶ Vizuelni sistem čoveka
- ▶ Oko se sastoji od:
 - ▶ **zaštitnih i pomoćnih delova** (očni kapci, obrve, trepavice, suzne žlezde, vežnjača i očni mišići),
 - ▶ **optičkog dela** - bitni za formiranje slike objekta (rožnjača, tečnost prednje komore, sočivo i staklasto telo koje popunjava zadnju očnu komoru) i
 - ▶ **fotoreceptora** (specijalizovane nervne ćelije koje se nalaze u mrežnjači, štapići – omogućavaju vid pri niskim osvetljenostima i čepići - boja).



OSOBINE SVETLOSTI I VIZUELNOG SISTEMA

► SJAJNOST I KONTRAST

- **Luminansa** jednog objekta je nezavisna od luminanse drugog objekta.
- Ovo subjektivno ne **važi** – uvodi se pojam subjektivne osvetljenosti - **SJAJNOST**



Slika 3.3 Eksperiment za formulaciju Weber-ovog zakona

- Smanjivanjem sjajnosti pozadine, smanjuje se i mogućnost diferenciranja nijansi
- Mera osetljivosti vizuelnog sistema je najmanja **razlika** osvetljenosti koju vizuelni sistem detektuje u $\geq 75\%$ slučajeva
- Weberov zakon (I_s – osvetljenost pozadine, $\Delta I + I_s$ – osvetljenost objekta)

$$\frac{|\Delta I|_{\min}}{I_s} \approx 0.02$$

OSOBINE SVETLOSTI I VIZUELNOG SISTEMA

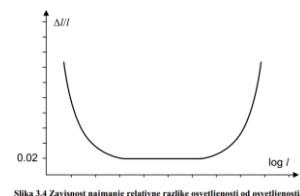
► SJAJNOST I KONTRAST

- Zamenom odnosa osvetljenosti diferencija **alom**, dobija se sledeći **izraz**:

$$\frac{dl}{l} = d(\log l) = d(c)$$

- **Kontrast**:

$$c = a_0 + a_1 \log l$$

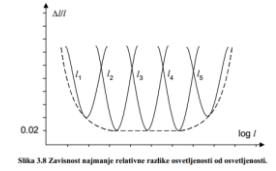
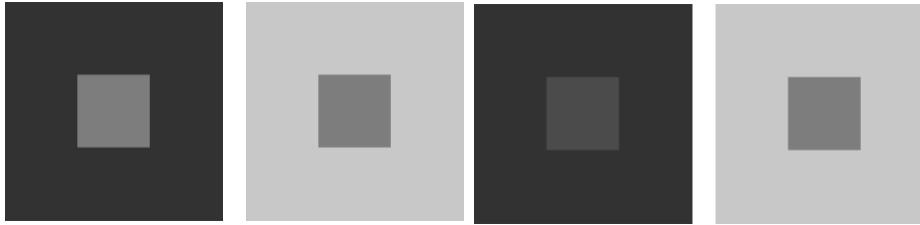


Slika 3.4 Zavisnost najmanje relativne razlike osvetljenosti od osvetljenosti.

OSOBINE SVETLOSTI I VIZUELNOG SISTEMA

► SJAJNOST I KONTRAST

- ▶ Weberov zakon nije sasvim tačan jer postoji nešto što se naziva **adaptacijom na sjajnost** – sjajnost zavisi od **pozadine**

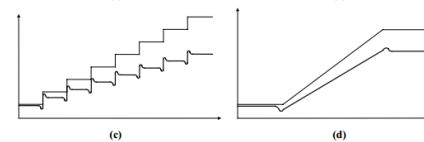
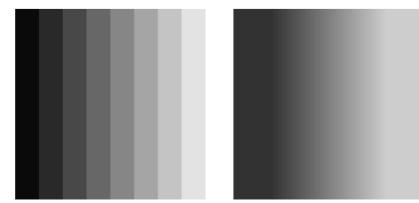


Slika 3.8 Zavisnost najmanje relativne razlike osvetljenosti od osvetljenosti.

OSOBINE SVETLOSTI I VIZUELNOG SISTEMA

► MAHOV EFEKAT

- ▶ Prostorna interakcija osvetljenosti susednih **objekata**
- ▶ Iako je osvetljenost konstantna po **prugama**, sjajnost deluje **različito**



OSOBINE SVETLOSTI I VIZUELNOG SISTEMA

▶ BOJA

- ▶ Važan nosilac vizuelnih informacija
- ▶ Ljudsko oko može razlikovati nekoliko hiljada nijansi boja, ali samo nekoliko desetina nijansi sive
- ▶ Ljudsko oko sadrži 3 tipa čepića – maksimalno osetljivi na crvenu, maksimalno osetljivi na zelenu i maksimalno osetljivi na plavu boju
- ▶ Kolor sistemi

▶ Aditivni i subtraktivni



Slika 3.13 Primarne i sekundarne boje u aditivnom kolor sistemu.



Slika 3.14 Primarne i sekundarne boje u subtraktivnom kolor sistemu.

Hvala na pažnji!