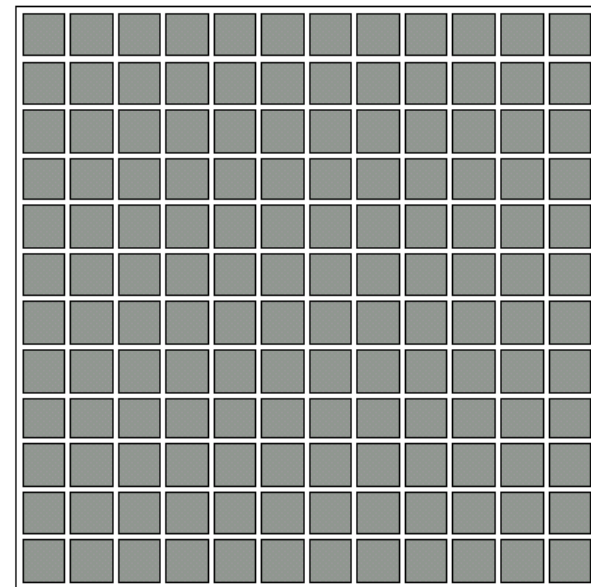
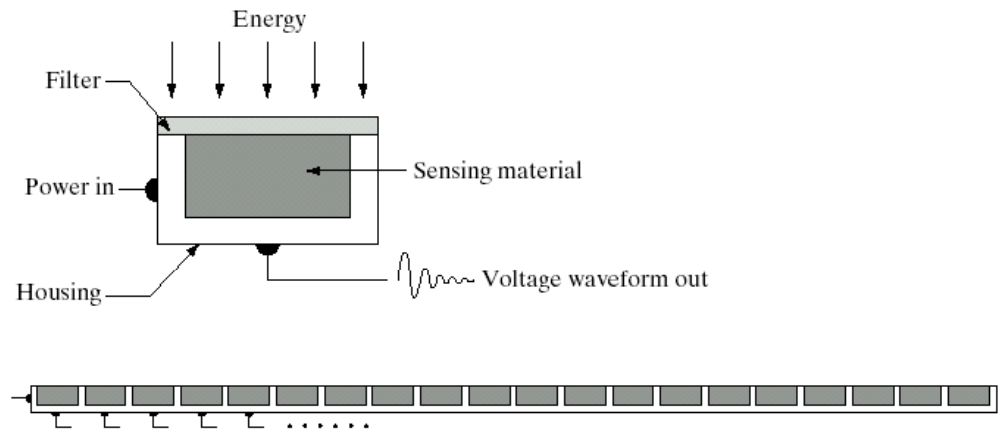


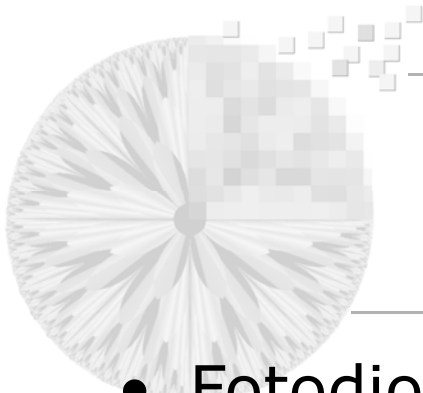
# OSNOVNI POJMOVI U DIGITALNOJ OBRADI SLIKE

## POGLAVLJE 2

## SENZORI SLIKE

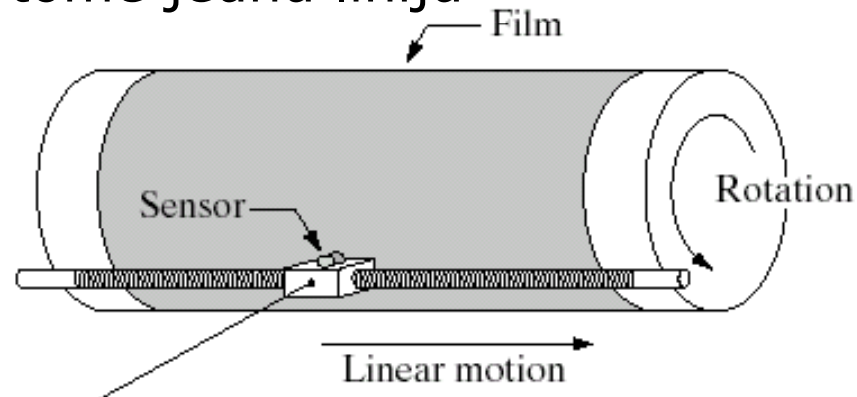
- Energija na koju je senzor osetljiv transformiše se u električnu
- Digitalizacijom analogne električne veličine dobija se digitalna slika
- Tri osnovna tipa
  - Tačkasti
  - Linijski
  - Matrični





## SENZORI SLIKE: Tačkasti

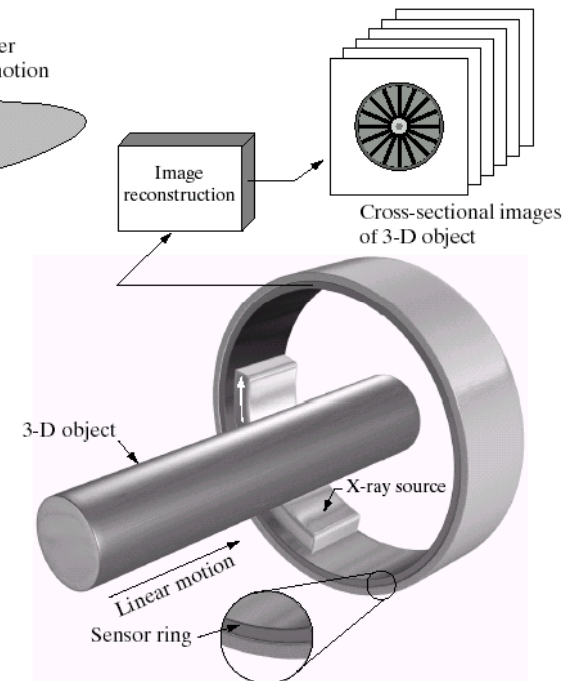
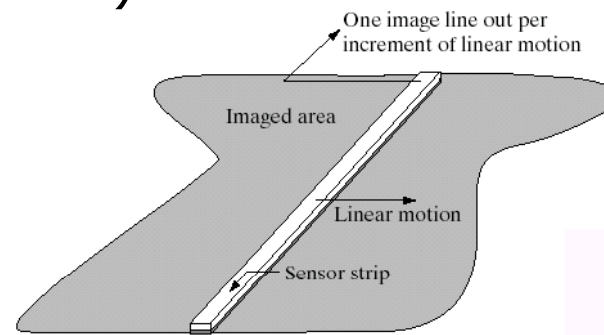
- Fotodioda
  - Izlazni napon proporcionalan svetlosti
  - Upotreba optičkih filtara povećava selektivnost po učestanosti (zeleni filter prouzrokuje na izlazu veći napon ako je prisutna zelena boja)
- Formiranje 2D slike: kretanje senzora po  $x$  i  $y$  osi
  - Skeniranje filma u visokoj rezoluciji - pri jednom koraku rotacije senzor prelazi sa leve na desnu stranu bubnja skenirajući pri tome jednu liniju





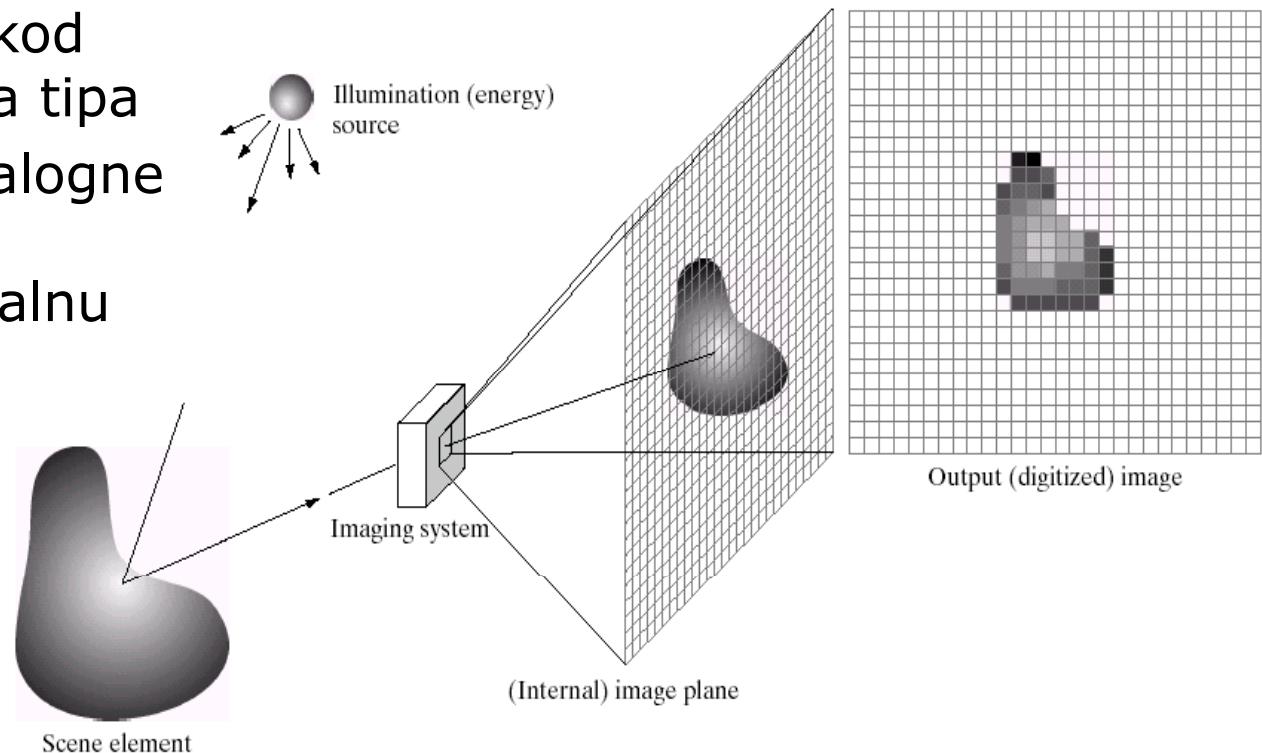
## SENZORI SLIKE: Linijski

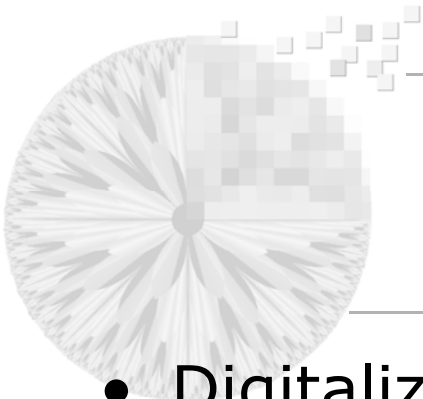
- Veći broj tačkastih senzora u liniji
- Kretanjem senzora normalno na liniju formira se slika
  - Snimanje teritorije linijskim senzorom na trupu aviona
  - Ravni skeneri (*Flatbed*)
- Linijski senzor u formi prstena
  - U medicini i industriji (CAT)
  - Omogućava dobijanje poprečnog snimka 3D objekta



## SENZORI SLIKE: Matrični

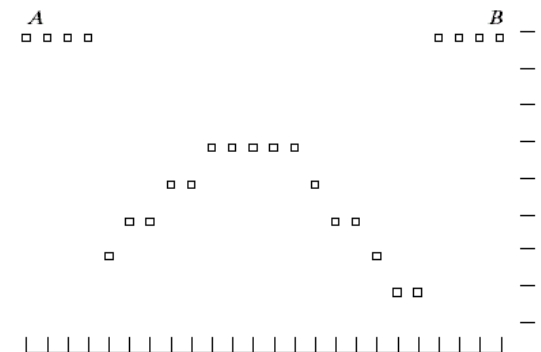
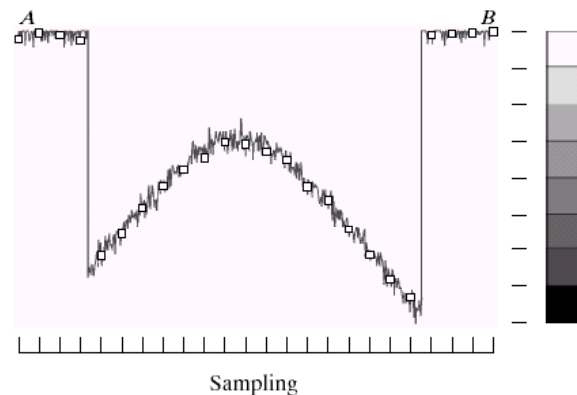
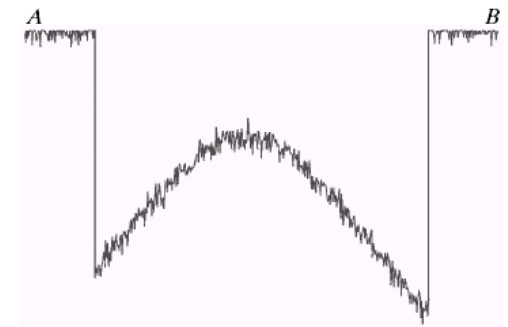
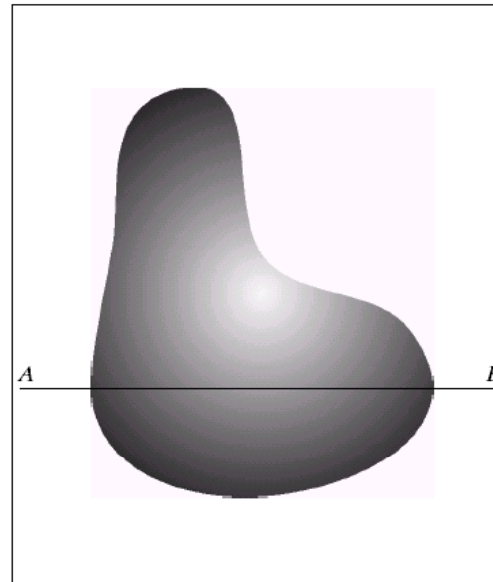
- Tipična struktura u digitalnim kamerama - CCD
  - Izlaz svake ćelije proporcionalan je integralu svetlosne energije
  - Nije neophodno kretanje kao kod prethodna dva tipa
  - Digitalne i analogne komponente generišu digitalnu sliku





## DIGITALIZACIJA SLIKE

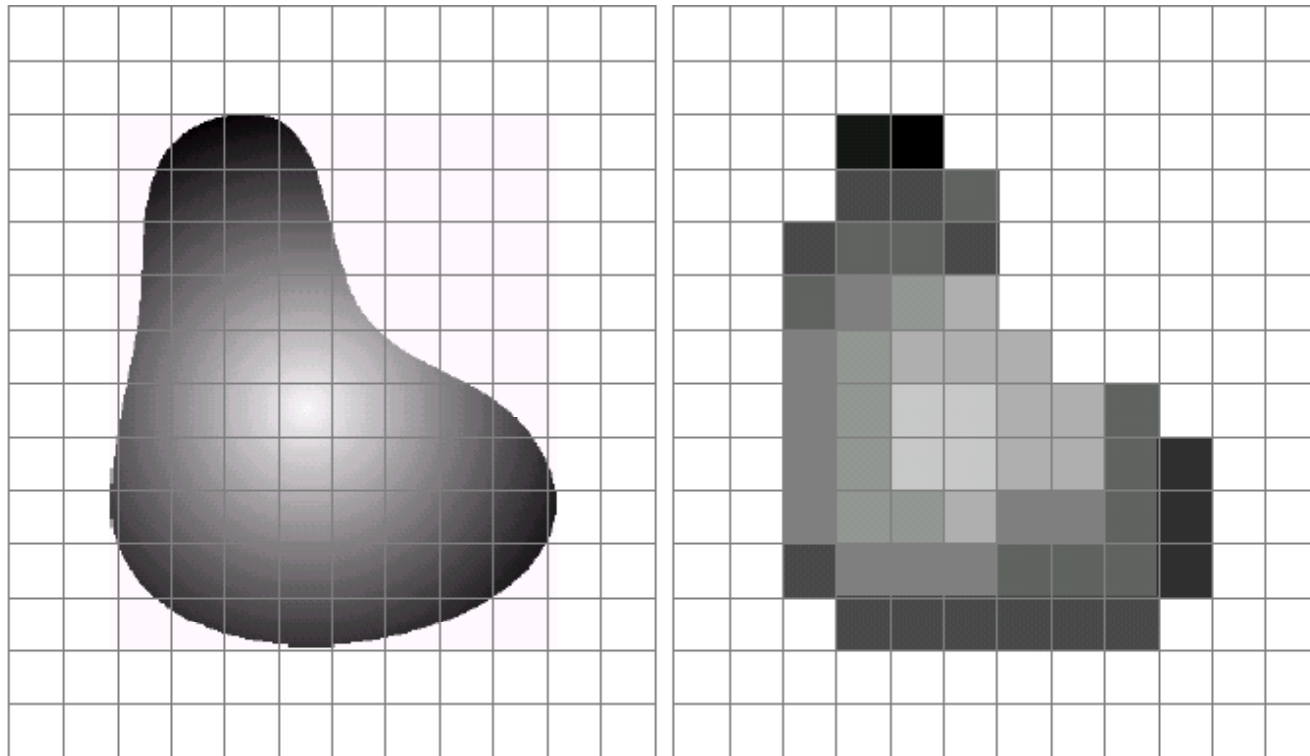
- Digitalizacija tačkastim senzorom
  - Rezoluciju kontroliše mehanički sklop
  - Veoma visoka rezolucija
  - Ograničenja su u optičkim komponentama





## DIGITALIZACIJA SLIKE

- Digitalizacija matričnim senzorom
  - Kvalitet slike zavisi od prostorne rezolucije (broja piksela) i broja kvantizacionih nivoa (nijansi)





## REPREZENTACIJA SLIKE

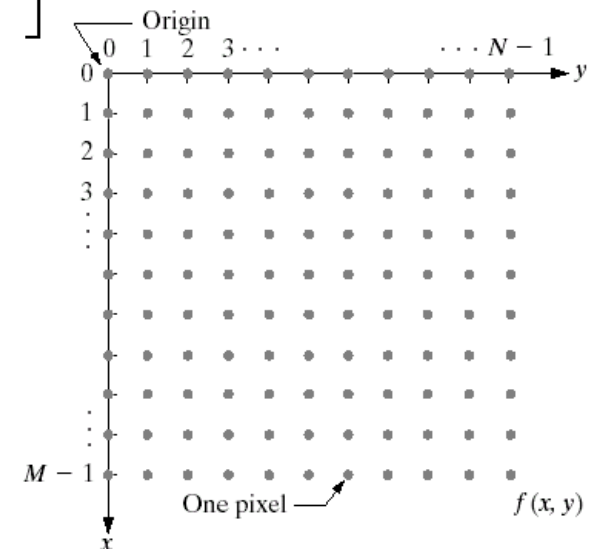
- Slika predstavljena u obliku matrice dimenzija  $M \times N$
- Svaka tačka naziva se **piksel** – *picture element*
- Piksel može imati jednu od  $L$  nijansi u sivoj skali

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0, 0) & f(0, 1) & \dots & f(0, N-1) \\ f(1, 0) & f(1, 1) & \dots & f(1, N-1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f(M-1, 0) & f(M-1, 1) & \dots & f(M-1, N-1) \end{bmatrix}$$

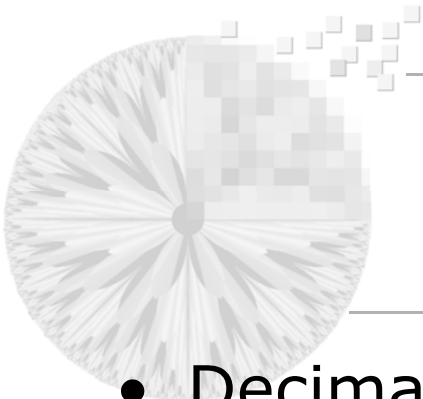
$$(x, y) \in \mathbb{Z}^2, f \in \mathbb{Z}$$

$$A = \begin{bmatrix} a_{0,0} & a_{0,1} & \dots & a_{0,N-1} \\ a_{1,0} & a_{1,1} & \dots & a_{1,N-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{M-1,0} & a_{M-1,1} & \dots & a_{M-1,N-1} \end{bmatrix}$$

$$a_{ij} = f(x = i, y = j) = f(i, j)$$







## PROSTORNA REZOLUCIJA

- Decimacija (*subsampling*) sa korakom 2
  - Svaka druga vrsta i svaka druga kolona
  - U svakom koraku površina slike smanjuje se 4 puta

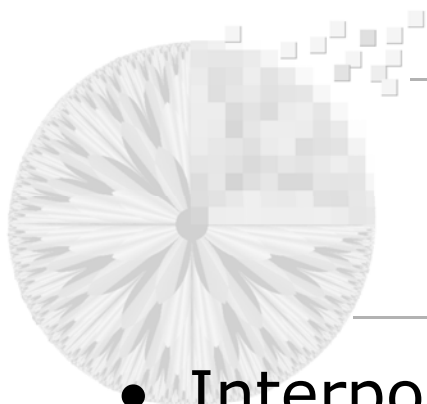


128

256

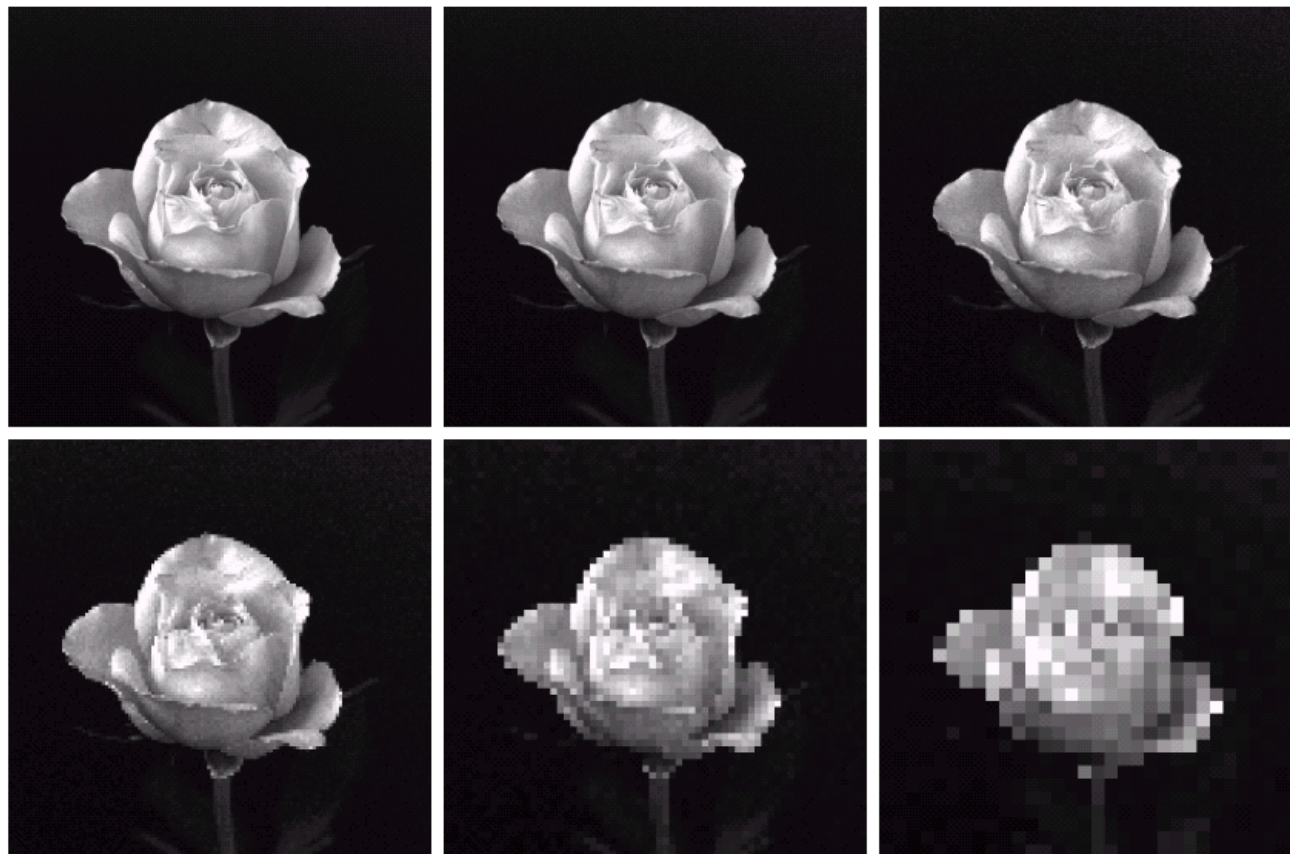
512

1024



## PROSTORNA REZOLUCIJA

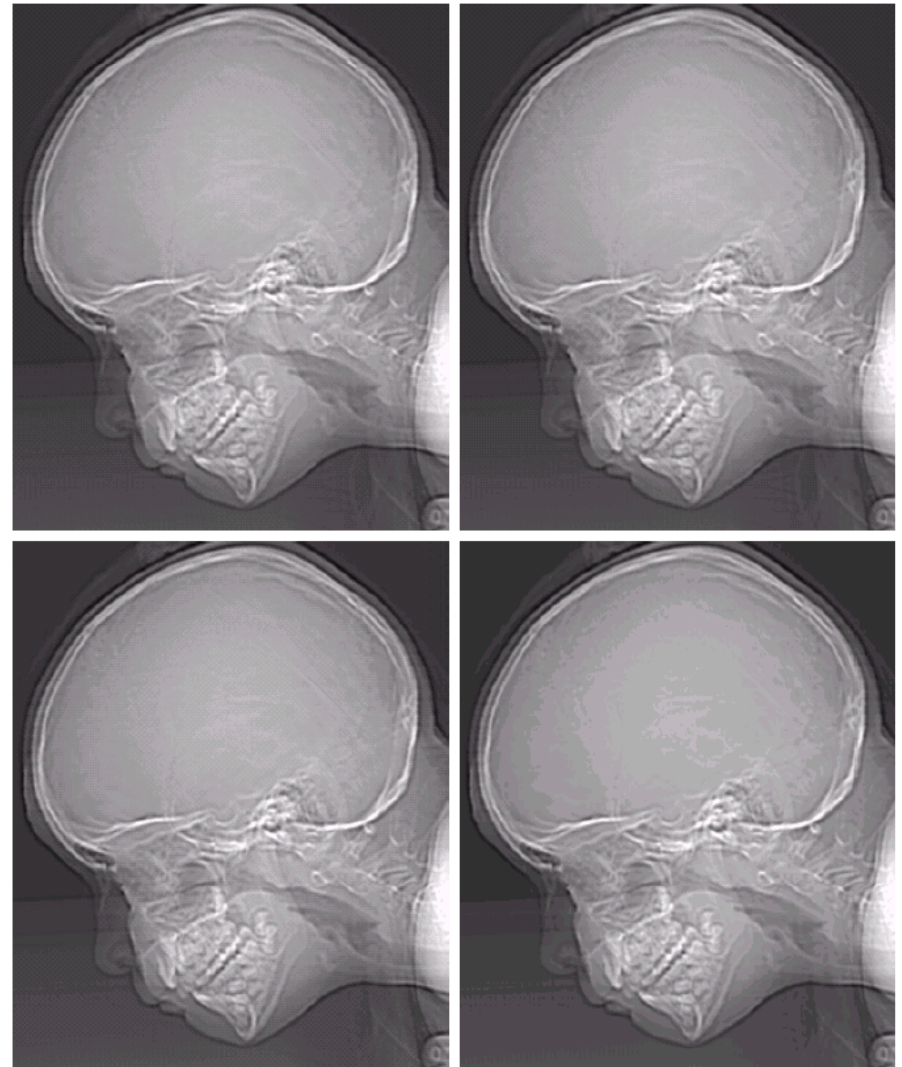
- Interpolacija na 1024x1024 piksela replikacijom vrsta i kolona





## AMPLITUDSKA REZOLUCIJA

- Efekat amplitudske rezolucije
  - Prostorna rezolucija je konstantna - CAT slika sa 452x374 piksela
- Broj nivoa sivog (bita po pikselu) se smanjuje
  - 256 nivoa (8 bita)
  - 128 nivoa (7 bita)
  - 64 nivoa (6 bita)
  - 32 nivoa (5 bita)
- Standard - 8 bita
  - Nekad 16 bita (medicina)

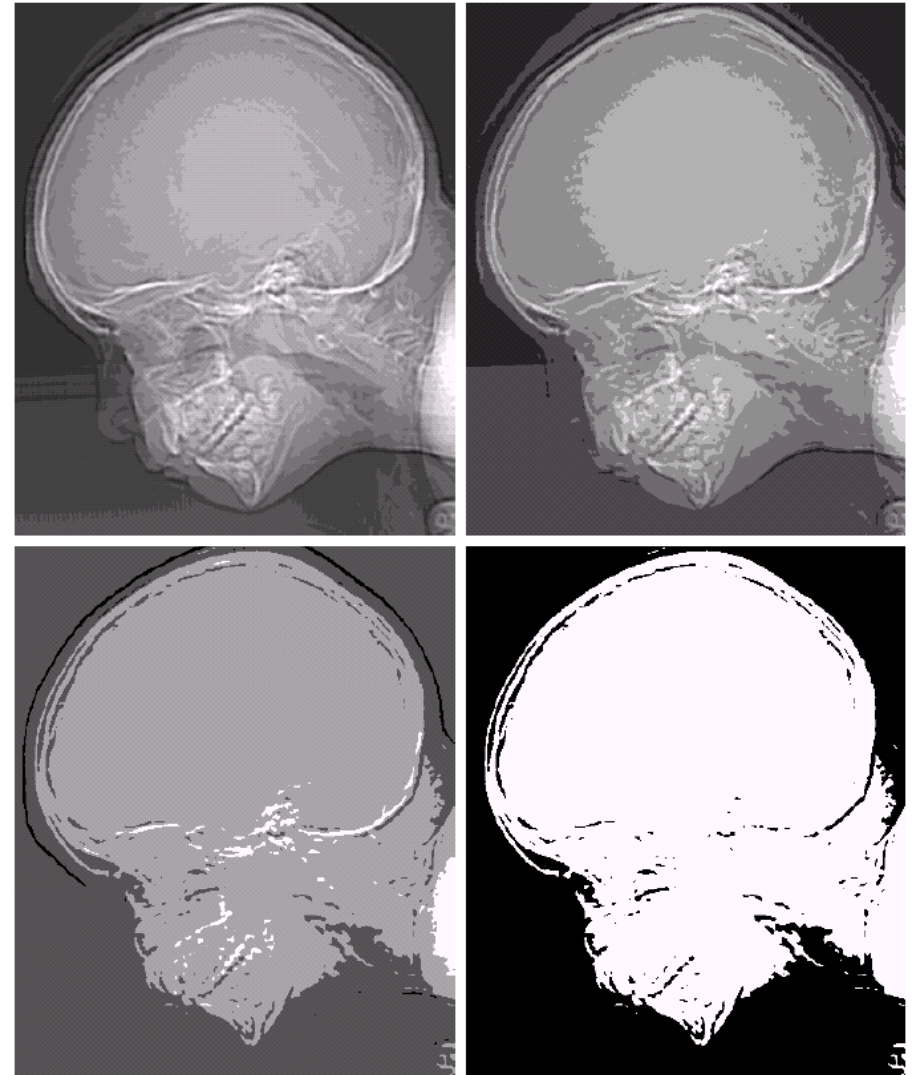






## AMPLITUDSKA REZOLUCIJA

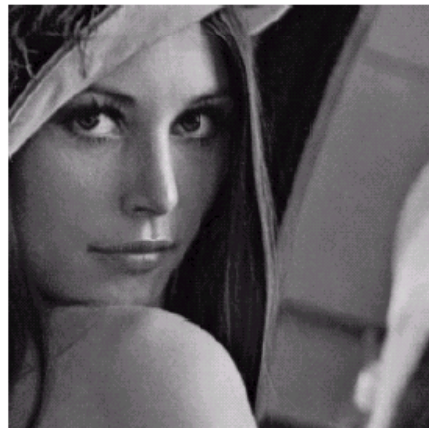
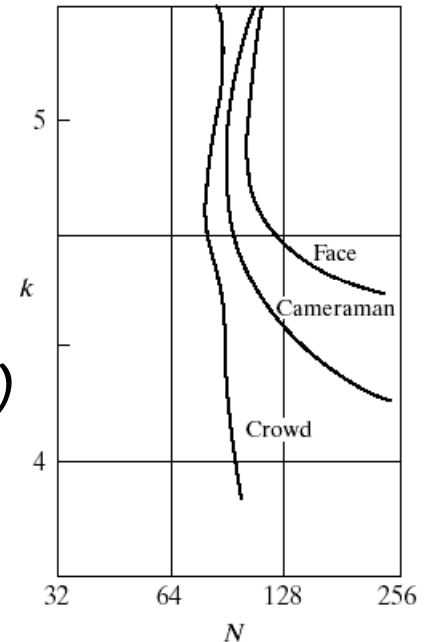
- Broj nivoa sivog (bita po pikselu) se smanjuje
  - 16 nivoa (4 bita)
  - 8 nivoa (3 bita)
  - 4 nivoa (2 bita)
  - 2 nivoa (1 bit)
- Pojava lažnih kontura (*false contouring*)
- Slika sa 256x256 piksela sa 64 nijanse je granica prihvatljivog

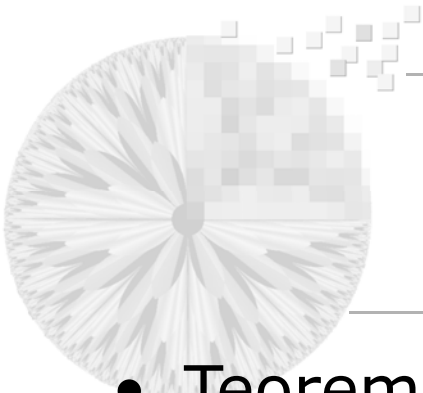




## UTICAJ REZOLUCIJE

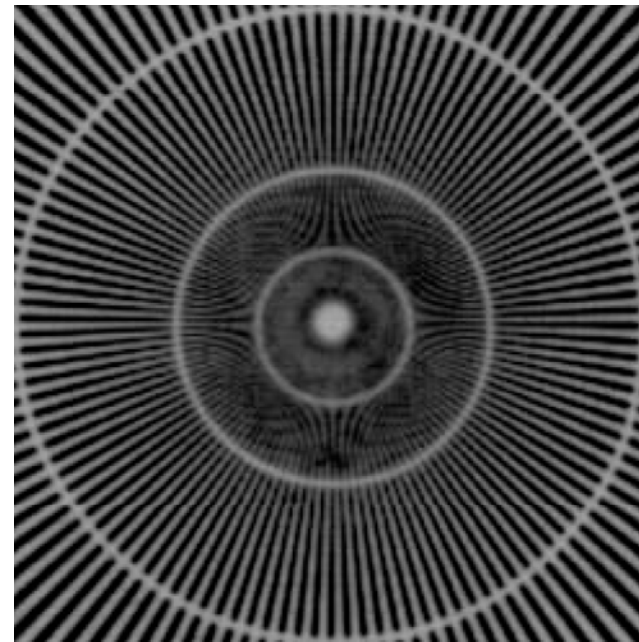
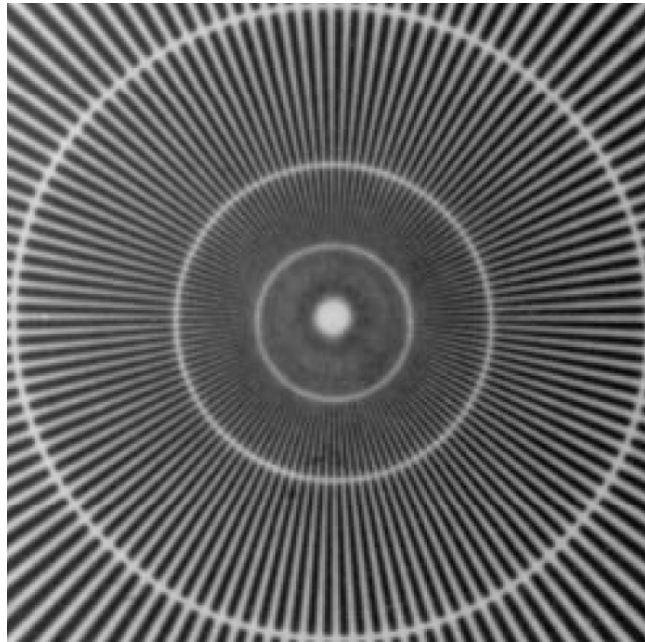
- Različiti parametri za različite slike
  - Lice (*Lena*) – slika bez mnogo detalja
  - Kamerman – slika sa više detalja
  - Gužva – slika sa veoma mnogo detalja
- Subjektivni testovi (*isopreference curve*)
  - Iste ocene za različit broj bita po pikselu  $k$  i dimenziju slike  $N \times N$
  - Slika sa više detalja ima vertikalnu krivu





## UTICAJ REZOLUCIJE - *ALIASING*

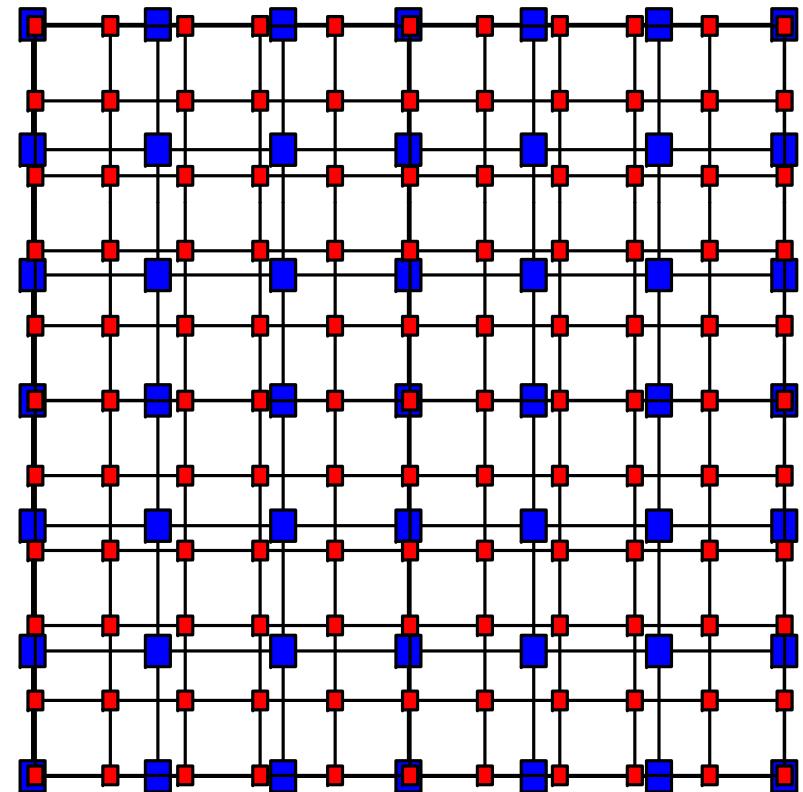
- Teorema o uzorkovanju  $f_s \geq 2 \cdot f_{\max}$
- Ukoliko nije ispunjena, visoke učestanosti će se pojaviti na mestu niskih – *aliasing*
- Ovo se u optici manifestuje u vidu *Moiré* efekta

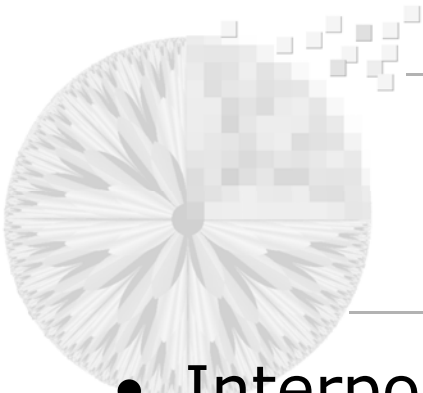




## PROSTORNA REZOLUCIJA

- Povećanje rezolucije – *zooming*
  - Estimacija crvenih piksela na osnovu vrednosti plavih
- Smanjenje rezolucije – *shrinking*
  - Estimacija plavih piksela na osnovu vrednosti crvenih
  - NF filtriranje da bi se izbegao *aliasing*





## PROSTORNA REZOLUCIJA

- Interpolacija najbližim susedom – *nearest neighbor*
  - Novi piksel dobija vrednost (euklidski) najbližeg piksela originalne slike (koristi se samo jedan piksel)
  - Najjednostavniji metod, ali se javlja mozaik efekat

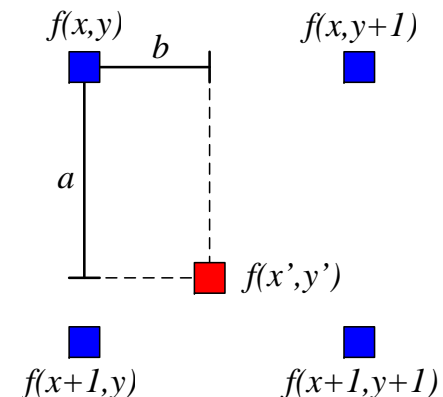
- Bilinearna interpolacija

- Nova vrednost dobija se na osnovu četiri susedna piksela

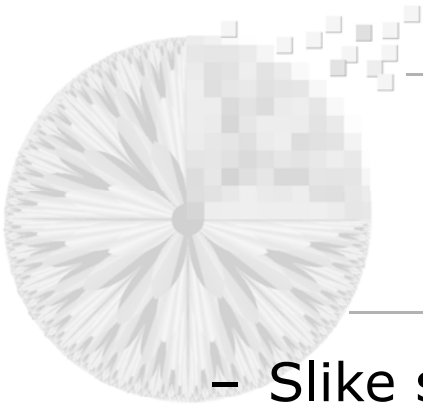
$$f(x', y') = (1 - a) [(1 - b)f(x, y) + bf(x, y + 1)] \\ + a [(1 - b)f(x + 1, y) + bf(x + 1, y + 1)]$$

- Složenije interpolacije

- Nova vrednost se određuje na osnovu šire okoline i na osnovu različitih 2D funkcija
  - Računarski zahtevne metode







## PROSTORNA REZOLUCIJA

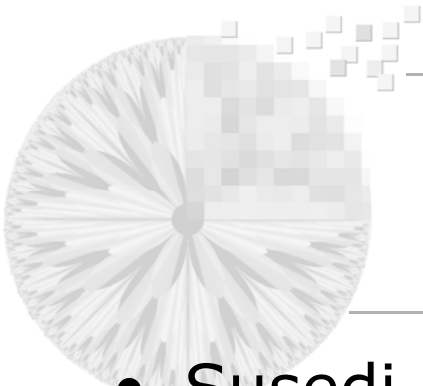
- Slike sa 1024x1024 piksela dobijene od slika sa 128x128, 64x64, 32x32 piksela, respektivno

- Najbliži sused



- Bilinearna interpolacija





## RELACIJE IZMEĐU PIKSELA

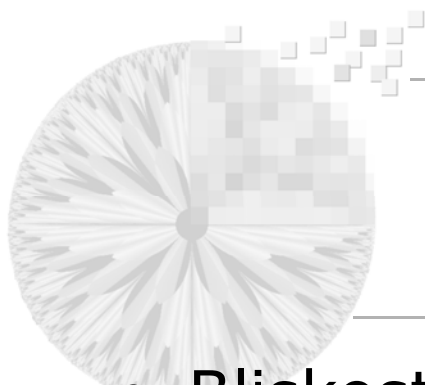
- Susedi piksela  $p$  sa koordinatama  $(x, y)$
- $N_4(p)$  - 4 po vertikali i horizontali
  - Svi su na jediničnom rastojanju od  $(x, y)$
- $N_D(p)$  - 4 po dijagonalama
- $N_8(p)$  – po svim pravcima

$$N_4(p) = \{(x + 1, y), (x - 1, y), (x, y + 1), (x, y - 1)\},$$

$$N_D(p) = \{(x + 1, y + 1), (x + 1, y - 1), (x - 1, y + 1), (x - 1, y - 1)\},$$

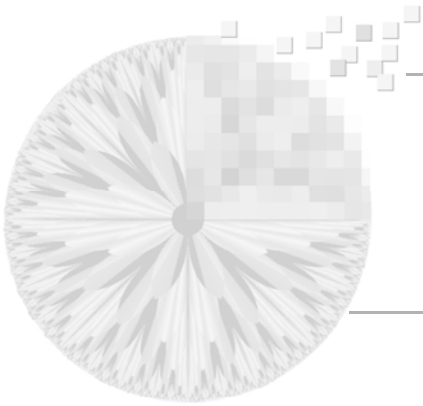
$$N_8(p) = N_4(p) \cup N_D(p)$$

- Pikseli  $p$  i  $q$  su 4-susedni ako je  $q$  u  $N_4(p)$
- Pikseli  $p$  i  $q$  su 8-susedni ako je  $q$  u  $N_8(p)$



## RELACIJE IZMEĐU PIKSELA

- Bliskost (*adjacency*)
  - $V$  – skup vrednosti nijansi pomoću kojeg se definiše bliskost (*adjacency*)
    - U binarnoj slici,  $V=\{1\}$  skup svih piksela koji imaju vrednost 1
    - U sivoj slici,  $V$  je neki podskup skupa sa 256 vrednosti
- **4-bliski** su pikseli  $p$  i  $q$  sa vrednostima iz  $V$  ako je  $q$  u  $N_4(p)$
- **8-bliski** su pikseli  $p$  i  $q$  sa vrednostima iz  $V$  ako je  $q$  u  $N_8(p)$
- **m-bliski** su pikseli  $p$  i  $q$  sa vrednostima iz  $V$  ako je
  - $q$  u  $N_4(p)$ , ili
  - $q$  u  $N_D(p)$  i presek  $N_4(p)$  i  $N_4(q)$  ne sadrži piksele sa vrednostima iz  $V$



## RELACIJE IZMEĐU PIKSELA

0	1	1
0	1	0
0	0	1

0	1	1
0	1	0
0	0	1

0	1	1
0	1	0
0	0	1

- Skupovi  $S1$  i  $S2$  su bliski (*adjacent*) ako su bilo koja dva piksela iz  $S1$  i  $S2$  bliski
- **Putanja** (*path*) od piksela  $p$  sa koordinatama  $(x,y)$  do piksela  $q$  sa koordinatama  $(s,t)$  je skup piksela

$$(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots (x_n, y_n),$$

$$(x_0, y_0) = (x, y), (x_n, y_n) = (s, t),$$

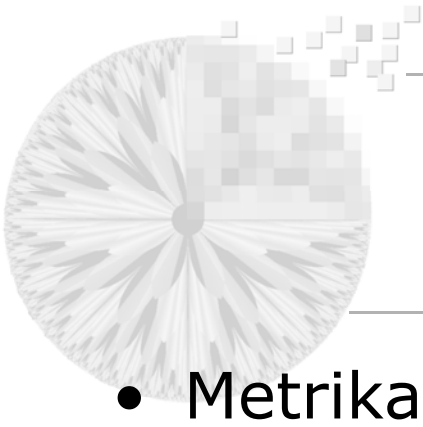
$$(x_i, y_i) \text{ i } (x_{i-1}, y_{i-1}) \text{ su bliski za } 1 \leq i \leq n$$

- Putanja je zatvorena ako je  $(x_0, y_0) = (x_n, y_n)$



## RELACIJE IZMEĐU PIKSELA

- Povezanost (*connectivity*)
  - Pikseli  $p$  i  $q$  su **povezani** u skupu  $S$ , ako između njih postoji putanja koja se sastoji samo od piksela iz  $S$
  - Za svaki piksel  $p$  iz  $S$ , skup piksela koji su sa njim povezani u  $S$  čine **povezanu komponentu** skupa  $S$
  - Ako postoji samo jedna povezana komponenta u skupu  $S$ , tada je  $S$  povezan skup
- Region slike
  - Podskup piksela  $R$  koji je povezan skup predstavlja region
  - **Granica/kontura** (*boundary, border, contour*) regiona  $R$  je skup svih piksela regiona koji imaju jednog ili više suseda koji ne pripadaju skupu  $R$
  - Ako je  $R$  čitava slika, granicu čine prve i poslednje vrste i kolone



## MERE RASTOJANJA PIKSELA

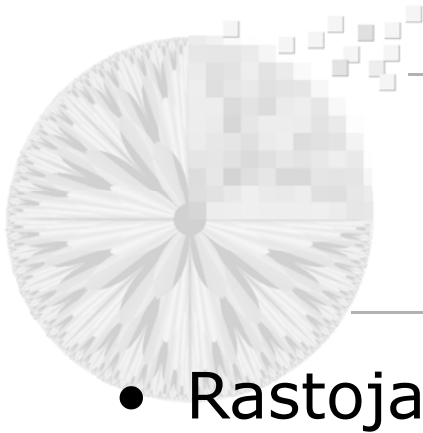
- Metrika

Za piksele  $p, q, z$  sa koordinatama  $(x, y), (s, t), (v, w)$

$D$  je *metrika* ili *funkcija rastojanja* ako važi

1.  $D(p, q) \geq 0$ , ( $D(p, q) = 0$  akko je  $p = q$ ),
2.  $D(p, q) = D(q, p)$ ,
3.  $D(p, z) \leq D(p, q) + D(q, z)$

- Na osnovu ove definicije moguće je formulisati različita rastojanja između piksela
  - Euklidsko rastojanje
  - $D_4$  rastojanje
  - $D_8$  rastojanje



## MERE RASTOJANJA PIKSELA

- Rastojanja

Euklidsko rastojanje između piksela  $p$  i  $q$

$$D_e(p, q) = \sqrt{[(x - s)^2 + (y - t)^2]}$$

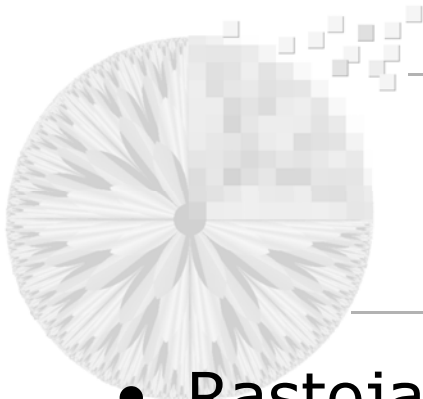
$D_4$  rastojanje (*city-block*) između piksela  $p$  i  $q$

$$D_4(p, q) = |x - s| + |y - t|$$

$D_8$  rastojanje (*chessboard*) između piksela  $p$  i  $q$

$$D_8(p, q) = \max(|x - s|, |y - t|)$$

- $D_4$  i  $D_8$  zavise samo od koordinata, a ne i od putanje
- $D_m$  rastojanje je najkraća  $m$ -putanja između piksela  $p$  i  $q$



## MERE RASTOJANJA PIKSELA

- Rastojanja

- Pikseli koji imaju Euklidsko rastojanje od  $(x,y)$  manje od  $r$  pripadaju krugu prečnika  $r$  opisanog oko piksela  $(x,y)$

- Pikseli koji imaju  $D_4$  rastojanje od  $(x,y)$  manje ili jednako 2

- Pikseli sa  $D_4=1$  su 4-susedi od  $(x,y)$

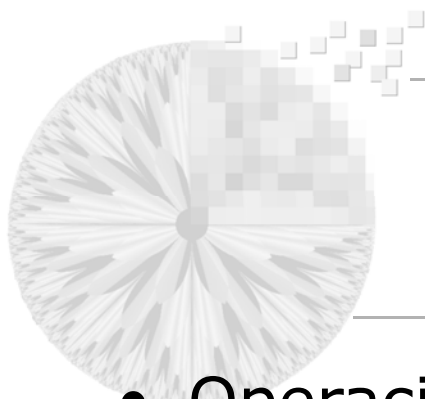
		2		
	2	1	2	
2	1	0	1	2
	2	1	2	
		2		

- Pikseli koji imaju  $D_8$  rastojanje od  $(x,y)$  manje ili jednako 2

- Pikseli sa  $D_8=1$  su 8-susedi od  $(x,y)$

2	2	2	2	2
2	1	1	1	2
2	1	0	1	2
2	1	1	1	2
2	2	2	2	2





## OPERACIJE NAD SLIKAMA

- Operacije na nivou piksela
  - Slike su predstavljene kao matrice, ali se na njima najčešće ne vrše matrice operacije
    - Npr. deljenje slike  $f$  sa slikom  $g$  podrazumeva deljenje vrednosti odgovarajućih piksela u slikama  $f$  i  $g$
    - Slično je i sa ostalim operacijama: invertovanje, logaritam
- Linearne i nelinearne operacije
  - Operator  $H$  čiji su ulaz i izlaz slike je **linearan**, ako za bilo koje dve slike  $f$  i  $g$  i konstante  $a$  i  $b$  važi sledeće

$$H(af + bg) = aH(f) + bH(g)$$

- Ako ovaj uslov nije uvek ispunjen, operator  $H$  je nelinearan

## ZAKLJUČAK

---

- Senzori slike
- Digitalizacija slike
- Reprezentacija slike
- Prostorna rezolucija
- Amplitudska rezolucija
- Interpolacija i decimacija
- *Moiré* efekat (*aliasing*)
- Relacije između piksela
- Mere rastojanja između piksela
- Operacije na nivou piksela