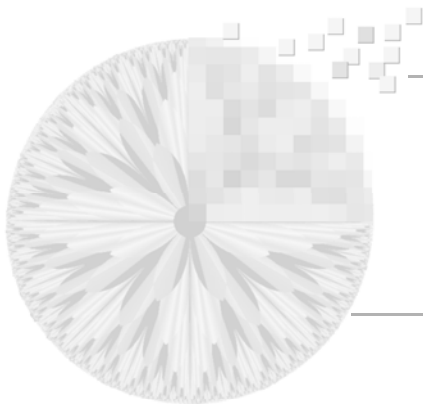


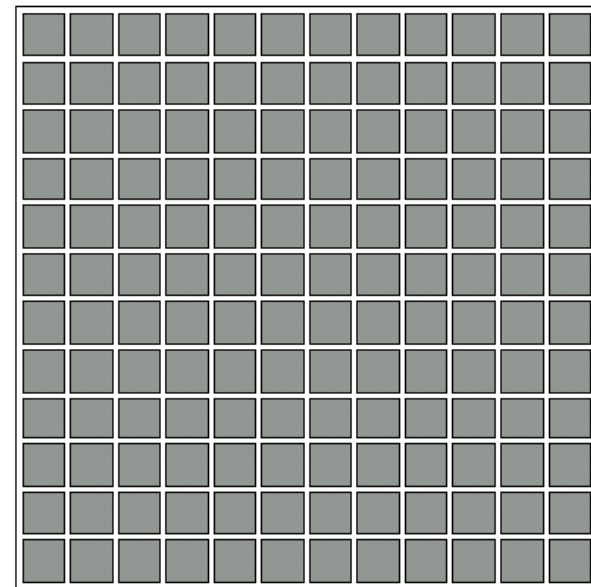
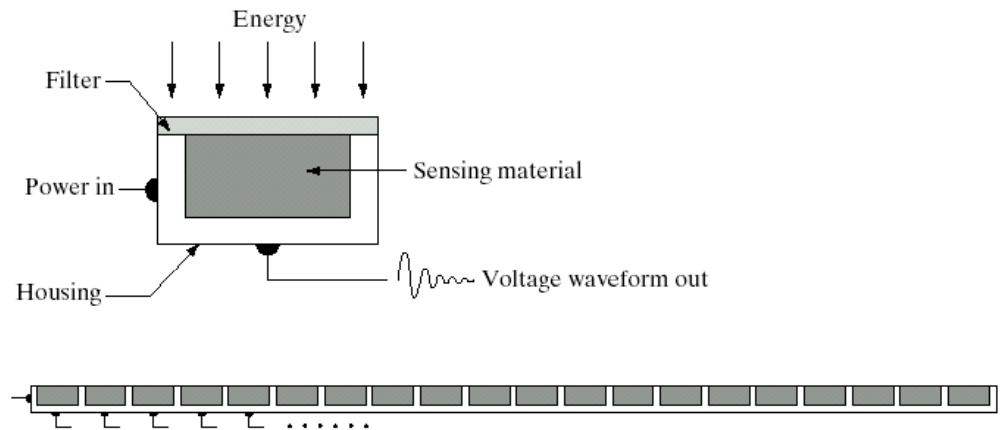


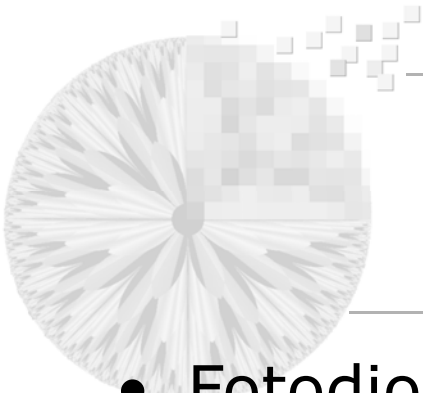
OSNOVNI POJMOVI U DIGITALNOJ OBRADI SLIKE

POGLAVLJE 2

SENZORI SLIKE

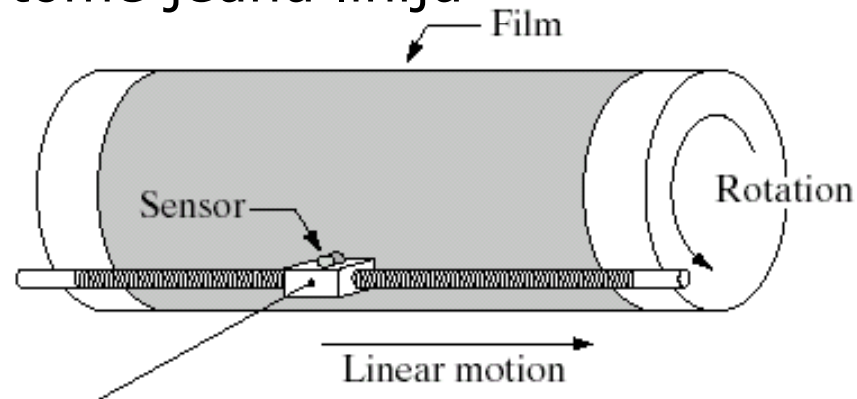
- Energija na koju je senzor osetljiv transformiše se u električnu
- Digitalizacijom analogne električne veličine dobija se digitalna slika
- Tri osnovna tipa
 - Tačkasti
 - Linijski
 - Matrični





SENZORI SLIKE: Tačkasti

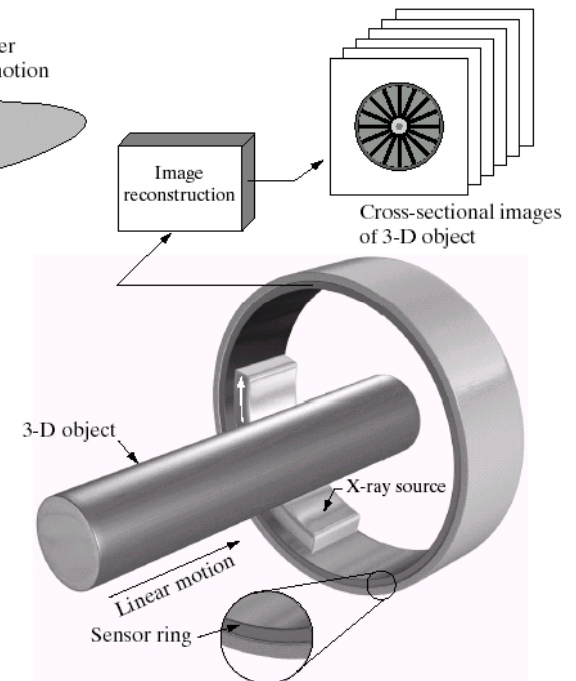
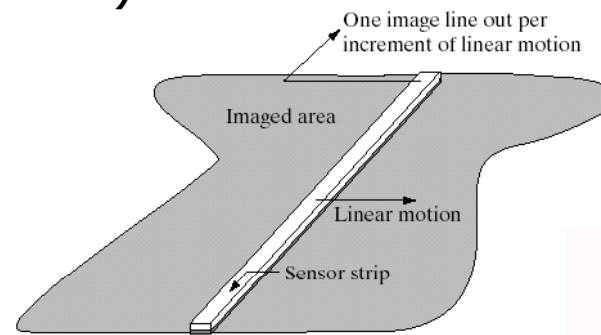
- Fotodioda
 - Izlazni napon proporcionalan svetlosti
 - Upotreba optičkih filtara povećava selektivnost po učestanosti (zeleni filter prouzrokuje na izlazu veći napon ako je prisutna zelena boja)
- Formiranje 2D slike: kretanje senzora po x i y osi
 - Skeniranje filma u visokoj rezoluciji - pri jednom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





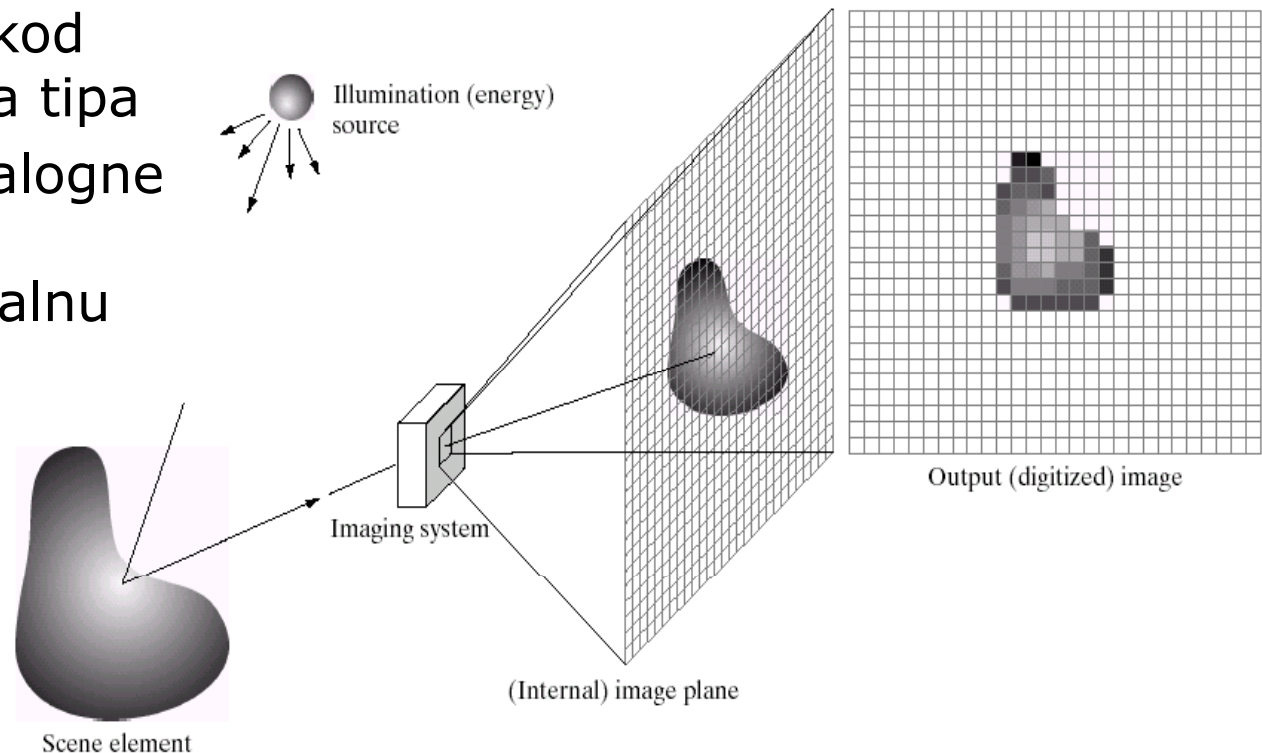
SENZORI SLIKE: Linijski

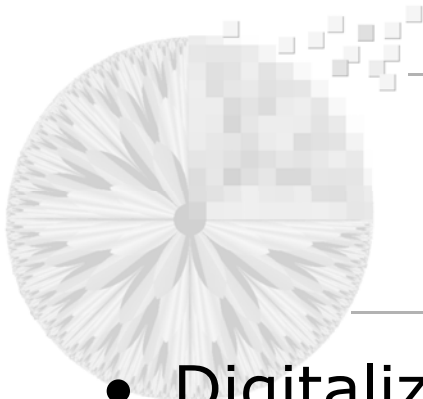
- Veći broj tačkastih senzora u liniji
- Kretanjem senzora normalno na liniju formira se slika
 - Snimanje teritorije linijskim senzorom na trupu aviona
 - Ravni skeneri (*Flatbed*)
- Linijski senzor u formi prstena
 - U medicini i industriji (CAT)
 - Omogućava dobijanje poprečnog snimka 3D objekta



SENZORI SLIKE: Matrični

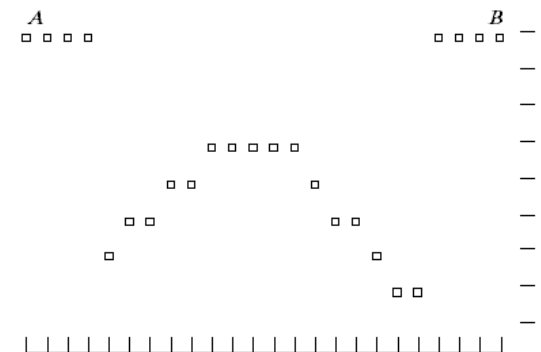
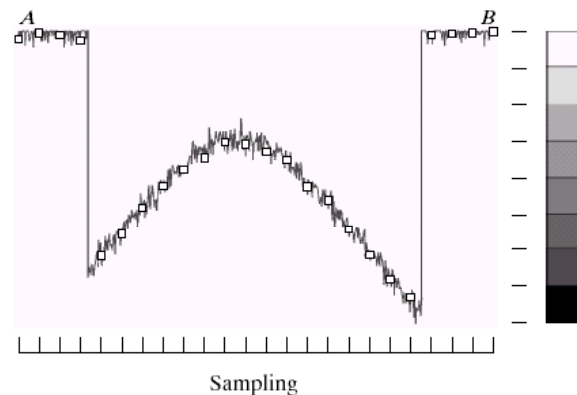
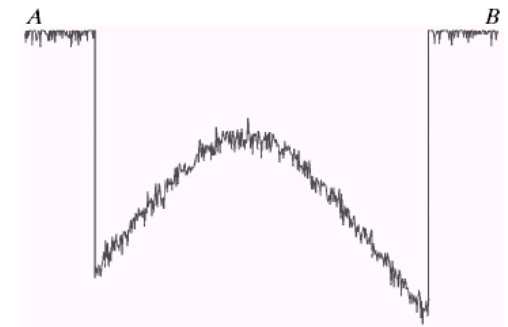
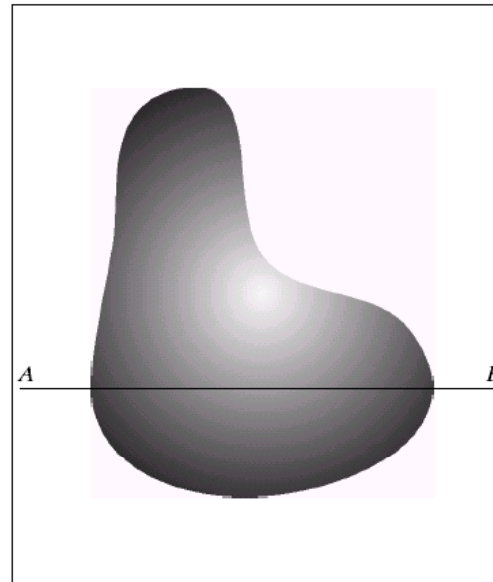
- Tipična struktura u digitalnim kamerama - CCD
 - Izlaz svake ćelije proporcionalan je integralu svetlosne energije
 - Nije neophodno kretanje kao kod prethodna dva tipa
 - Digitalne i analogne komponente generišu digitalnu sliku





DIGITALIZACIJA SLIKE

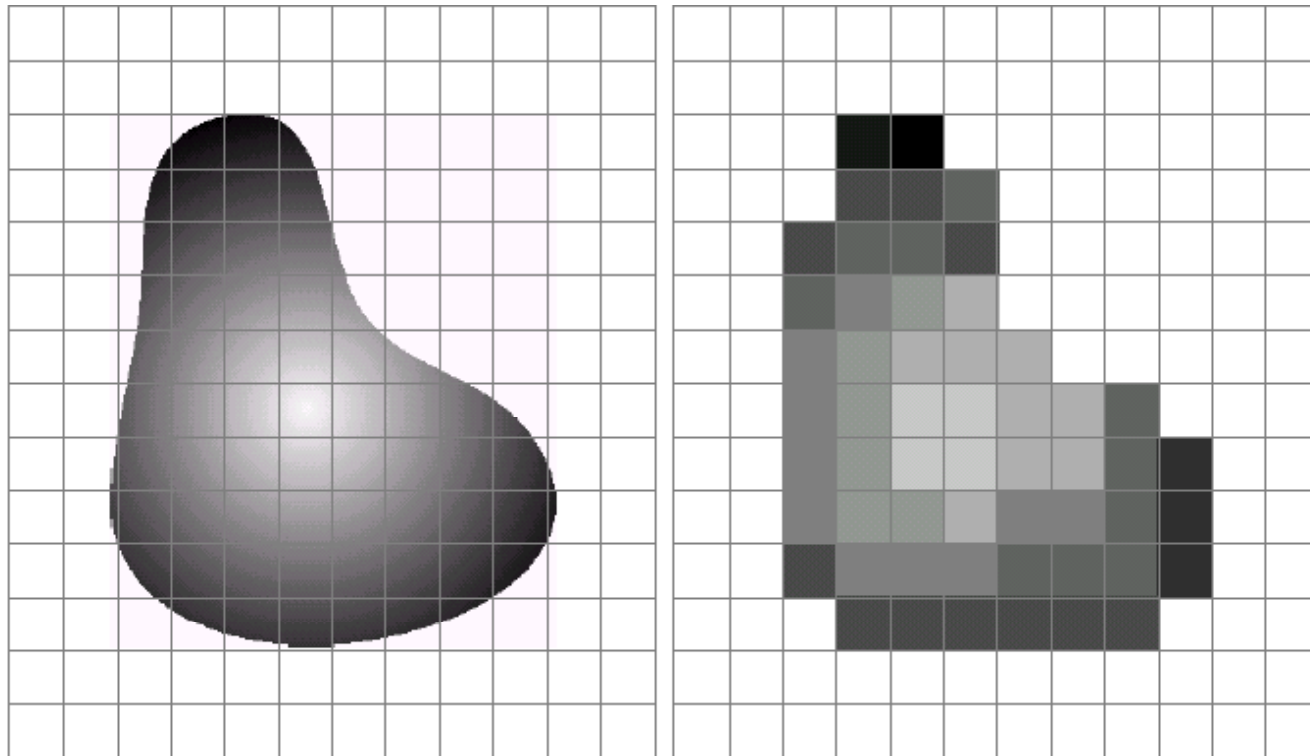
- Digitalizacija tačkastim senzorom
 - Rezoluciju kontroliše mehanički sklop
 - Veoma visoka rezolucija
 - Ograničenja su u optičkim komponentama





DIGITALIZACIJA SLIKE

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





REPREZENTACIJA SLIKE

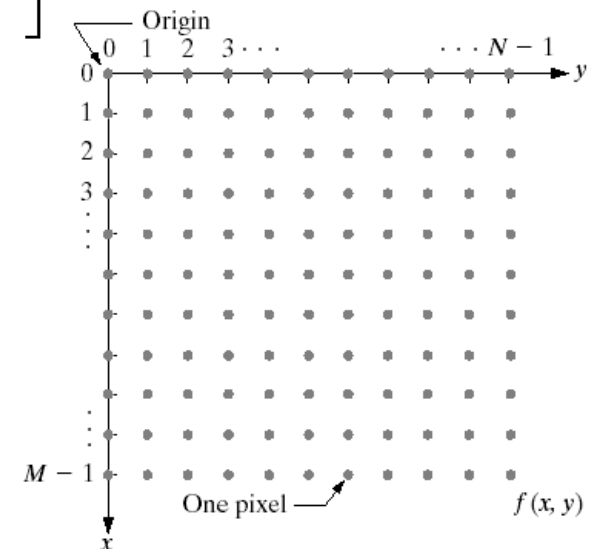
- Slika predstavljena u obliku matrice dimenzija $M \times N$
- Svaka tačka naziva se **piksel** – *picture element*
- Piksel može imati jednu od L nijansi u sivoj skali

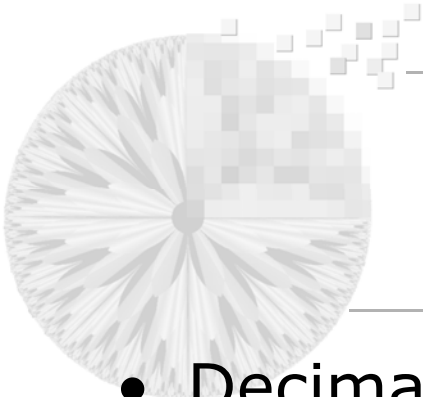
$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0, 0) & f(0, 1) & \dots & f(0, N - 1) \\ f(1, 0) & f(1, 1) & \dots & f(1, N - 1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f(M - 1, 0) & f(M - 1, 1) & \dots & f(M - 1, N - 1) \end{bmatrix}$$

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

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

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





PROSTORNA REZOLUCIJA

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



1024

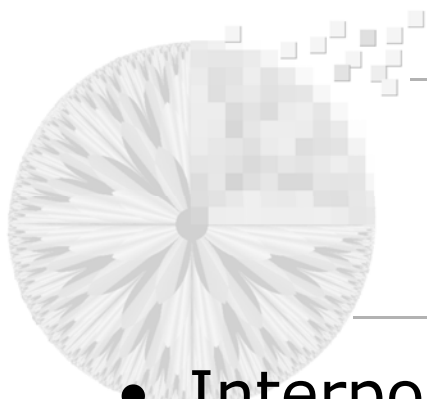
512

256

128

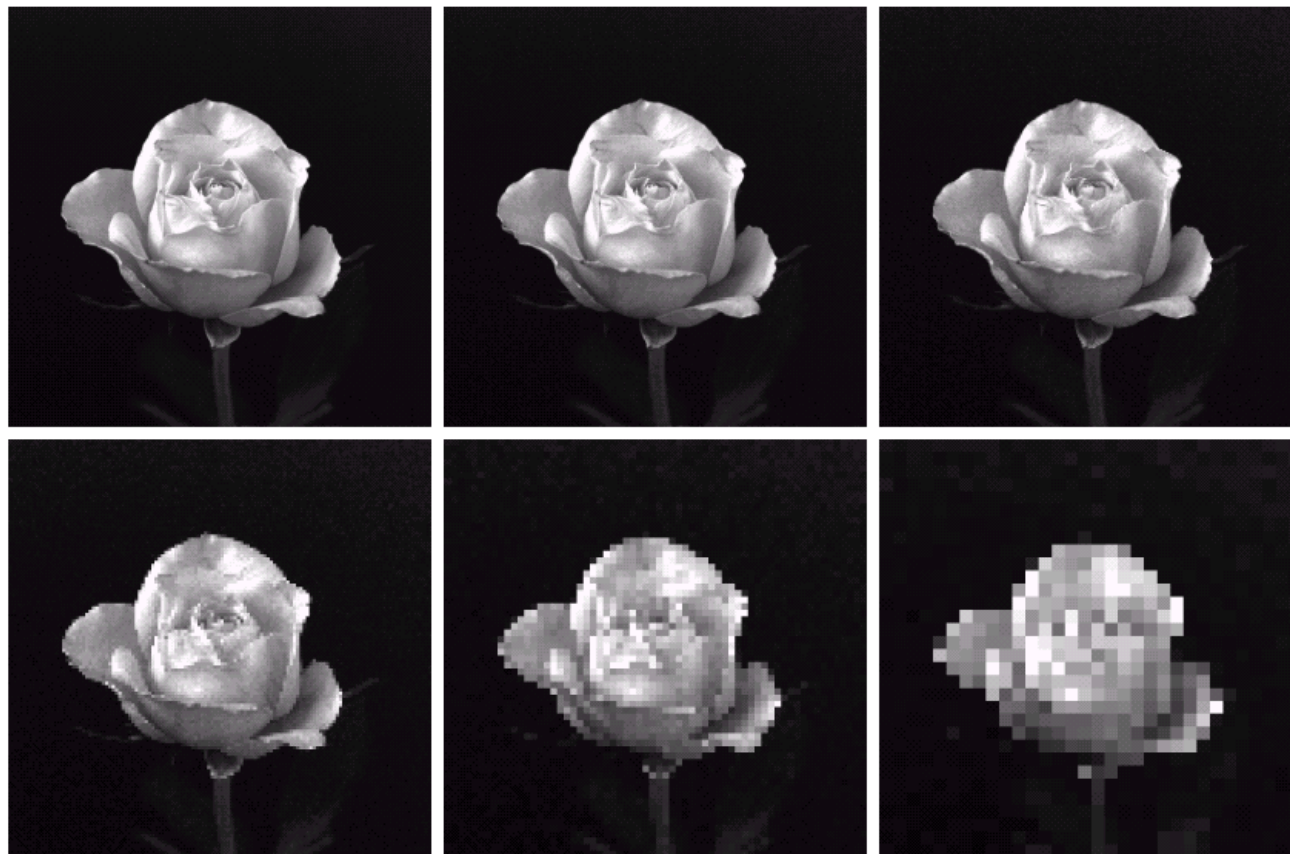
64

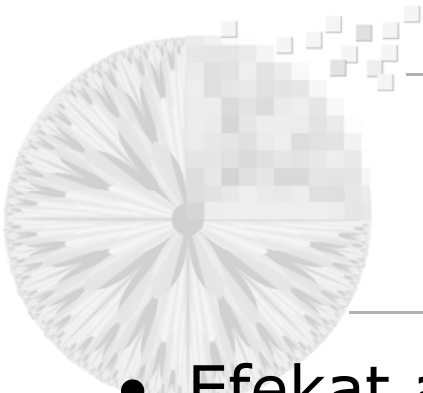
32



PROSTORNA REZOLUCIJA

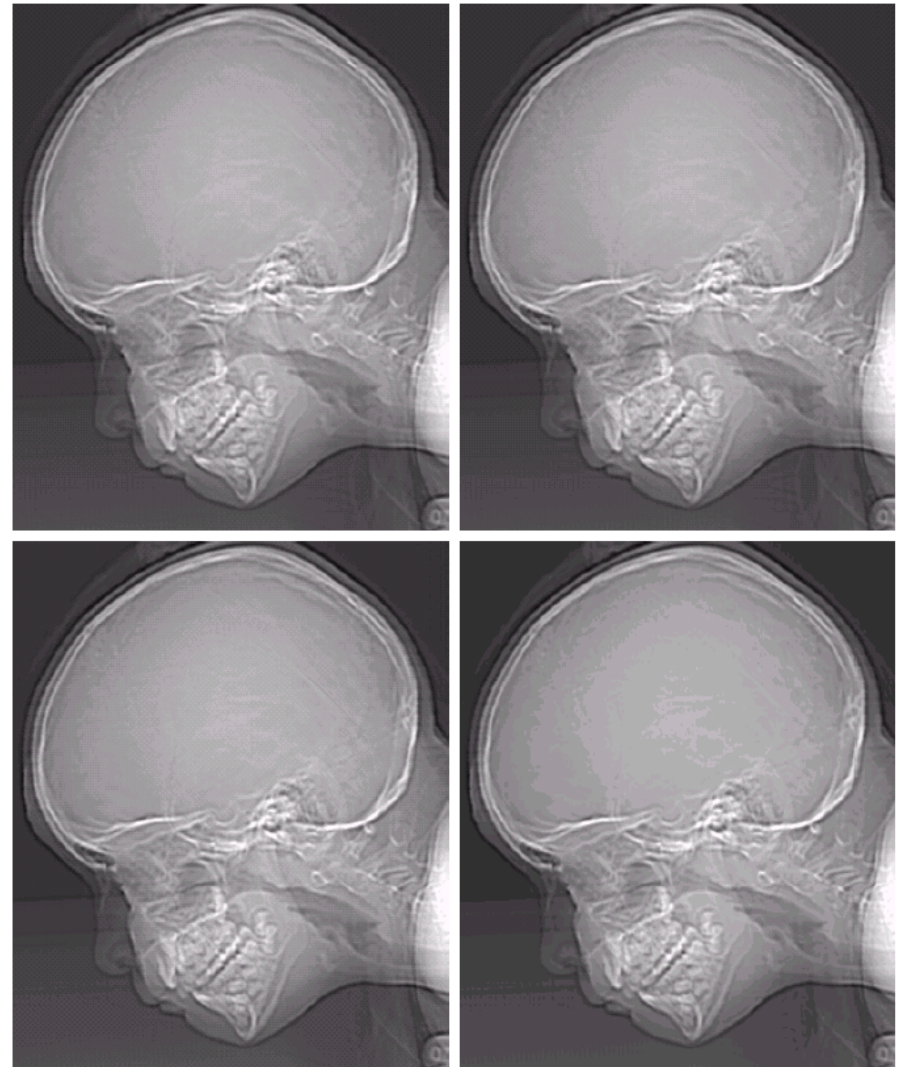
- Interpolacija na 1024x1024 piksela replikacijom vrsta i kolona





AMPLITUDSKA REZOLUCIJA

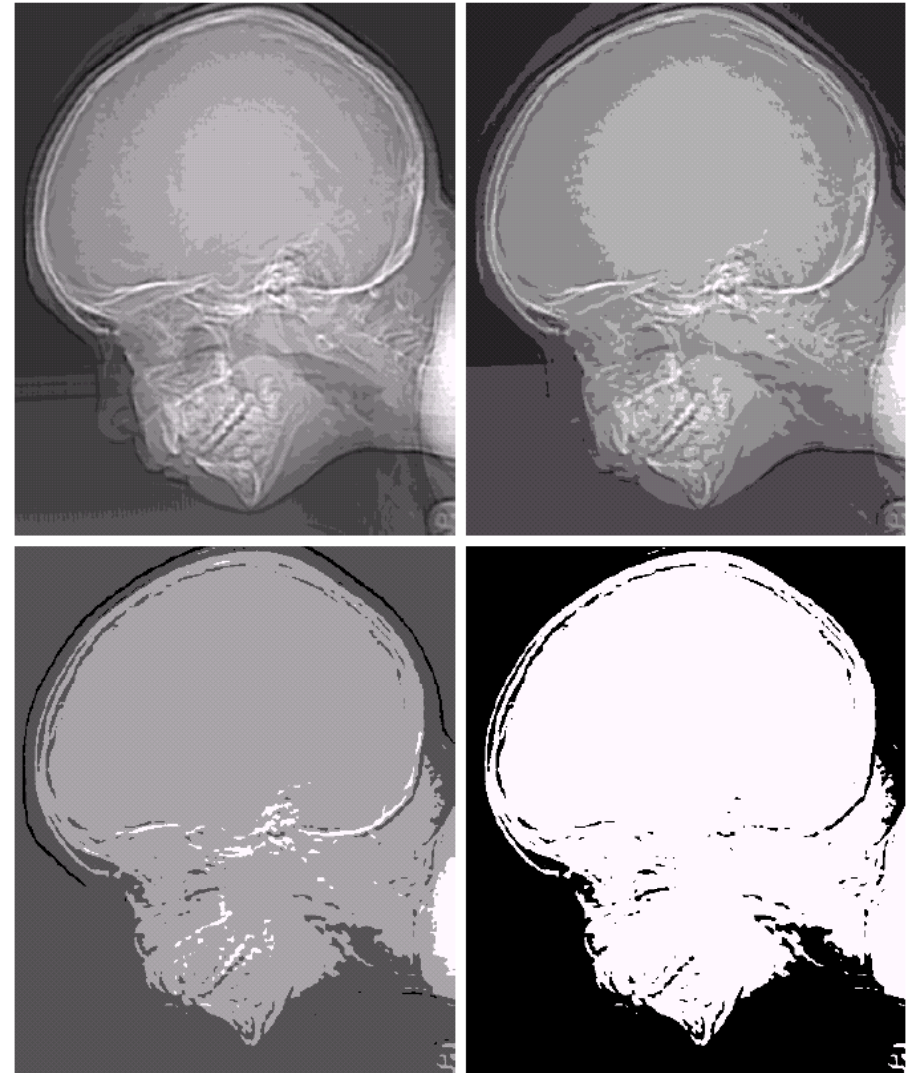
- Efekat amplitudske rezolucije
 - Prostorna rezolucija je konstantna - CAT slika sa 452x374 piksela
- Broj nivoa sivog (bita po pikselu) se smanjuje
 - 256 nivoa (8 bita)
 - 128 nivoa (7 bita)
 - 64 nivoa (6 bita)
 - 32 nivoa (5 bita)
- Standard - 8 bita
 - Nekad 16 bita (medicina)





AMPLITUDSKA REZOLUCIJA

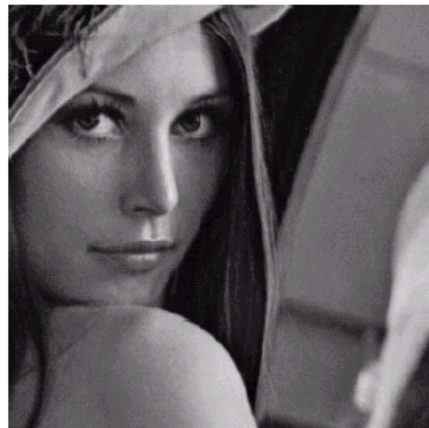
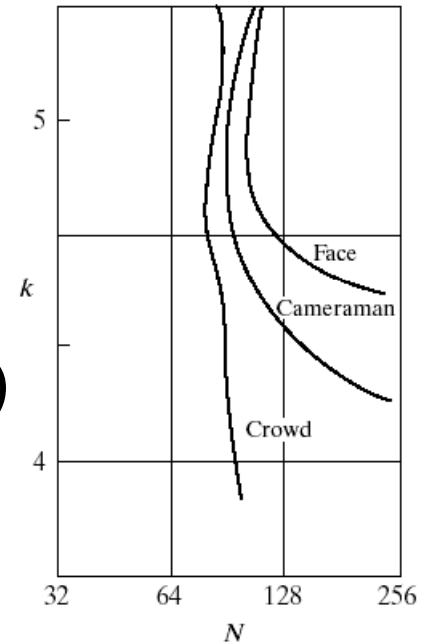
- Broj nivoa sivog (bita po pikselu) se smanjuje
 - 16 nivoa (4 bita)
 - 8 nivoa (3 bita)
 - 4 nivoa (2 bita)
 - 2 nivoa (1 bit)
- Pojava lažnih kontura (*false contouring*)
- Slika sa 256x256 piksela sa 64 nijanse je granica prihvatljivog

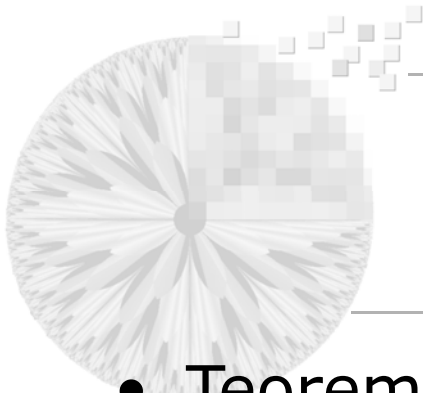




UTICAJ REZOLUCIJE

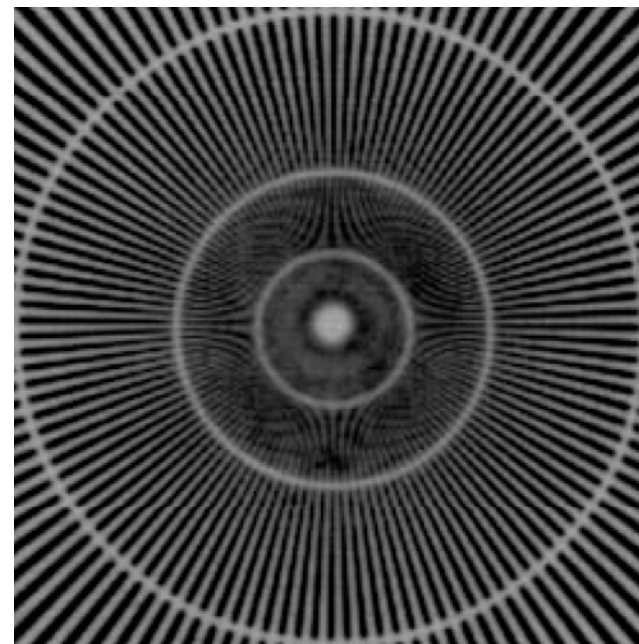
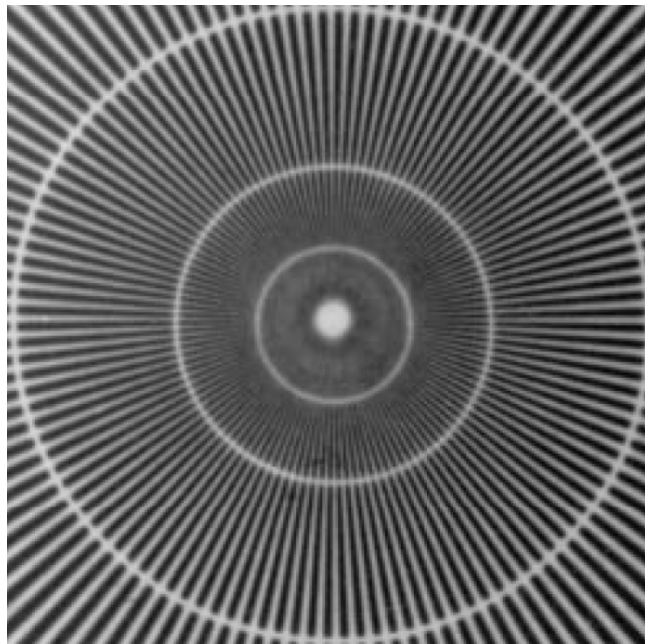
- Različiti parametri za različite slike
 - Lice (*Lena*) – slika bez mnogo detalja
 - Kamerman – slika sa više detalja
 - Gužva – slika sa veoma mnogo detalja
- Subjektivni testovi (*isopreference curve*)
 - Iste ocene za različit broj bita po pikselu k i dimenziju slike $N \times N$
 - Slika sa više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





UTICAJ REZOLUCIJE - ALIASING

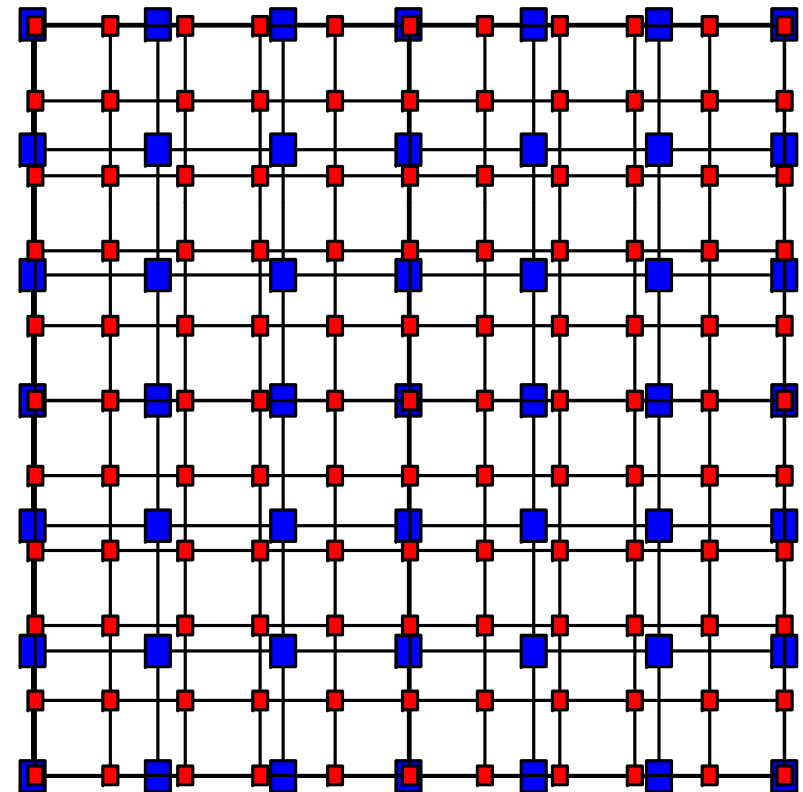
- Teorema o uzorkovanju $f_s \geq 2 \cdot f_{\max}$
- Ukoliko nije ispunjena, visoke učestanosti će se pojaviti na mestu niskih – *aliasing*
- Ovo se u optici manifestuje u vidu *Moiré* efekta

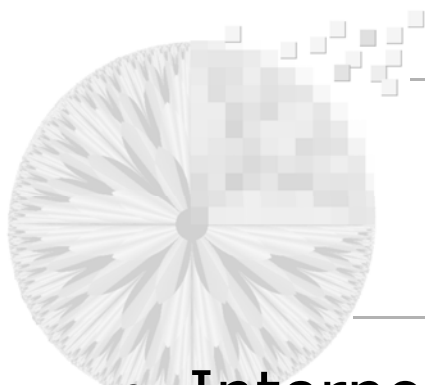




PROSTORNA REZOLUCIJA

- 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

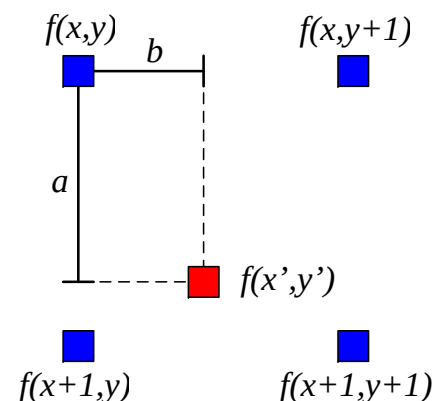
- Bilinearna interpolacija

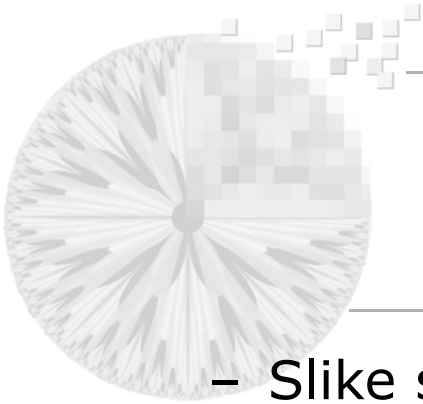
- Nova vrednost dobija se na osnovu četiri susedna piksela

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

- Složenije interpolacije

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





PROSTORNA REZOLUCIJA

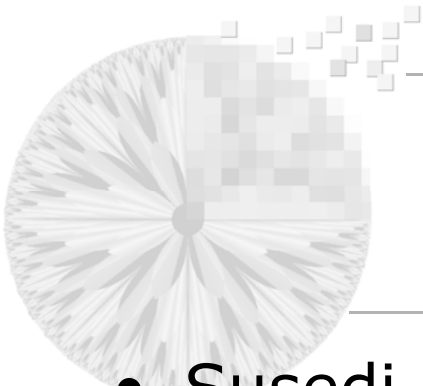
- Slike sa 1024x1024 piksela dobijene od slika sa 128x128, 64x64, 32x32 piksela, respektivno

- Najbliži sused



- Bilinearna interpolacija





RELACIJE IZMEĐU PIKSELA

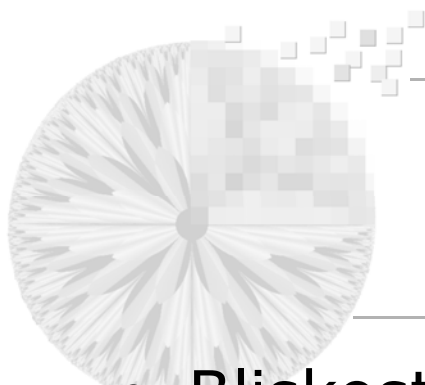
- Susedi piksela p sa koordinatama (x,y)
- $N_4(p)$ - 4 po vertikali i horizontali
 - Svi su na jediničnom rastojanju od (x,y)
- $N_D(p)$ - 4 po dijagonalama
- $N_8(p)$ – po svim pravcima

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

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

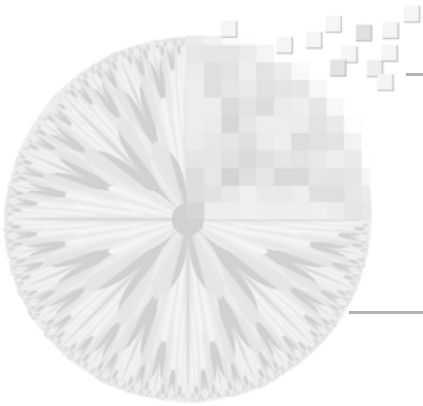
$$N_8(p) = N_4(p) \cup N_D(p)$$

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



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 $q \in N_4(p)$
- **8-bliski** su pikseli p i q sa vrednostima iz V ako je $q \in N_8(p)$
- **m-bliski** su pikseli p i q sa vrednostima iz V ako je
 - $q \in N_4(p)$, ili
 - $q \in N_D(p)$ 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

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

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

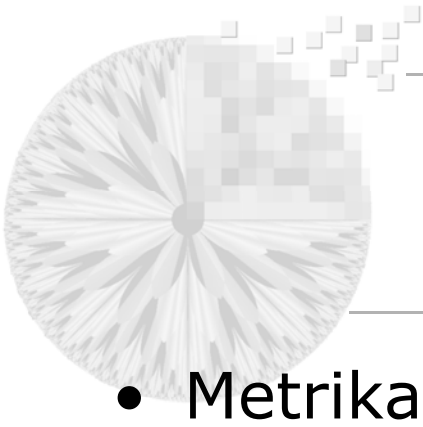
$$(x_i, y_i) \text{ i } (x_{i-1}, y_{i-1}) \text{ su bliski za } 1 \leq i \leq n$$

- 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

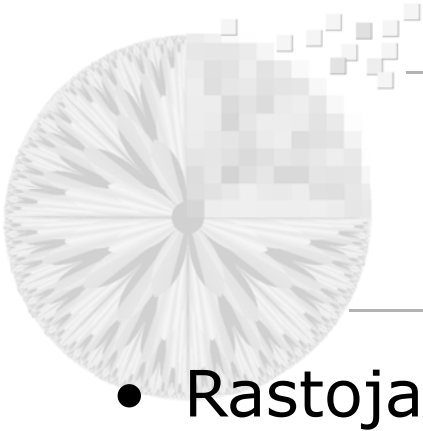
- Metrika

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

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

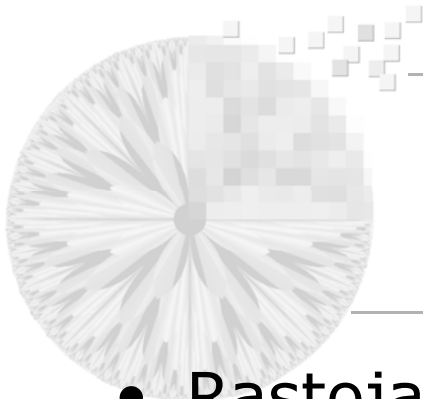
D_4 rastojanje (*city-block*) između piksela p i q

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

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

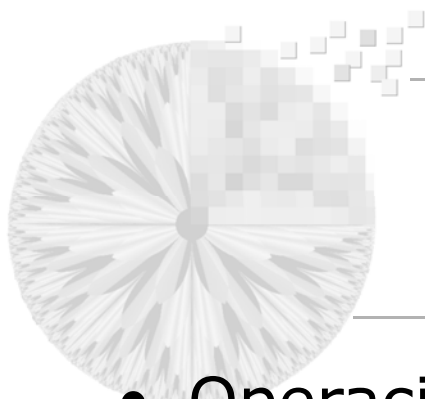
- Pikseli sa $D_4=1$ su 4-susedi od (x,y)

		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