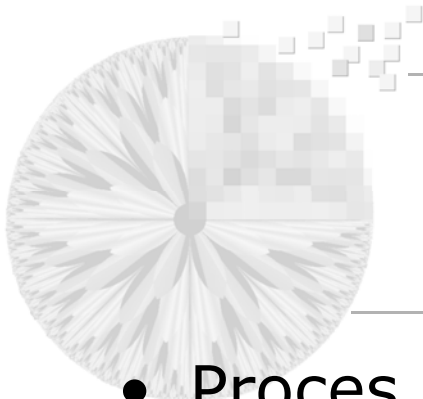


POBOLJŠANJE SLIKE U PROSTORNOM DOMENU

POGLAVLJE 3



POBOLJŠANJE SLIKE

- Proces obrade slike koji kao rezultat ima sliku koja bolje odgovara specifičnoj aplikaciji
 - Različite metode za rentgensku sliku i sliku Marsa
 - Ne postoji univerzalno merilo kvaliteta neke metode
- Metode za poboljšanje slike mogu se podeliti u dve grupe
 - U prostornom domenu - operacije se izvode direktno na slici (na pikselima)
 - U frekvencijskom domenu – operacije se izvode na transformaciji originalne slike
- Restauracija je postupak obrade oštećene slike koji kao rezultat daje sliku što bližu originalnoj
 - Pojmovi restauracije i poboljšanja se donekle preklapaju

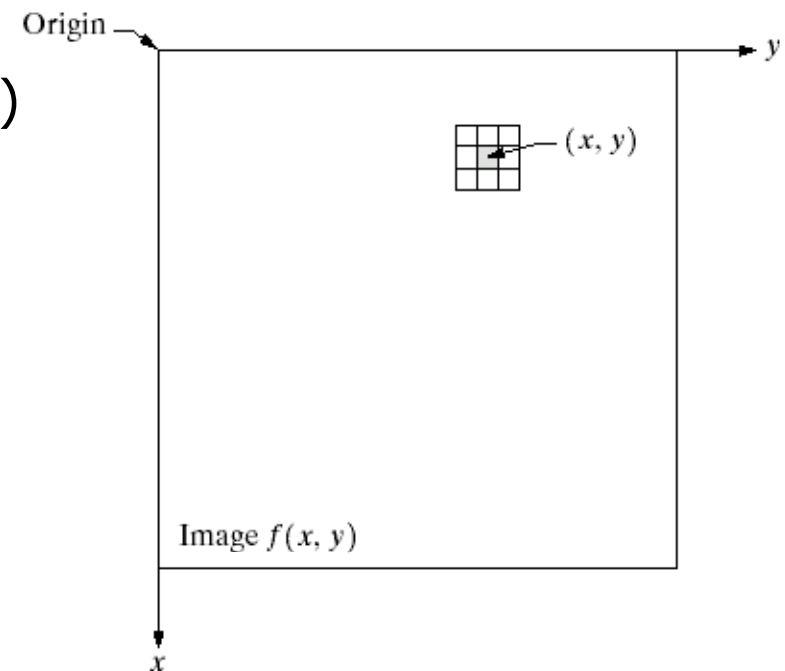


POBOLJŠANJE SLIKE U PROSTORNOM DOMENU

- Operacije se izvode direktno na pikselima

$$g(x, y) = T[f(x, y)]$$

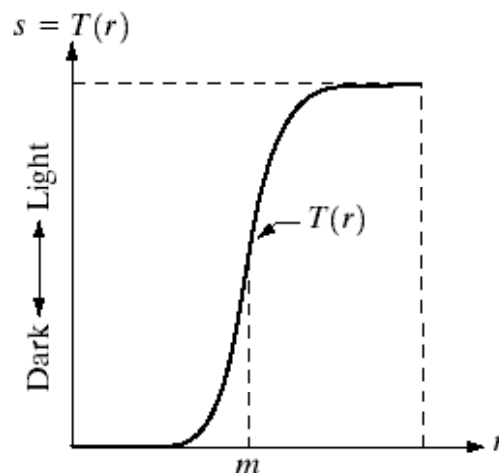
- T je operator nad okolinom tačke (x, y) u slici $f(x, y)$ (ili više različitih slika)
- Okolinu definiše prozor (maska)
- Prozor je najčešće kvadratni ili pravougaoni
- Operacije na nivou piksela
 - Prozor dimenzije **1x1**
- Operacije na nivou okoline
 - Prozor dimenzije **m x n**



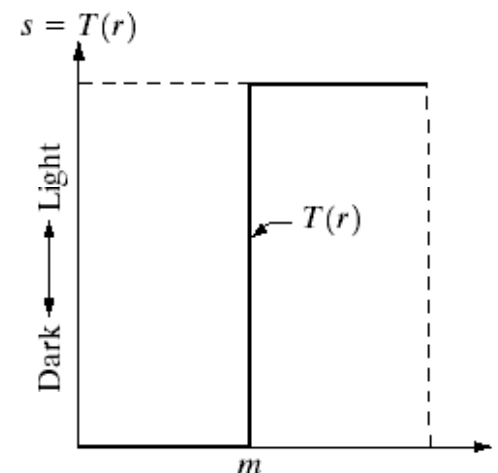


POBOLJŠANJE SLIKE NA NIVOU PIKSELA

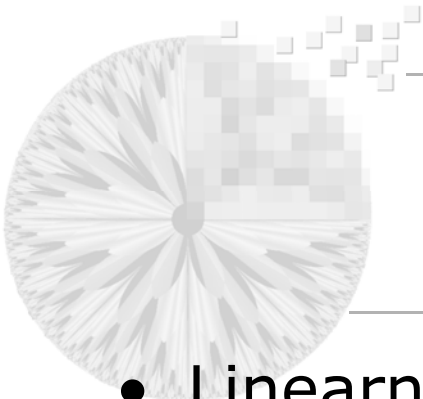
- T je funkcija transformacije intenziteta
 - s i r označavaju vrednosti intenziteta datih piksela
$$s = T(r)$$
- Primer – povećanje kontrasta (*contrast stretching*)
 - Nelinearno zatamnjanje vrednosti r ispod nivoa m , i posvetljavanje vrednosti r iznad nivoa m



Dark ←→ Light
Contrast stretching

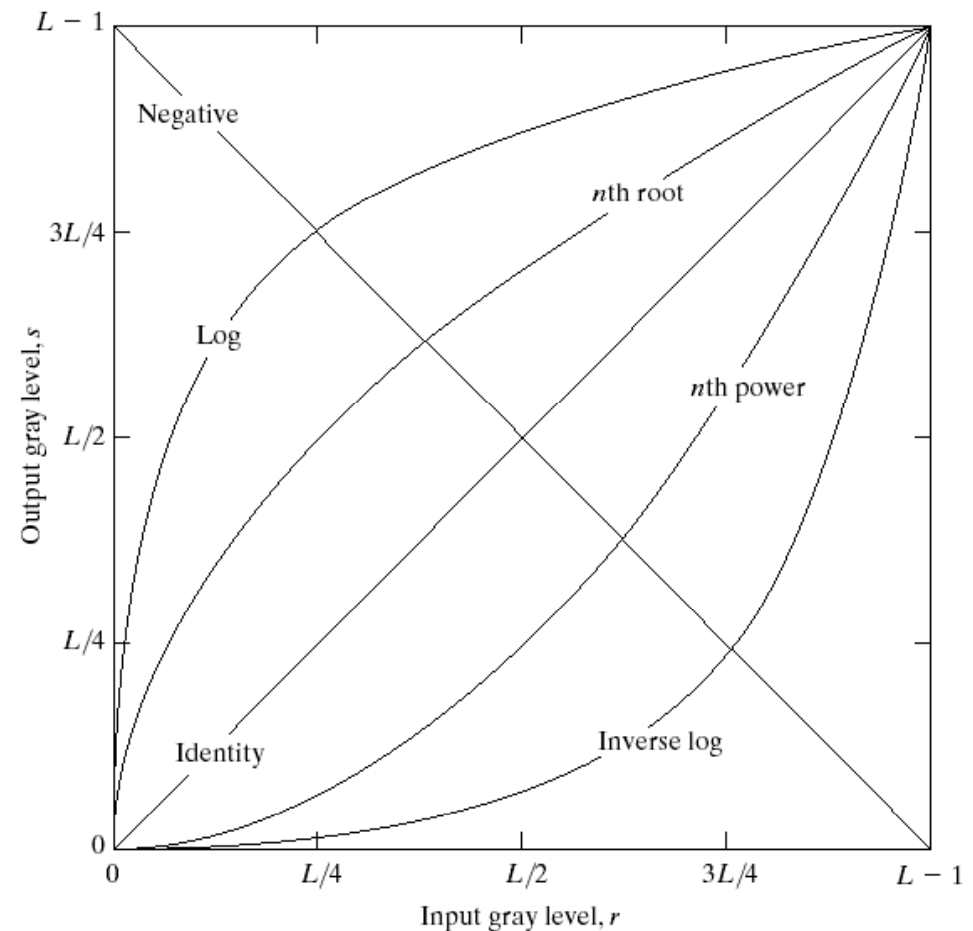


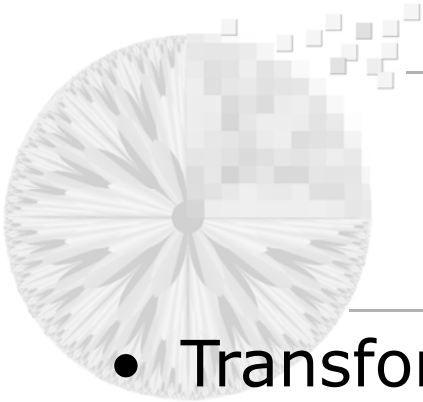
Dark ←→ Light
Thresholding



TRANSFORMACIJE INTENZITETA

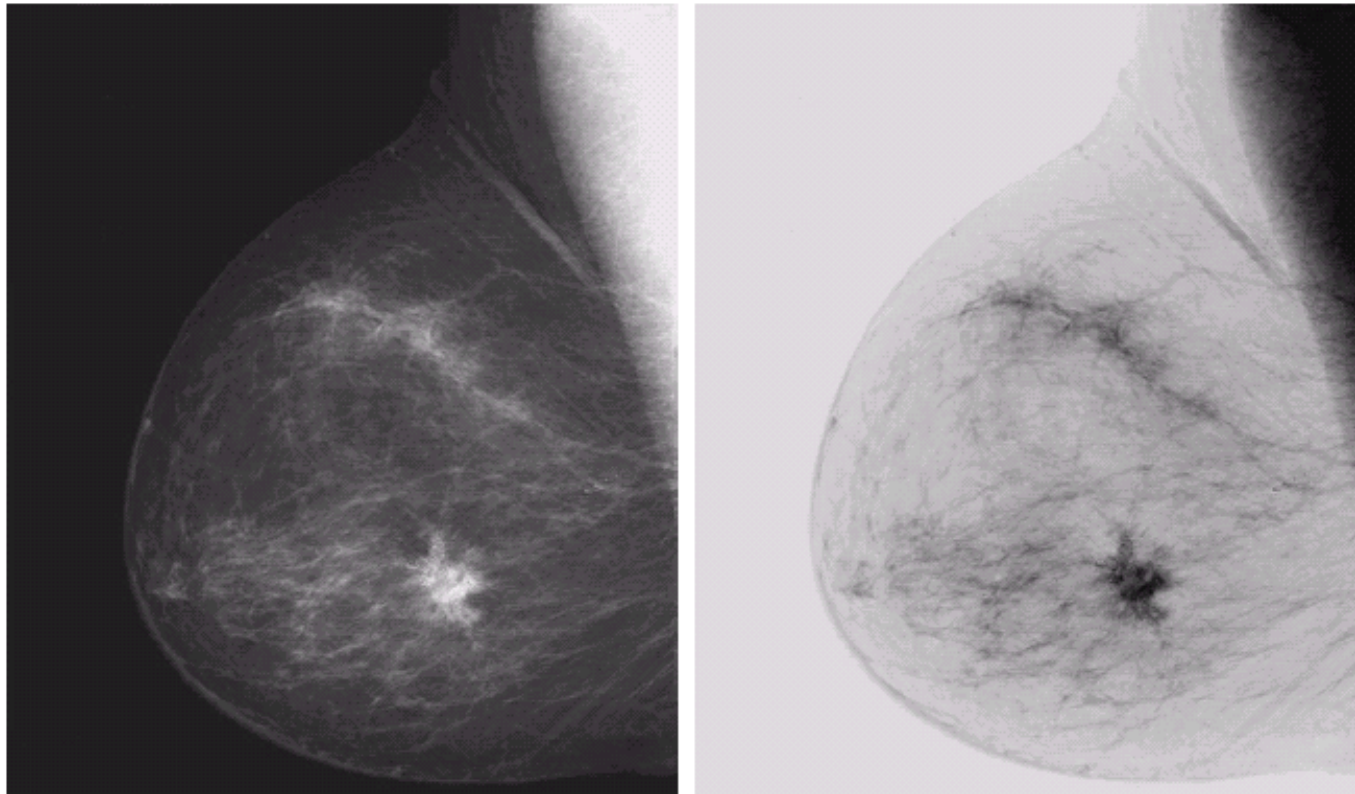
- Linearne
 - Identitet
 - Negativ
- Logaritamske
 - Log
 - Invertovani log
- Stepene
 - n -ti stepen
 - n -ti koren
 - Implementacija preko lookup tabela (preslikavanje r u s)





NEGATIV SLIKE

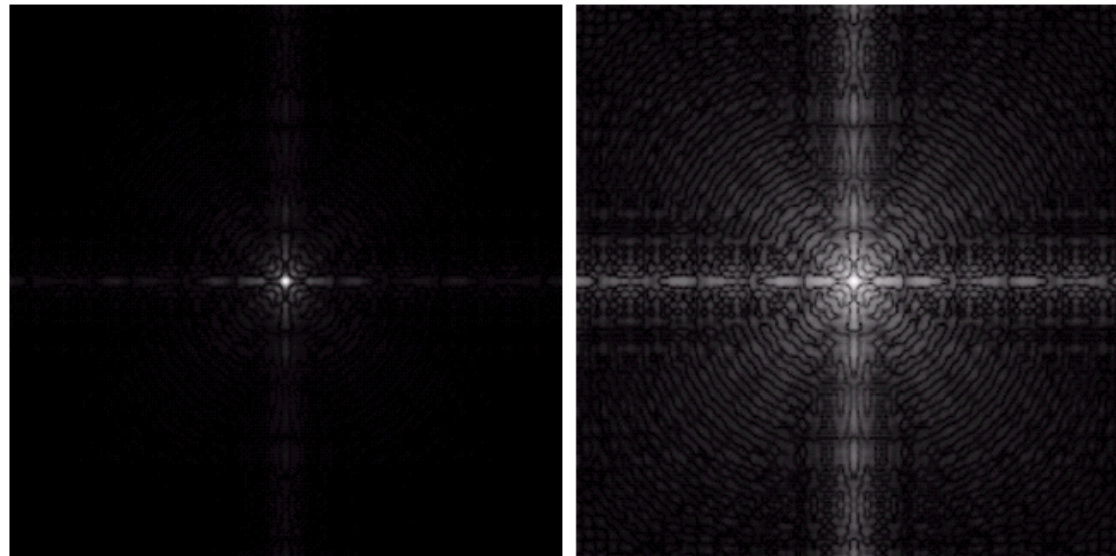
- Transformacija: $s = L - 1 - r$
 - Naglašavanje svetlih detalja u tamnim regijama slike
 - Mamogram (lezija i detalji se bolje uočavaju na negativu)

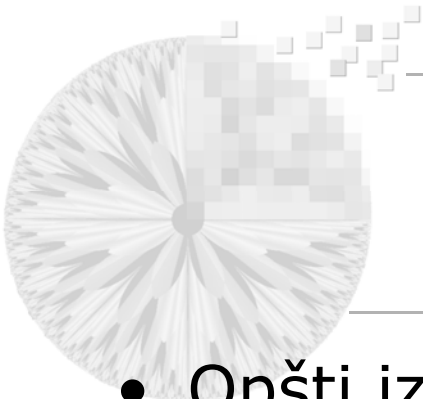




LOG TRANSFORMACIJE

- Opšti izraz: $s = c \cdot \log(1 + r)$, $r \geq 0$, $c = \text{const.}$
 - Širi opseg vrednosti tamnih i komprimuje opseg vrednosti svetlih piksela (obrnuto važi za invertovanu log trans.)
 - Slike Furijeovog spektra često su u opsegu od 0 do 10^6
 - Nemoguće sa 8 bita verno prikazati takav opseg vrednosti
 - Log transformacija nelinearno modifikuje dinamički opseg

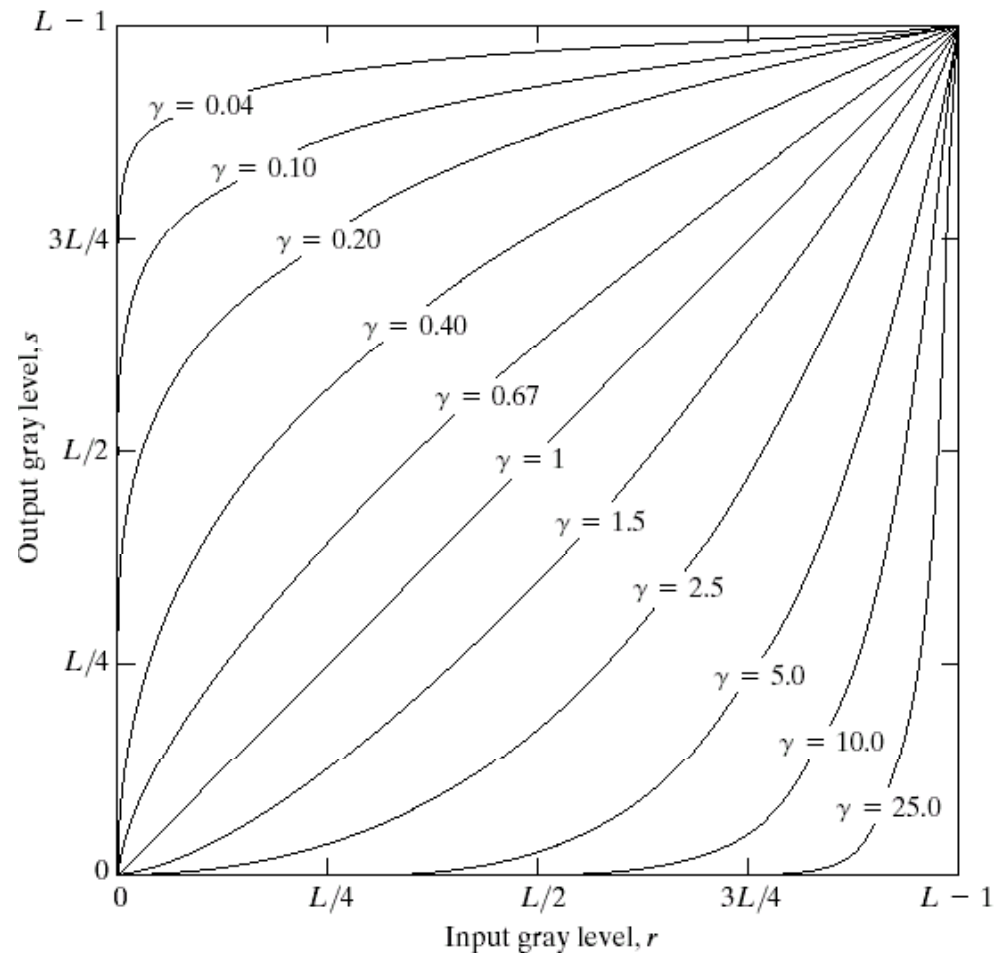




STEPENE TRANSFORMACIJE

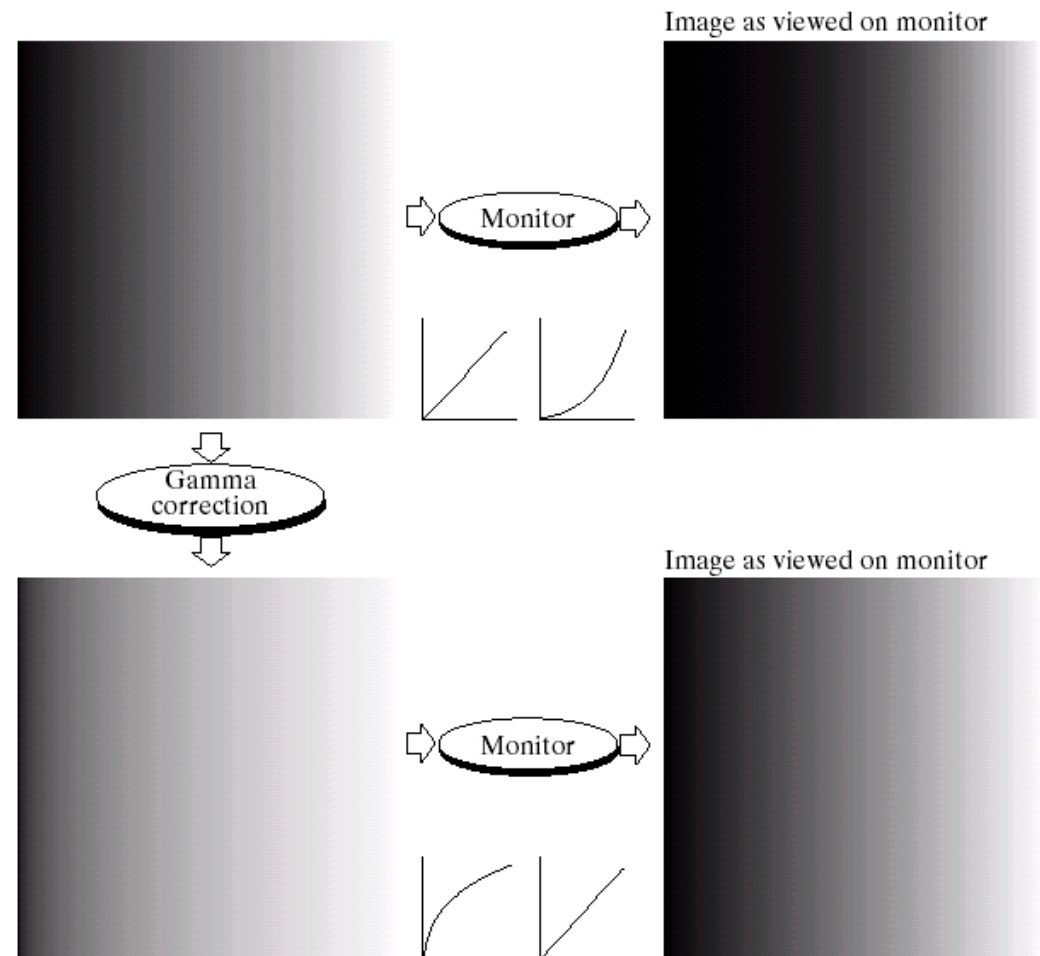
- Opšti izraz: $s = c \cdot r^\gamma$, $c \geq 0$, $\gamma \geq 0$

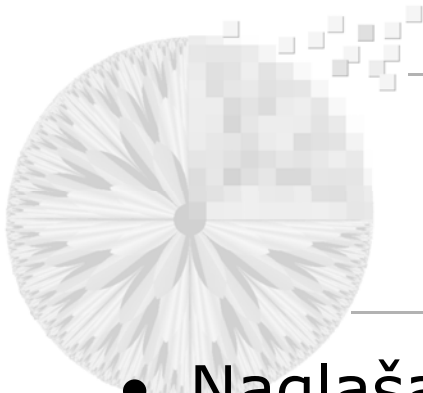
- Slično kao log transformacija
- Ovde se promenom parametara može dobiti čitava familija transformacija
- Mnogi uređaji za snimanje, štampanje i prikaz slika imaju ovakvu karakteristiku
- Kompenzacija uticaja uređaja naziva se **gama korekcija**



GAMA KOREKCIJA

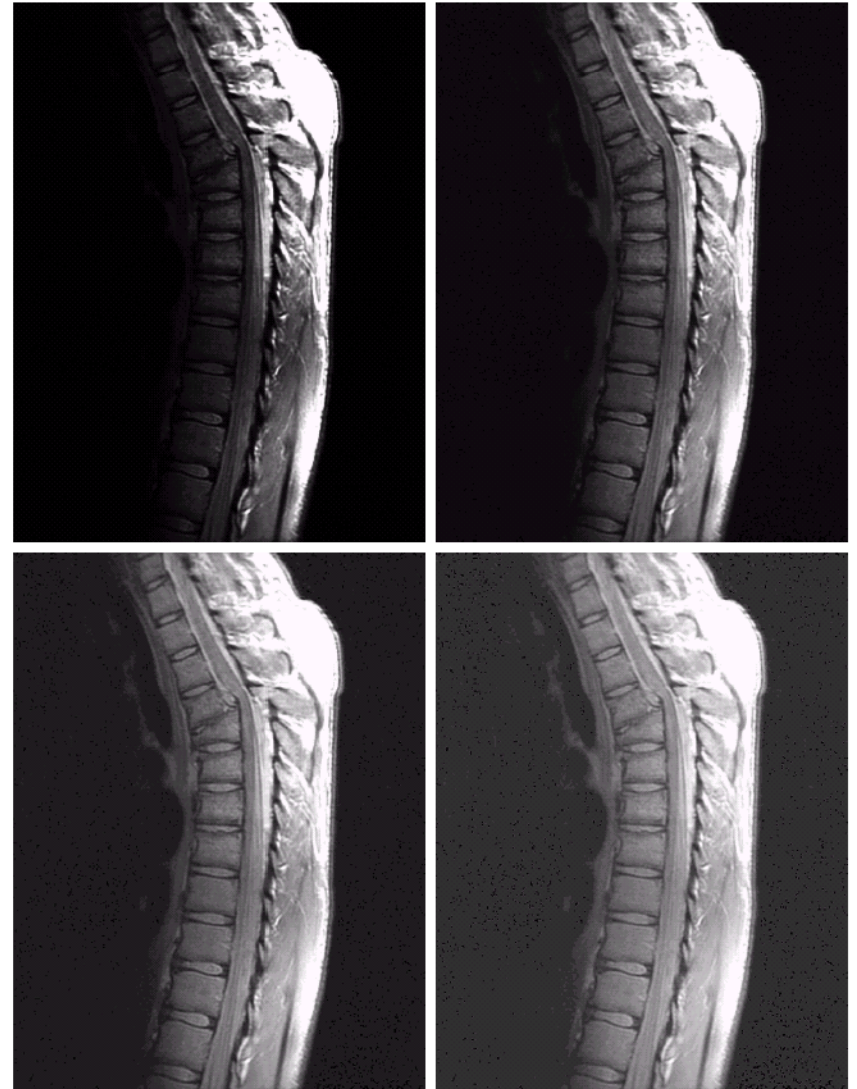
- Katodna cev
 - Gama faktor u opsegu 1.8-2.5
 - Nijanse se prikazuju tamnijim nego što zaista jesu
 - Pretprocesiranje transformacijom sa gama faktorom 0.4 otklanja negativan uticaj katodne cevi
 - Sličan postupak korekcije i kod printera i skenera (različito gama)

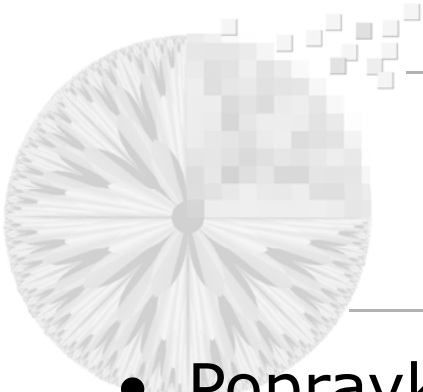




NELINEARNA PROMENA KONTRASTA

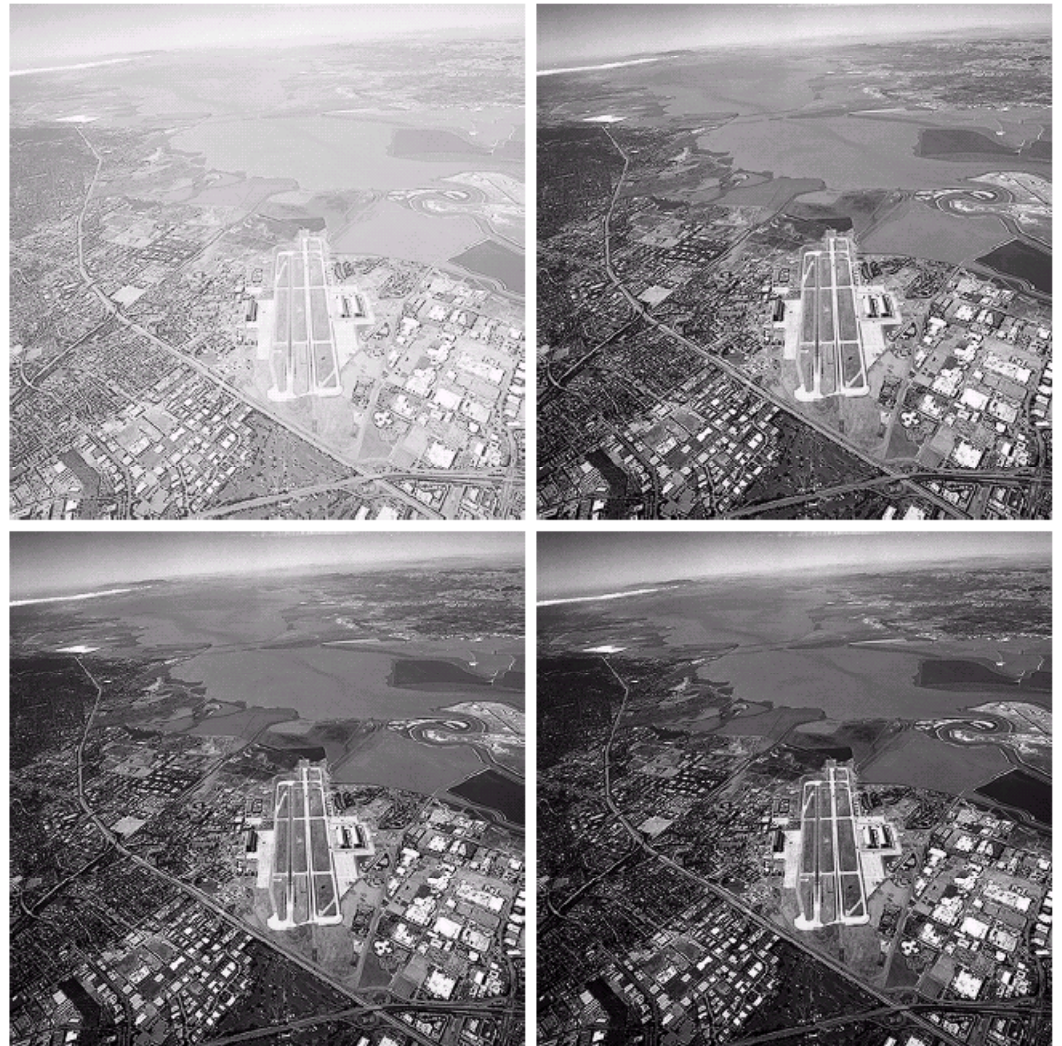
- Naglašavanje detalja
 - Primer MRI snimka kičme
 - Slika je dominantno tamna
 - Stepenom transformacijom sa gama manjim od 1, svetli detalji će postati lakše uočljivi
 - Ako je gama previše malo, slika će izgubiti kontrast
 - Gama vrednosti: 0.6, 0.4, 0.3
 - $c=1$ kod svih slika





NELINEARNA PROMENA KONTRASTA

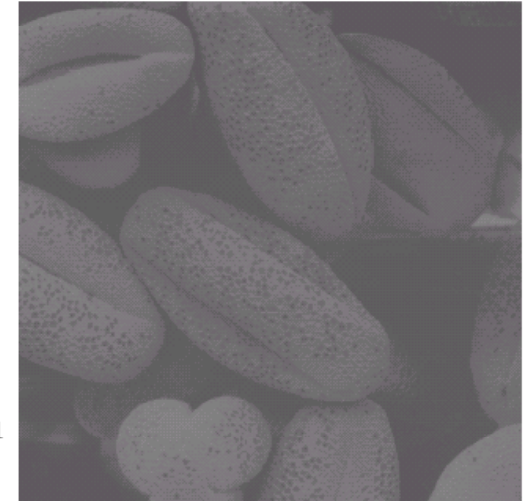
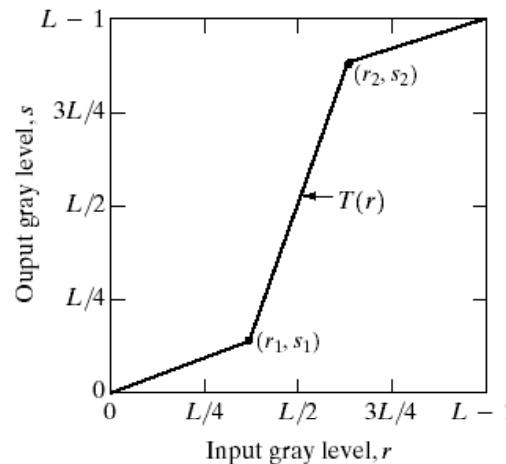
- Popravka kontrasta
 - Slika deluje isprano
 - Stepenom transformacijom sa gama većim od 1, tamni detalji će postati naglašeni
 - Ako je gama previše veliko, detalji će biti previše tamni
 - Gama vrednosti: 3.0, 4.0, 5.0

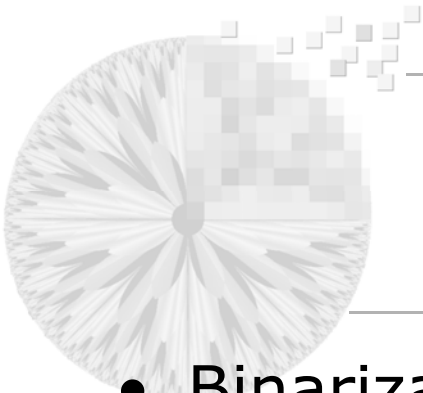




DEO-PO-DEO LINEARNE TRANSFORMACIJE

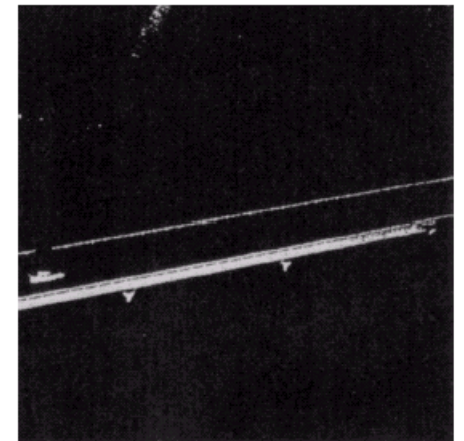
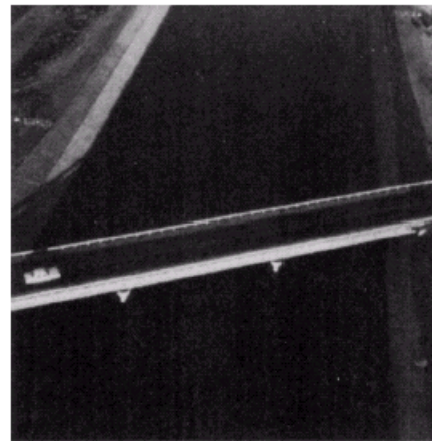
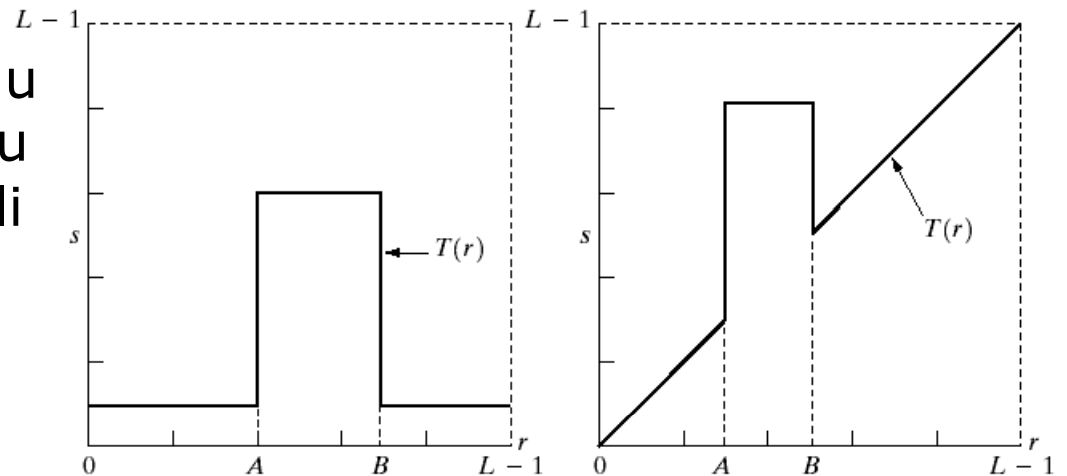
- Veliki broj ulaznih parametara
 - Tačke koje definišu karakteristiku preslikavanja piksela ulazne u piksele izlazne slike
- U zavisnosti od broja tačaka može se dobiti proizvoljna karakteristika
 - Povećanje kontrasta
 - Binarizacija (*thresholding*)



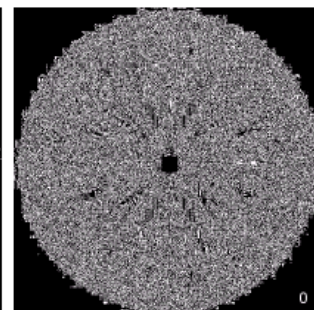
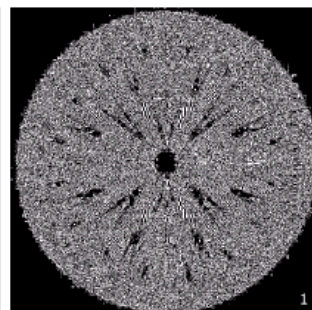
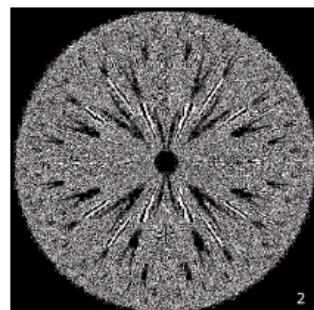
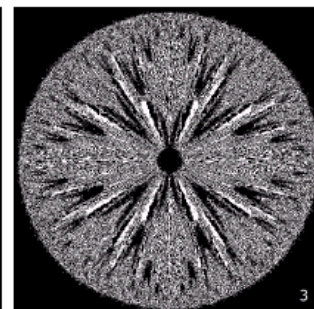
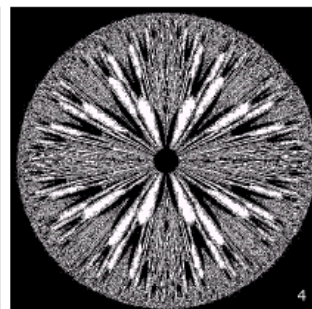
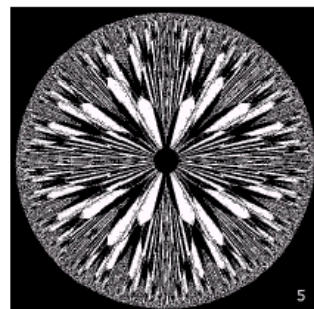
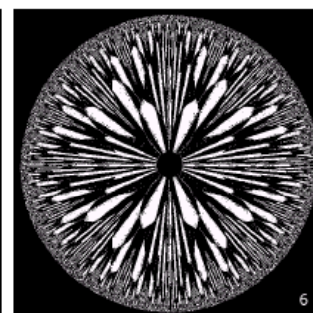
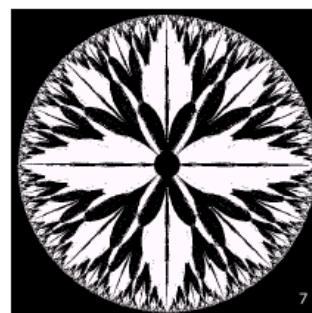
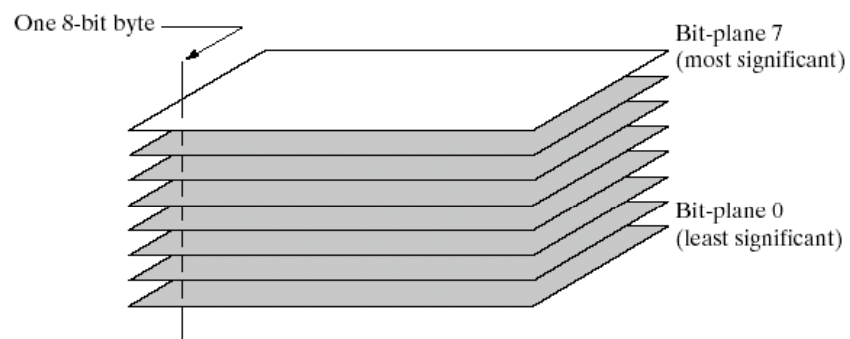
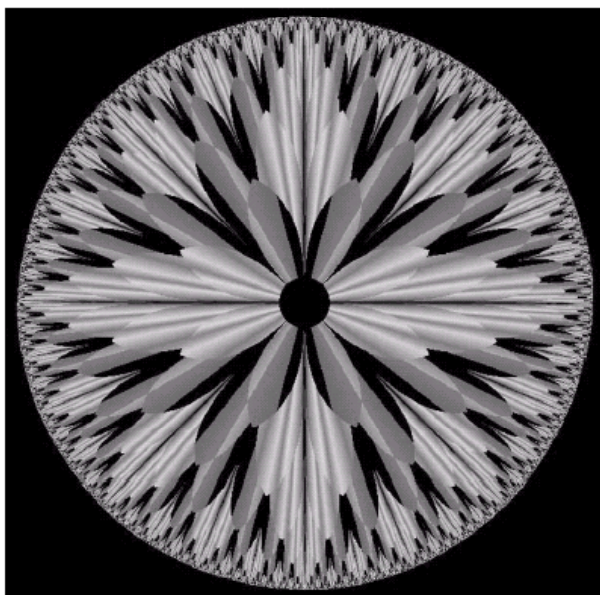
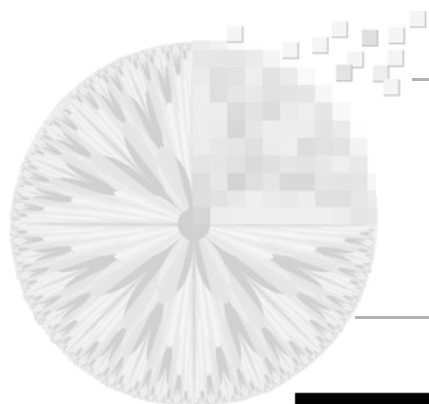


DEO-PO-DEO LINEARNE TRANSFORMACIJE

- Binarizacija
 - Pikseli koji su u opsegu vrednosti $[A, B]$ dobijaju vrednost 1, a svi ostali vrednost 0 (primer dole desno)
- Isticanje pojedinih amplitudskih opsega
 - Pikseli koji su u opsegu vrednosti $[A, B]$ dobijaju visoku konstantnu vrednost, a svi ostali ostaju nepromenjeni



DEKOMPOZICIJA NA BITSKE RAVNI

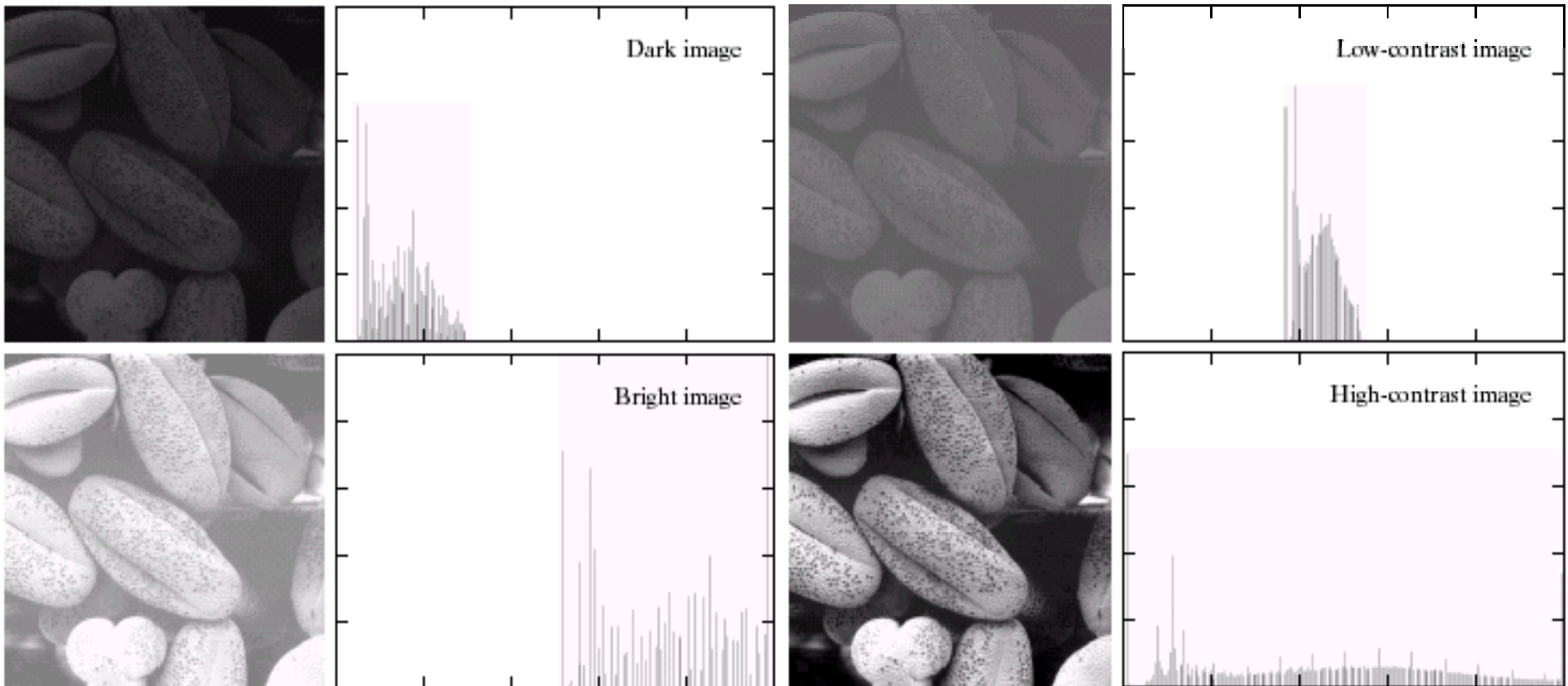


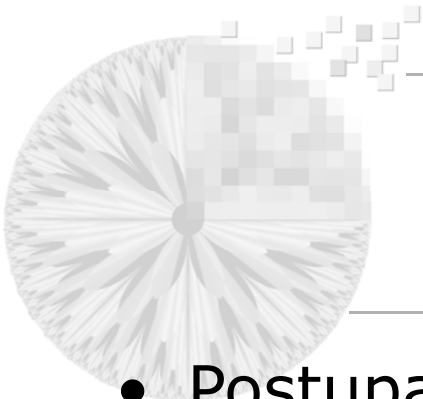
HISTOGRAM SLIKE

- Diskretna funkcija $h(r_k) = n_k$
 - r_k je k -ti nivo sivog u opsegu $[0, L-1]$
 - n_k je broj piksela u slici sa vrednošću r_k
- Normalizovani histogram $p(r_k) = n_k/n$
 - n je ukupan broj piksela u slici
 - Predstavlja procenu verovatnoće pojavljivanja određene vrednosti piksela r_k
 - Suma svih komponenti normalizovanog histograma je 1
- Histogram predstavlja osnovu mnogih metoda za obradu slike
 - Pored poboljšanja slike u prostornom domenu, koristi se i u kompresiji, segmentaciji, itd.
 - Jednostavno računanje i hardverska implementacija

HISTOGRAM SLIKE

- Primer iste slike sa 4 različita histograma
 - Najbolja slika ima histogram sa uniformnom raspodelom





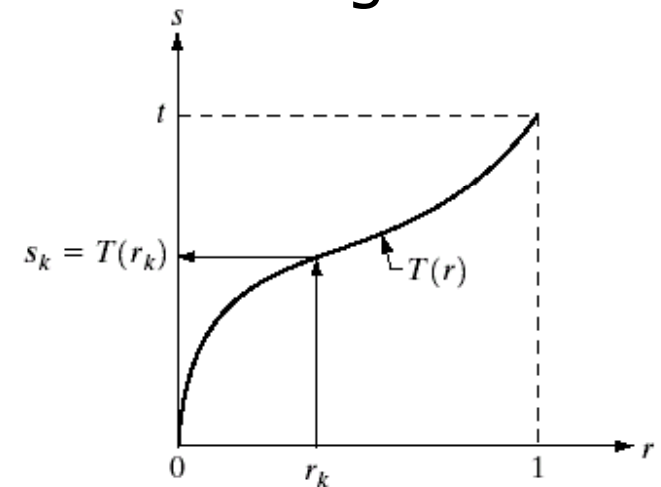
EKVALIZACIJA HISTOGRAMA

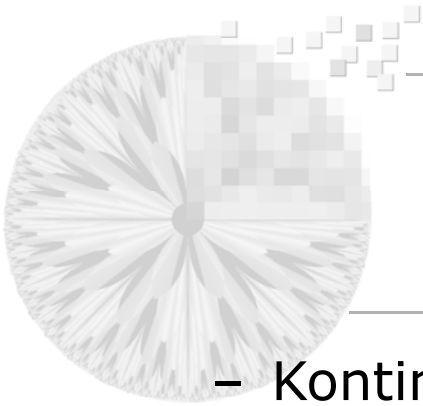
- Postupak transformacije slike tako da histogram postane približno uniforman
- Cilj je pronaći transformaciju T

$$s = T(r), \quad 0 \leq r \leq 1,$$
$$r = T^{-1}(s), \quad 0 \leq s \leq 1$$

koja zadovoljava sledeće uslove

- (a) $T(r)$ je jednoznačna i monotonno rastuća u intervalu $0 \leq r \leq 1$,
- (b) $0 \leq T(r) \leq 1$ za $0 \leq r \leq 1$
 - Uslov (a) obezbeđuje inverznost transformacije i isti poredak nijansi u novoj i originalnoj slici
 - Iz uslova (b) sledi da će pikseli nove slike biti u istom opsegu kao i pikseli originalne slike





EKVALIZACIJA HISTOGRAMA

- Kontinualne slučajne promenljive r i s imaju odgovarajuće funkcije gustine raspodele $p_r(r)$ i $p_s(s)$
- Ako su $p_r(r)$ i $T(r)$ poznate, može se izvesti sledeće

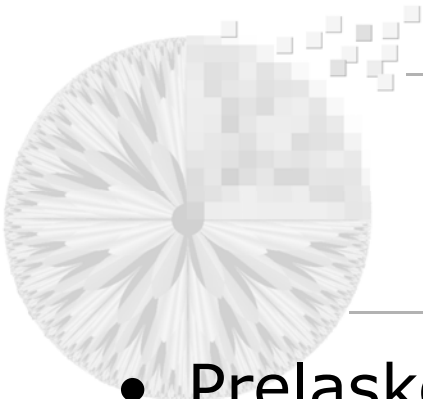
$$p_s(s) = p_r(r) \left| \frac{dr}{ds} \right|,$$

$$s = T(r) = \int_0^r p_r(w) dw,$$

$$\frac{ds}{dr} = \frac{dT(r)}{dr} = \frac{d}{dr} \left[\int_0^r p_r(w) dw \right] = p_r(r),$$

$$p_s(s) = p_r(r) \left| \frac{dr}{ds} \right| = p_r(r) \left| \frac{1}{p_r(r)} \right| = 1, \quad 0 \leq s \leq 1$$

- Dobija se uniformna funkcija gustine raspodele $p_s(s)$
- Pikseli u transformisanoj slici će sa jednakom verovatnoćom uzimati sve vrednosti iz opsega $[0,1]$



EKVALIZACIJA HISTOGRAMA

- Prelaskom na diskretne promenljive u opsegu $[0, L-1]$, dobija se

$$p_r(r_k) = \frac{n_k}{n}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, L-1,$$

$$s_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k p_r(r_j) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, L-1$$

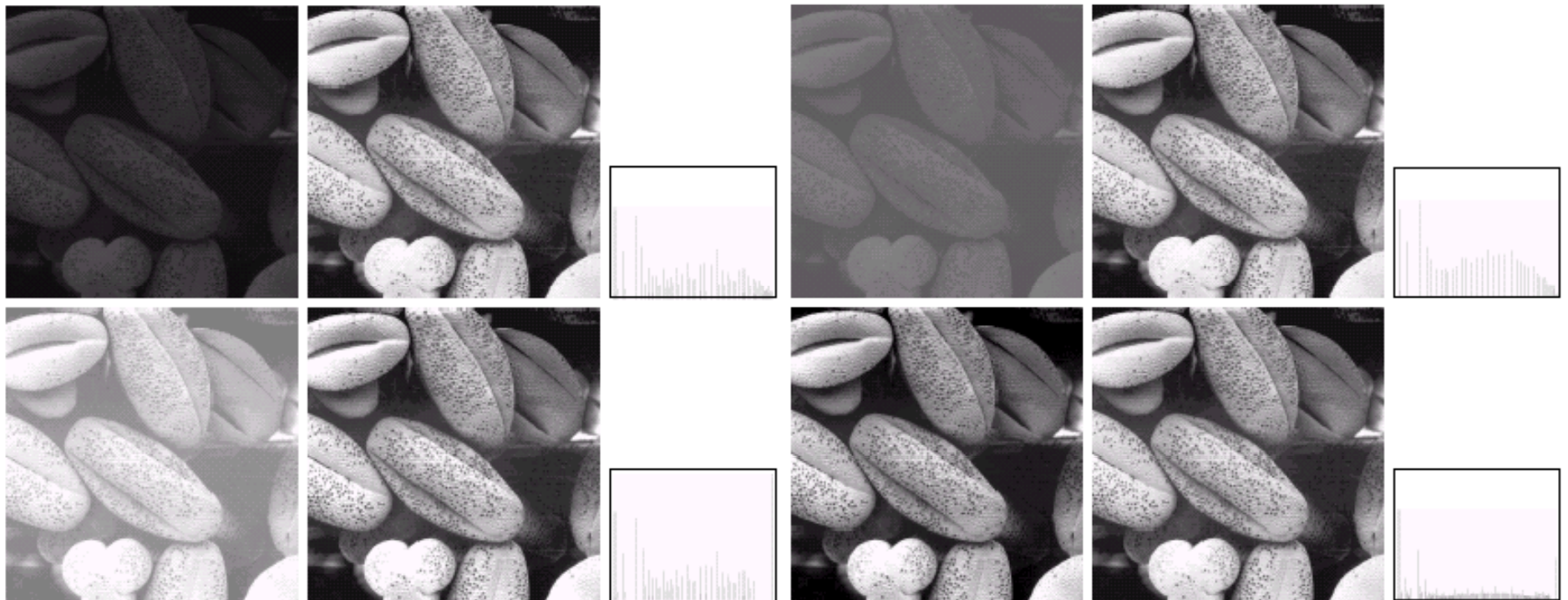
$$r_k = T^{-1}(s_k), \quad k = 0, 1, 2, \dots, L-1$$

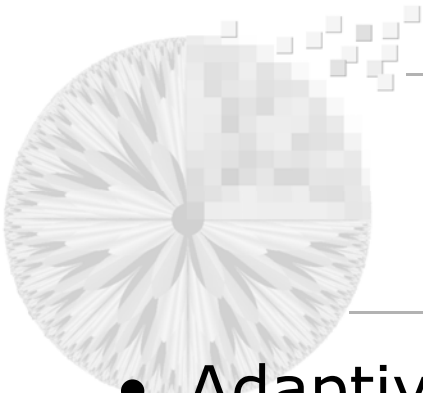
- Slika sa ekvalizovanim histogramom dobija se od originalne slike **samo na osnovu poznavanja njenog histograma**
- U diskretnom slučaju nije sigurno da će histogram biti potpuno uniforman, ali će pikseli biti u čitavom opsegu
- Iako su uslovi (a) i (b) zadovoljeni, inverzna transformacija će postojati samo ako originalna slika ima sve nijanse



EKVALIZACIJA HISTOGRAMA

- Rezultat ekvalizacije (linearizacije) histograma
 - Svaka slika ekvalizovana je na osnovu svog histograma
 - Prve tri slike izgledaju značajno bolje nego pre ekvalizacije
 - Histogrami su slični (uniformni), ali ne i sasvim isti

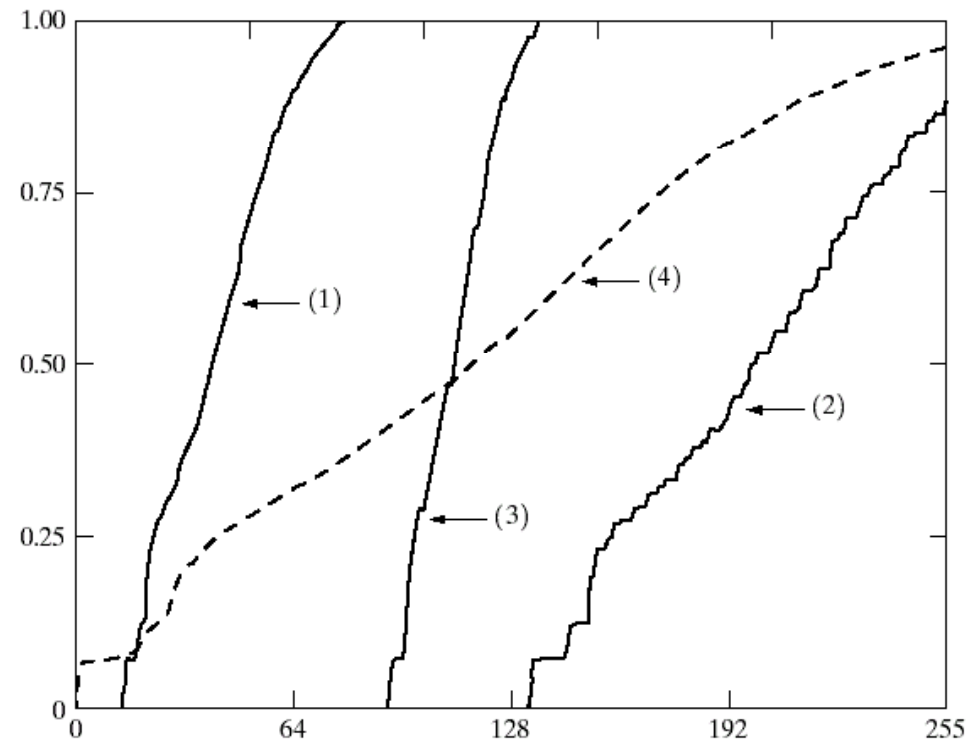




EKVALIZACIJA HISTOGRAMA

- Adaptivno poboljšanje slike
 - Primenjena transformacija slike zavisi od sadržaja slike
 - Sve četiri slike imaju različite transformacije $T(r)$ na osnovu kojih su ekvalizovani histogrami

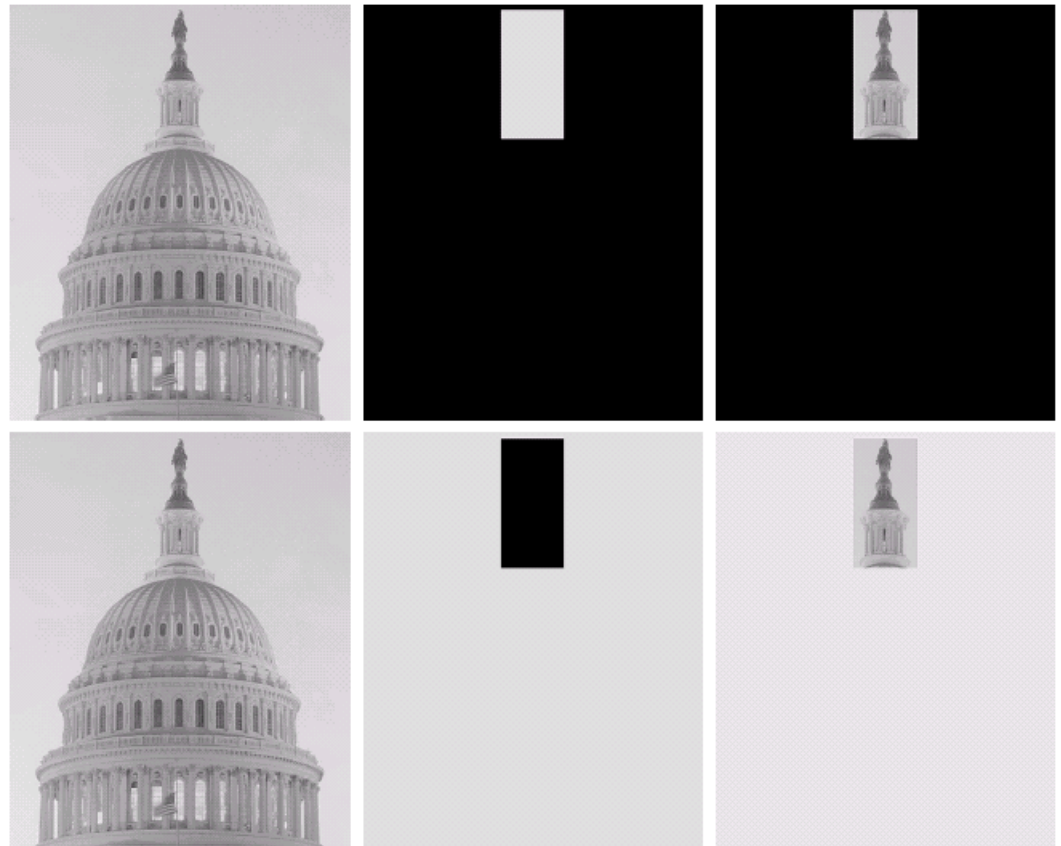
- Transformacije kojima su ekvalizovani histogrami slika zrna polena na prethodnom slajdu

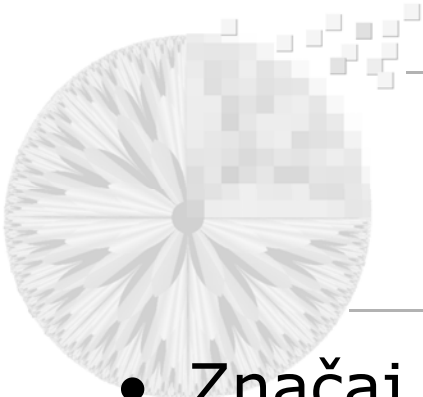




ARITMETIČKO-LOGIČKE OPERACIJE NA SLIKAMA

- Operacije se obavljaju između dve ili više slika na nivou piksela – između odgovarajućih piksela
- Logičke operacije
 - Operacije na pikselu vrše se na bitima od kojih se on sastoji
 - {AND, OR, NOT} je kompletan skup
 - Često se koriste u morfološkoj obradi
 - Maskiranje – izdvajanje regiona od interesa (*ROI*) (primer: AND i OR)





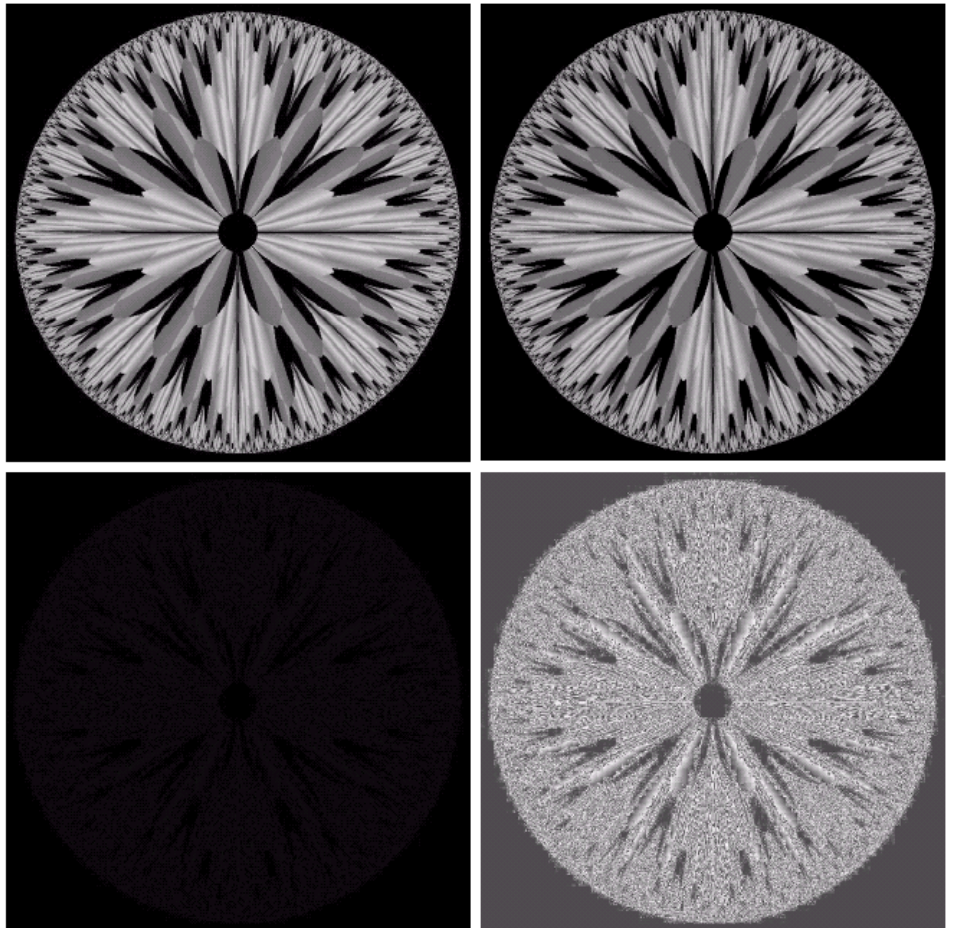
ARITMETIČKE OPERACIJE

- Značaj aritmetičkih operacija u obradi slike:
 - 1) oduzimanje, 2) sabiranje, 3) množenje, 4) deljenje
 - Deljenje slika predstavlja se kao množenje piksela jedne slike sa recipročnom vrednošću datog piksela druge slike
- Množenje
 - Povećanje srednje vrednosti slike množenjem sa konstantom,
 - Maskiranje (*ROI*) množenjem sa maskom koja nije binarna već ima više nijansi sivog
- Oduzimanje i sabiranje imaju mnogo veći značaj u obradi slike

ODUZIMANJE SLIKA

- Naglašavanje razlika između slika
 - Fraktalna slika i ista ta slika sa samo prve 4 (značajne) bitske ravni
 - Oduzimanjem ove dve slike dobija se slika razlike koja je u 8-bitnoj skali gotovo crna
 - Ekvalizacijom histograma dobija se slika na kojoj se jasno uočavaju razlike

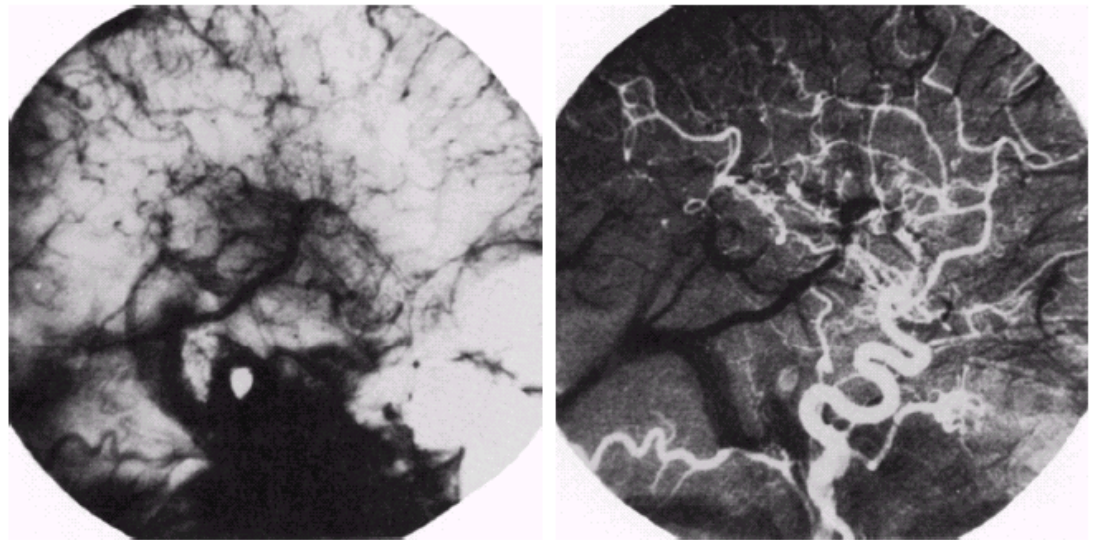
$$g(x, y) = f(x, y) - h(x, y)$$



ODUZIMANJE SLIKA

- *Mask mode radiography*
 - Početni rentgenski snimak tkiva predstavlja masku
 - U krvotok pacijenta ubrizgava se kontrastno sredstvo, pa se u nekoliko faza prave novi snimci istog tkiva
 - Oduzimanjem maske od snimaka sa kontrastnim sredstvom dobijaju se slike kod kojih su naglašene promene koje su nastale nakon ubrizgavanja sredstva

- MMR snimak kičmene regije (na desnoj slici vide se jasno krvni sudovi)



ODUZIMANJE SLIKA

- Oduzimanje generiše negativne vrednosti pa je potrebno izvršiti preskaliranje u radni opseg
 - Dodavanje 255 svakom pikselu i deljenje sa 2
 - Ne osigurava korišćenje celog opsega $[0, 255]$
 - Zaokruživanje pri deljenju sa dva smanjuje tačnost
 - Dodavanje najmanje vrednosti svim pikselima, pa deljenje sa novom maksimalnom vrednošću i množenje sa 255
- Oduzimanje slike koristi se i u segmentaciji slike
 - Detekcija pokreta oduzimanjem slike pozadine

SABIRANJE SLIKA

- Usrednjavanje slika
 - Sabiranje više slika koje su nastale od iste slike dodavanjem nekorelisanog šuma nulte srednje vrednosti

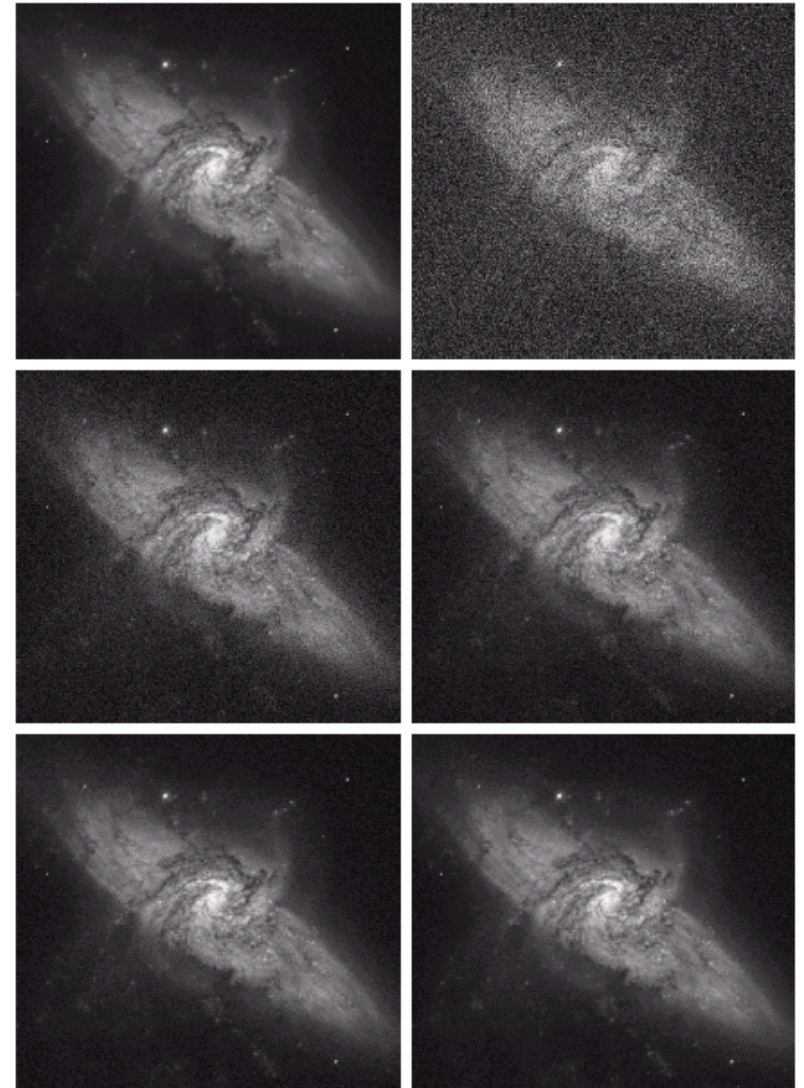
$$g(x, y) = f(x, y) + \eta(x, y)$$

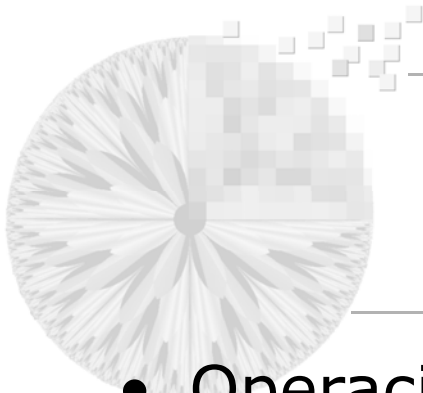
$$\bar{g}(x, y) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K g_i(x, y)$$

$$E \{ \bar{g}(x, y) \} = f(x, y)$$

$$\sigma_{\bar{g}(x, y)}^2 = \frac{1}{K} \sigma_{\eta(x, y)}^2$$

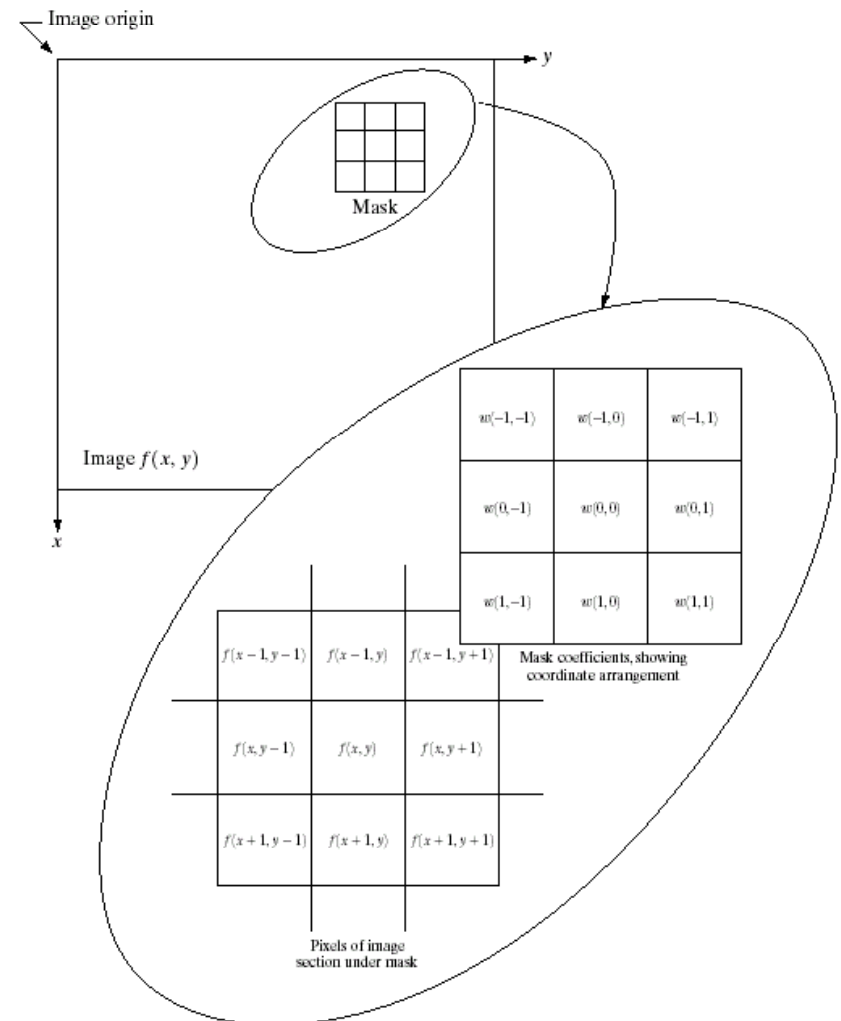
- Kako K raste varijansa opada (rezultat bliži originalu)

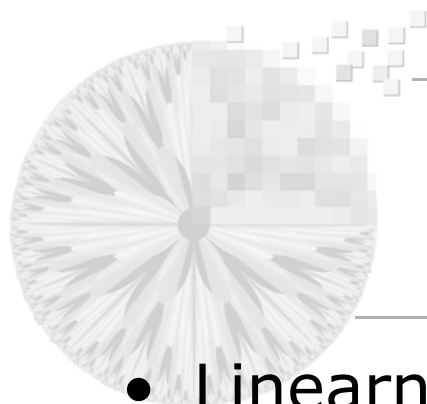




PROSTORNO FILTRIRANJE

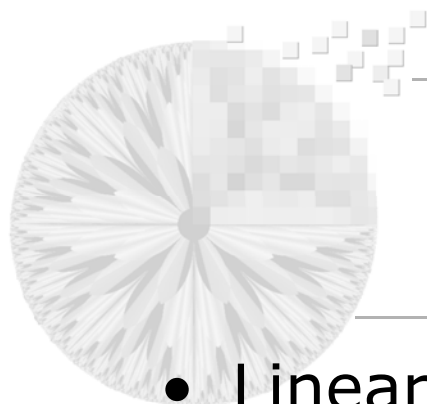
- Operacije na nivou okoline
 - Vrednost piksela u filtriranoj slici dobija se na osnovu okoline odgovarajućeg piksela u originalnoj slici i koeficijenata pokretne maske koja se koristi
 - Maska se još naziva i prozor, filter ili kernel
 - Uobičajeno je da je maska neparnih dimenzija $m \times n$ u cilju simetrije oko centralnog piksela: $m=2a+1$, $n=2b+1$
 - Najmanja dimenzija maske je 3×3 (1×1 je jedan piksel)





PROSTORNO FILTRIRANJE

- Linearni prostorni filter
 - Odziv R linearnog filtra sa maskom od 3×3 piksela
$$R = w(-1,1)f(x-1,y-1) + w(-1,0)f(x-1,y) + \dots$$
$$+ w(0,0)f(x,y) + \dots$$
$$+ w(1,0)f(x+1,y) + w(1,1)f(x+1,y+1)$$
 - Opšti izraz linearnog filtra sa maskom $(2a+1) \times (2b+1)$ piksela
$$g(x,y) = \sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s,t)f(x+s,y+t),$$
$$a = (m-1)/2, \quad b = (n-1)/2$$
 - U linearnom slučaju proces filtriranja odgovara konvoluciji sa datom maskom (impulsni odziv), pa je tada uobičajen izraz **konvoluciona maska** ili **konvolucioni kernel**



PROSTORNO FILTRIRANJE

- Linearni prostorni filter

- Skraćena notacija

$$R = w_1 z_1 + w_2 z_2 + \cdots + w_{mn} z_{mn} = \sum_{i=1}^{mn} w_i z_i$$

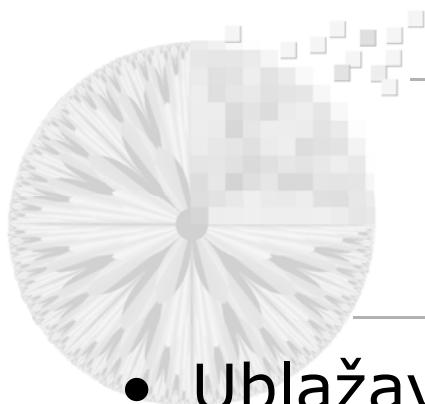
w_1	w_2	w_3
w_4	w_5	w_6
w_7	w_8	w_9

- Nelinearni prostorni filter

- Zasnovan na sličnom principu pokretne maske, ali ne koristi samo množenje koeficijenata i sabiranje
- Npr. median filter – sortira piksele u okviru prozora i kao rezultat daje centralni piksel u poretku

- Granični slučajevi – na krajevima slike

- Filtrirana slika će biti manja ako maska ne ide preko ivice
- Ubacivanje nula (*zero padding*) omogućava filtriranje čitave slike uz izvesna izobličenja na krajevima
- Preslikavanje preko ivice (*mirroring*) daje bolji rezultat



PROSTORNI FILTRI ZA UBLAŽAVANJE SLIKE

- Ublažavanje slike (*smoothing*)
 - Redukcija šuma – šum predstavlja nagle (oštre) promene osvetljaja (ivice u slici su veoma značajne, a takođe predstavljaju nagle promene osvetljaja, pa će i one ublažavanjem slike biti oštećene – neželjeni efekat)
 - Zamućivanje slike (*blur*) – pretprocesiranje slike u kojem se ukidaju sitni detalji pre ekstrakcije velikih objekata

- Linearni filtri za ublažavanje slike

- Nazivaju se i usrednjivači ili NF filtri
- Opšti izraz:

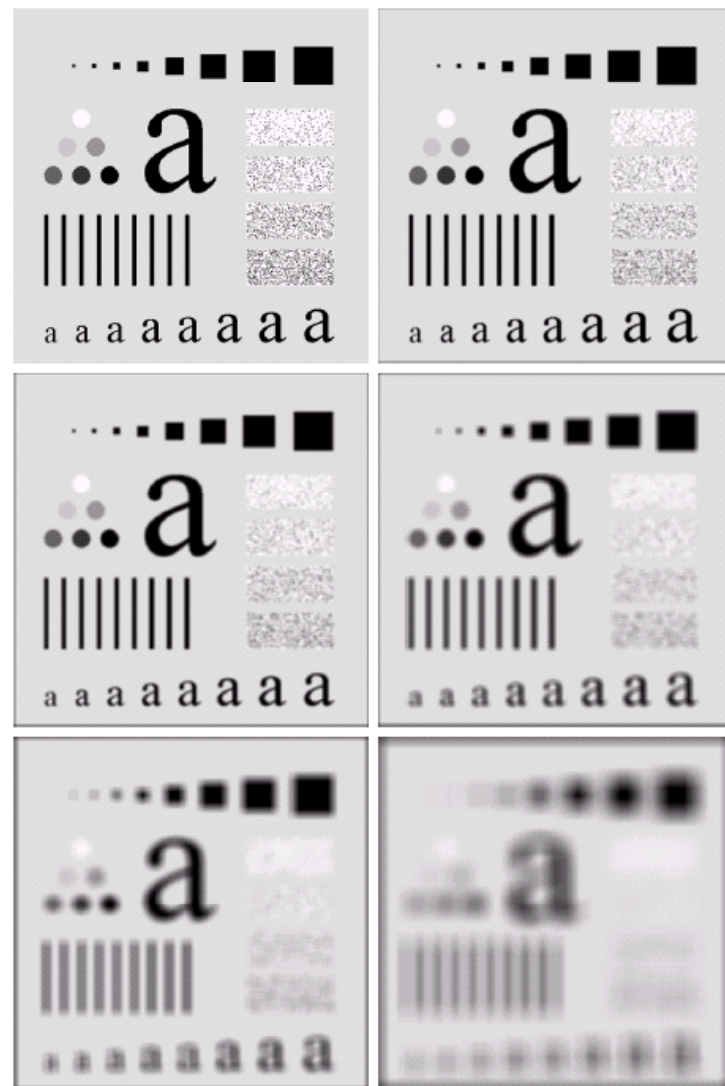
$$g(x, y) = \frac{\sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s, t) f(x + s, y + t)}{\sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s, t)}$$

$\frac{1}{9} \times$	<table><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	$\frac{1}{16} \times$	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>2</td><td>4</td><td>2</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>1</td></tr></table>	1	2	1	2	4	2	1	2	1
	1	1	1																		
	1	1	1																		
1	1	1																			
1	2	1																			
2	4	2																			
1	2	1																			
<i>Box filter</i>	<i>Weighted average</i>																				



PROSTORNI FILTRI ZA UBLAŽAVANJE SLIKE

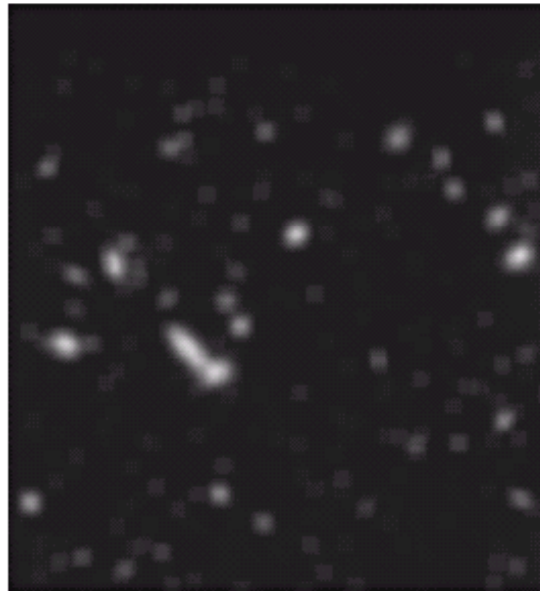
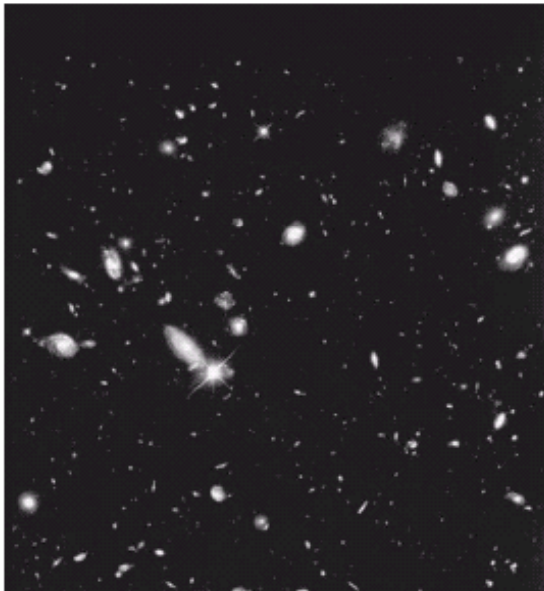
- Efekti ublažavanja slike
 - Originalna slika i 5 slika nakon ublažavanja filtrima usrednjivačima sa kvadratnim maskama dimenzija: 3, 5, 9, 15 i 35 piksela
 - Parametri test slike:
 - Veličine stranice kvadrata na vrhu: 3,5,9,15,25,35,45,55
 - Razmak kvadrata 25
 - Slova na dnu od 10 do 24 piksela sa korakom 2
 - Veliko slovo u sredini 60 piksela
 - Vertikalne linije 5x100 piksela
 - Pravougaonici šuma 50x120





PROSTORNI FILTRI ZA UBLAŽAVANJE SLIKE

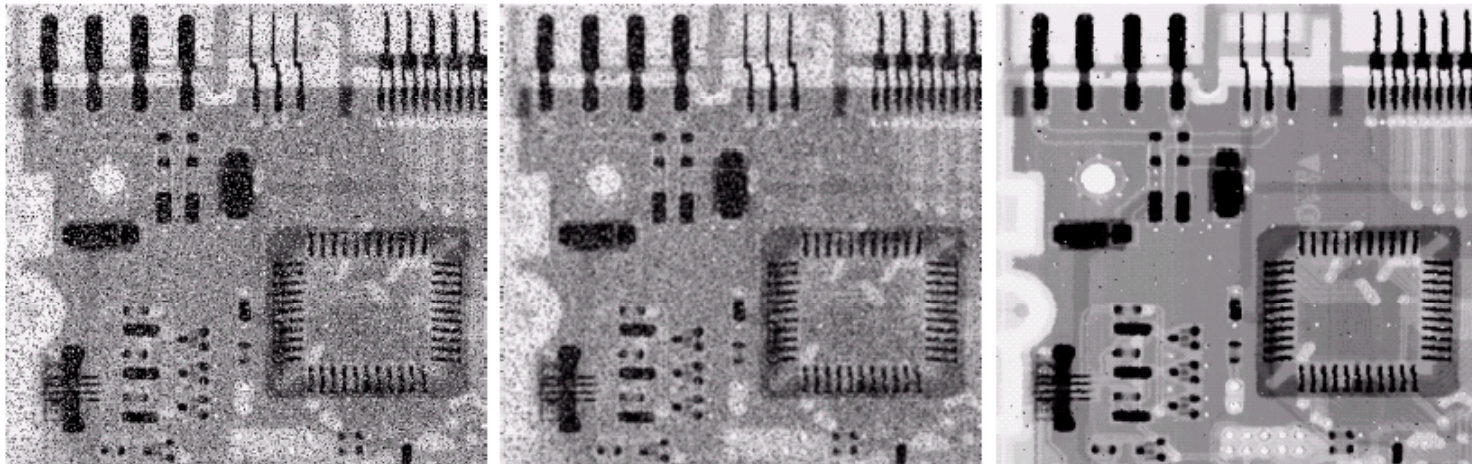
- Uklanjanje malih objekata
 - Zamućivanjem prve slike dobija se druga u kojoj gotovo da nema malih objekata
 - Binarizacijom druge slike poredjenjem sa pragom eliminišu se u potpunosti mali objekti, pa se dobija maska u kojoj se nalaze samo veliki objekti (ROI) iz originalne slike





PROSTORNI FILTRI ZA UBLAŽAVANJE SLIKE

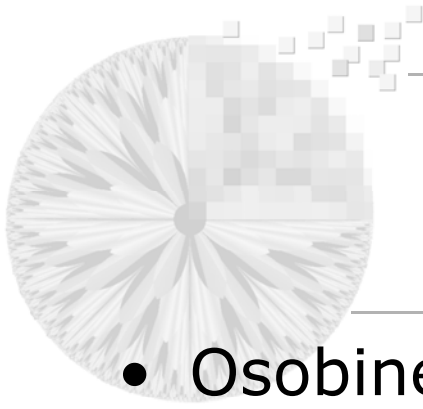
- Filtri statistike poretka (*order-statistics*)
 - Nelinearni filtri zasnovani na sortiranju (poretku) piksela originalne slike koji su obuhvaćeni maskom
 - Najpoznatiji predstavnik je median filtar (centralna vrednost u poretku je izlaz filtra)
 - MAX i MIN filtri – najmanja tj. najveća vrednost u poretku
 - Primer: Rentgenski snimak elektronske komponente sa impulsnim šumom, 3x3 usrednjivač, 3x3 median





PROSTORNI FILTRI ZA IZOŠTRAVANJE SLIKE

- Izoštavanje (*sharpening*) je obrnut proces od ublažavanja (*smoothing*)
- Cilj izoštravanja
 - Naglašavanje finih detalja u slici
 - Otklanjanje zamućenja (*blur*) koje je nastalo ili usled greške ili zbog prirode sistema za akviziciju slike
- Pošto se ublažavanje ostvaruje usrednjavanjem (integracija) logično je da se izoštravanje realizuje prostornim diferenciranjem slike
 - Diferenciranje naglašava diskontinuitete (ivice slike)
 - Potrebno je definisati prvi i drugi izvod slike po prostornim koordinatama

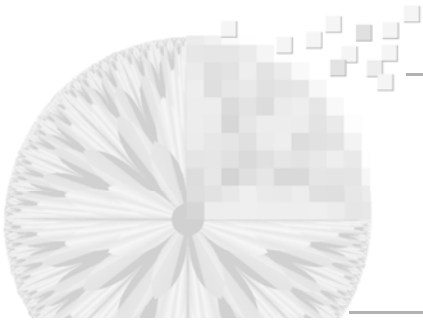


PROSTORNI FILTRI ZA IZOŠTRAVANJE SLIKE

- Osobine prvog i drugog izvoda slike
 - Prvi izvod
 - Nula u oblastima konstantnog osvetljaja
 - Različit od nule na početku step funkcije ili rampe
 - Različit od nule duž rampe
 - Drugi izvod
 - Nula u oblastima konstantnog osvetljaja
 - Različit od nule na početku i kraju step funkcije ili rampe
 - Nula duž rampe
- Prvi i drugi izvod slike f po prostornoj koordinati x

$$\frac{\partial f}{\partial x} = f(x + 1) - f(x)$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f(x + 1) + f(x - 1) - 2f(x)$$



PROSTORNI FILTRI ZA IZOŠTRAVANJE SLIKE

- Osobine izvoda

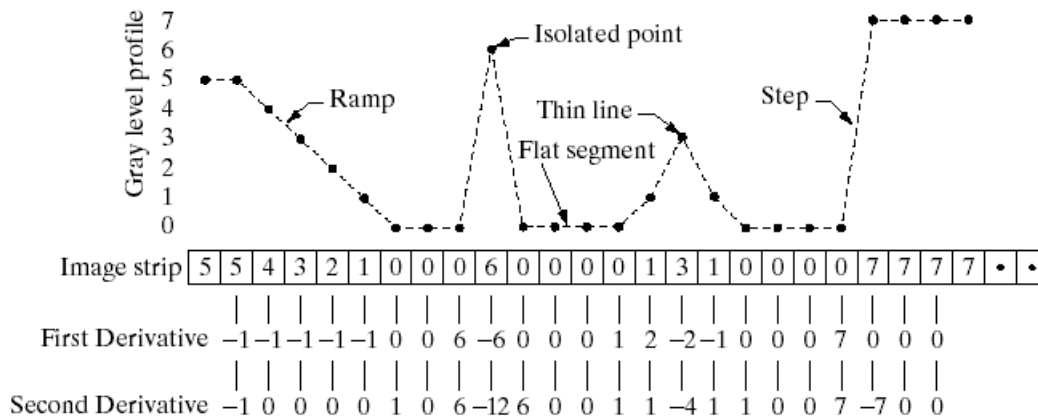
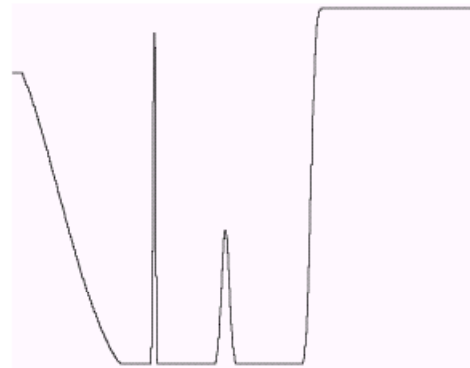
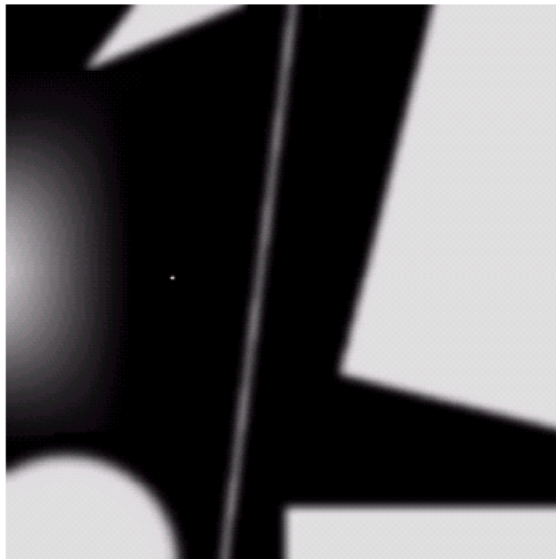
- Prvi izvod

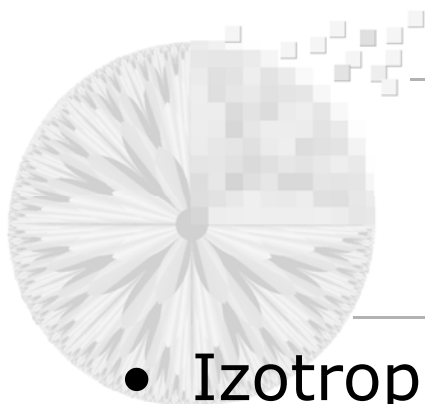
- Daje deblje ivice
 - Bolji odziv na step

- Drugi izvod

- Bolji odziv na fine detalje (tanke linije i izolovane tačke)
 - Na step funkciju daće dvostruki odziv
 - Veći odziv na liniju nego na step, i veći na tačku nego na liniju

- Češće se koristi drugi izvod od prvog





POBOLJŠANJE SLIKE DRUGIM IZVODOM - LAPLASIJAN

- Izotropni filter

- Nezavisan od pravca prostiranja diskontinuiteta u slici
- Isti se rezultat dobija ako se slika prvo filtrira pa rotira ili rotira pa filtrira (*rotation invariant*)
- Najprostiji izotropni diferencijalni operator – **Laplasijan**

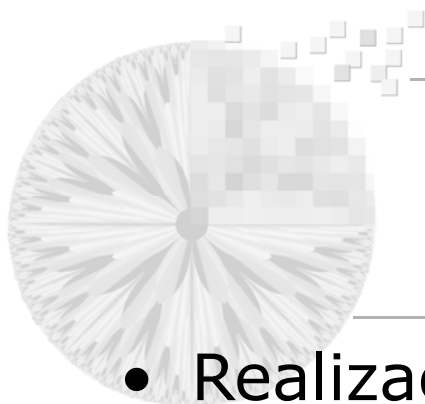
$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

- Zamenom parcijalnih izvoda po koordinatama dobija se

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f(x+1, y) + f(x-1, y) - 2f(x, y)$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = f(x, y+1) + f(x, y-1) - 2f(x, y)$$

$$\nabla^2 f = [f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1)] - 4f(x, y)$$



POBOLJŠANJE SLIKE DRUGIM IZVODOM - LAPLASIJAN

- Realizacija
 - Može se jednostavno formirati maska filtra: centralni koeficijent je -4, a 4-susedni su 1 (90° rot.)
 - Laplasijan sadrži parcijalne druge izvode po glavnim koordinatama
 - Mogu se dodati i izvodi po dijagonalama: centralni je 8, a svi 8-susedi su 1 (45° rot.)
 - Negativna logika: centralni pozitivan
- Kombinovanjem filtrirane slike sa originalnom $f(x,y)$ dobija se slika $g(x,y)$ sa izošćenim detaljima

0	1	0	1	1	1
1	-4	1	1	-8	1
0	1	0	1	1	1

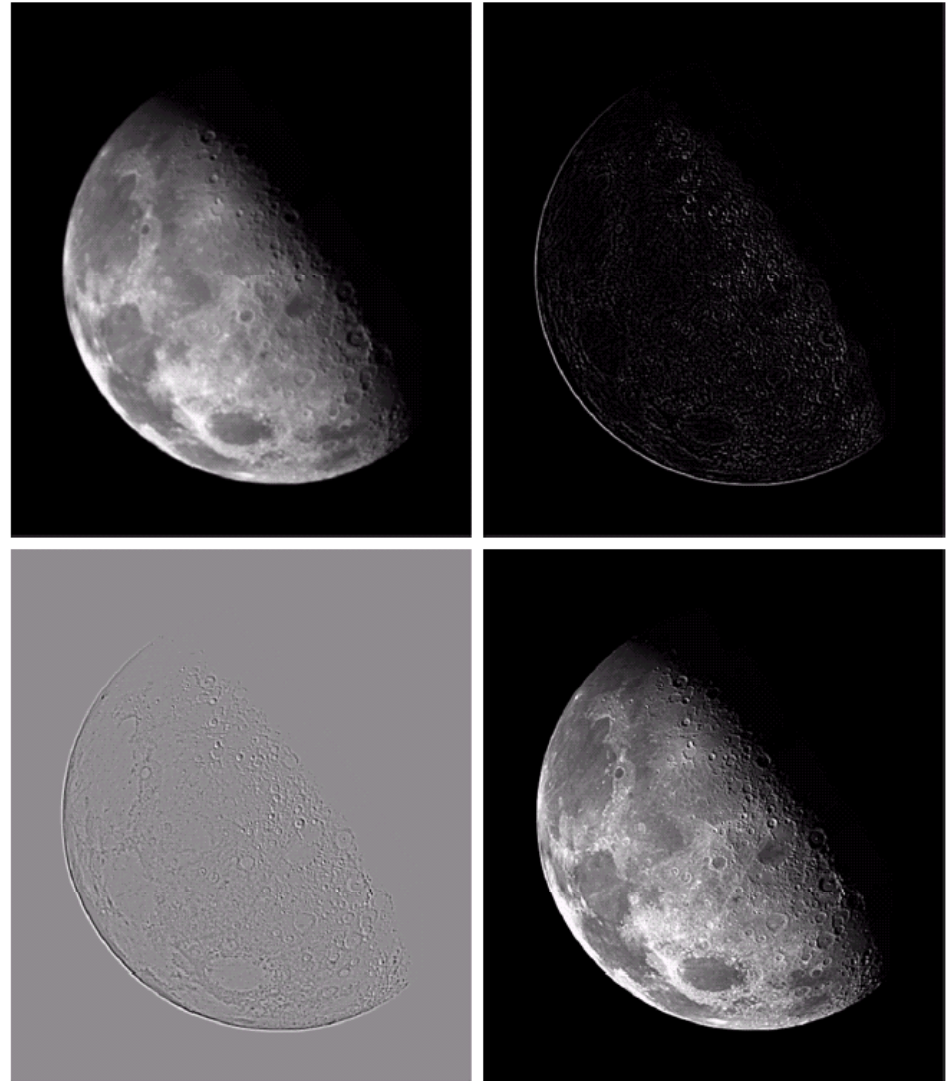
0	-1	0	-1	-1	-1
-1	4	-1	-1	8	-1
0	-1	0	-1	-1	-1

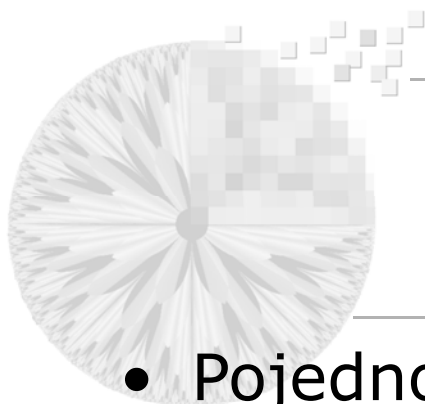
$$g(x, y) = \begin{cases} f(x, y) - \nabla^2 f(x, y), & \text{centralni koef. negativan} \\ f(x, y) + \nabla^2 f(x, y), & \text{centralni koef. pozitivan} \end{cases}$$



POBOLJŠANJE SLIKE DRUGIM IZVODOM - LAPLASIJAN

- Izoštavanje slike primenom Laplasijana
 - Severni pol Meseca
 - Nakon filtriranja Laplasijanom dobija se slika koja sadrži samo detalje originalne slike
 - Laplasijan može dati i negativne vrednosti pa je u cilju prikaza sliku potrebno preskalirati
 - Kombinovanjem sa originalnom slikom dobija se slika u kojoj su detalji mnogo oštrij





POBOLJŠANJE SLIKE DRUGIM IZVODOM - LAPLASIJAN

- Pojednostavljena varijanta – u jednom koraku
 - Kombinovanje originalne slike i definicije Laplasijana

$$\begin{aligned}g(x, y) &= f(x, y) - [f(x + 1, y) + f(x - 1, y) + \\&\quad f(x, y + 1) + f(x, y - 1)] + 4f(x, y) \\&= 5f(x, y) - [f(x + 1, y) + f(x - 1, y) + \\&\quad f(x, y + 1) + f(x, y - 1)]\end{aligned}$$

- Originalna slika – *identity* filter

- Samo centralni koeficijent maske je 1, a svi ostali 0

- Zbog linearnosti moguće je sabiranje i oduzimanje sa maskom Laplasijana, čime se dobija maska filtra za izoštravanje slike

0	-1	0
-1	5	-1
0	-1	0

-1	-1	-1
-1	9	-1
-1	-1	-1

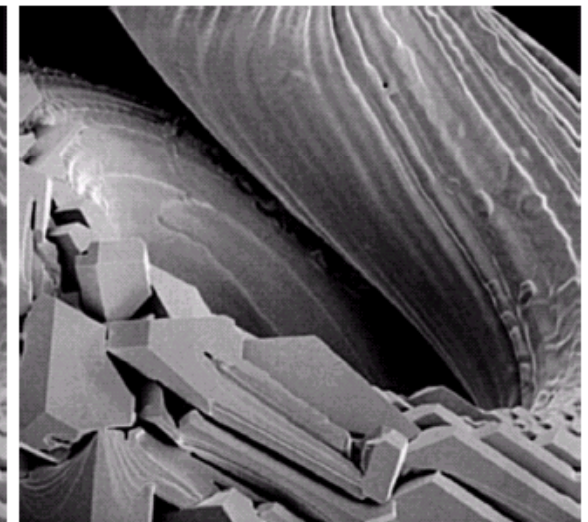
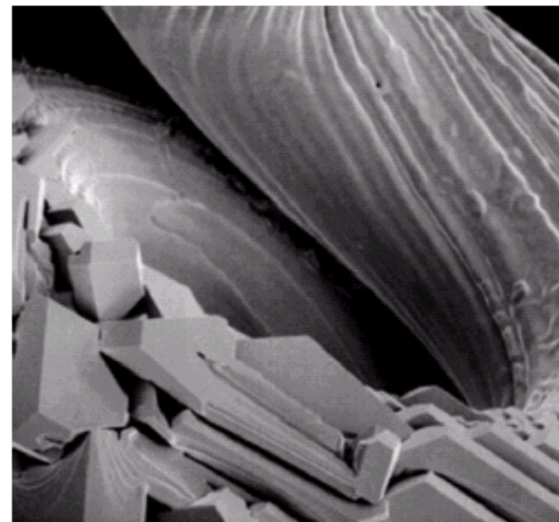
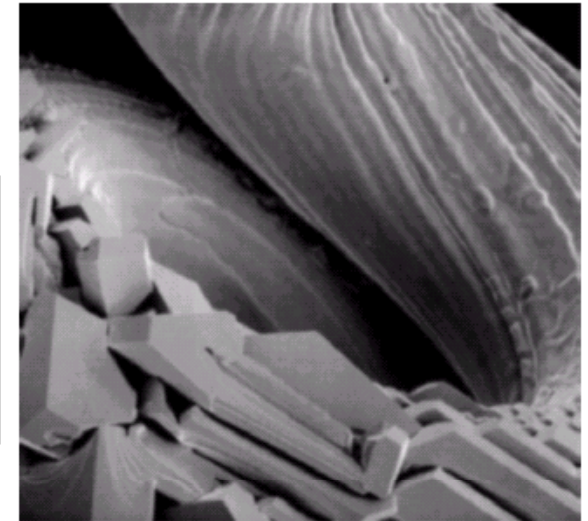


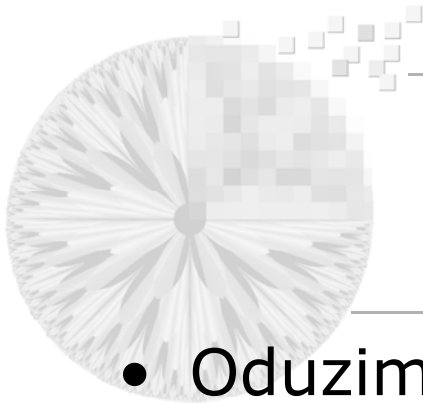
POBOLJŠANJE SLIKE DRUGIM IZVODOM - LAPLASIJAN

- Izoštavanje slike primenom Laplasijana u jednom koraku
 - Vlakno Tungstena
 - Rezultati filtriranja sa dve različite maske
 - Centralni 5 (dole levo)
 - Centralni 9 (dole desno)
 - 9 daje bolji rezultat od 5

0	-1	0
-1	5	-1
0	-1	0

-1	-1	-1
-1	9	-1
-1	-1	-1



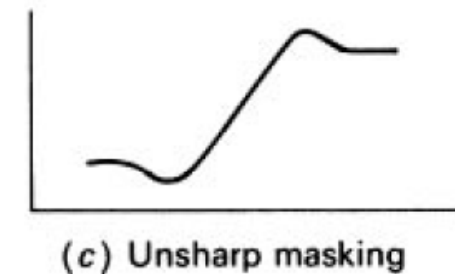
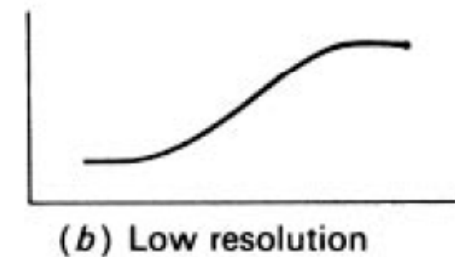
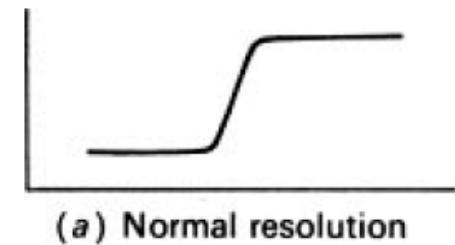


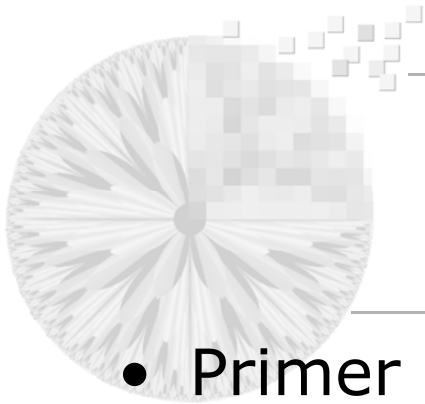
UNSHARP MASKING

- Oduzimanje zamućene (*blurred*) verzije od originalne slike
 - Standardni postupak u štamparskoj industriji (slika se dva puta skenira: u visokoj i u niskoj rezoluciji)

$$f_s(x, y) = \frac{c}{2c - 1} f(x, y) - \frac{1 - c}{2c - 1} \bar{f}(x, y)$$

- Parametar c određuje odnos originalne i zamućene slike
- Zamućena slika može se dobiti interpolacijom slike niske rezolucije ili NF filtriranjem originalne



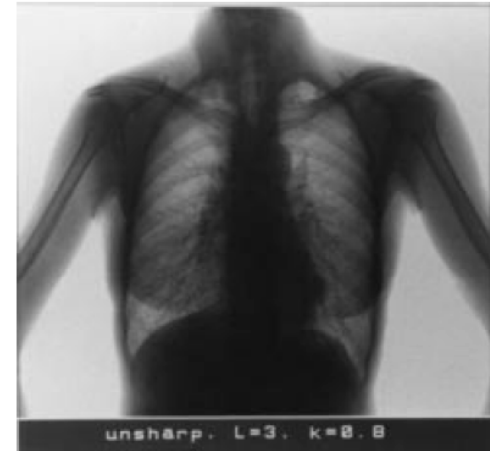


UNSHARP MASKING

- Primer
 - Zamućena slika dobijena je usrednjavanjem originalne slike maskom jedinica dimenzija $L \times L$



(a) $L = 3, c = 0.6$



(b) $L = 3, c = 0.8$

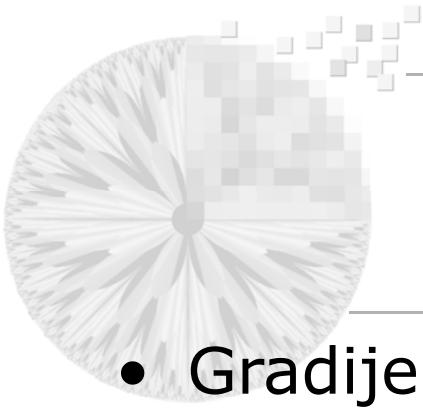


(c) $L = 7, c = 0.6$



(d) $L = 7, c = 0.8$

W.K.Pratt: Digital Image Processing, 3rd edition



POBOLJŠANJE SLIKE PRVIM IZVODOM - GRADIJENT

- Gradijent slike $f(x,y)$ je vektor

$$\nabla \mathbf{f} = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix}$$

- Moduo gradijenta je izotropni operator

$$\nabla f = |\nabla \mathbf{f}| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}$$

- Zbog jednostavnijeg računa koristi se aproksimacija

$$\nabla f \approx |G_x| + |G_y| = \left| \frac{\partial f}{\partial x} \right| + \left| \frac{\partial f}{\partial y} \right|$$

- Za različito definisane parcijalne izvode, dobijaju se različite varijante gradijenta koje se koriste u obradi slike



POBOLJŠANJE SLIKE PRVIM IZVODOM - GRADIJENT

- Različite varijante gradijentnih operatora

- Konvolucija sa operatorskim maskama
- **Robertsov** kros-gradijentni operator
- Definisan dijagonalama na parnoj 2x2 okolini

$$G_x = (z_9 - z_5), \quad G_y = (z_8 - z_6),$$

$$\nabla f \approx |z_9 - z_5| + |(z_8 - z_6)|$$

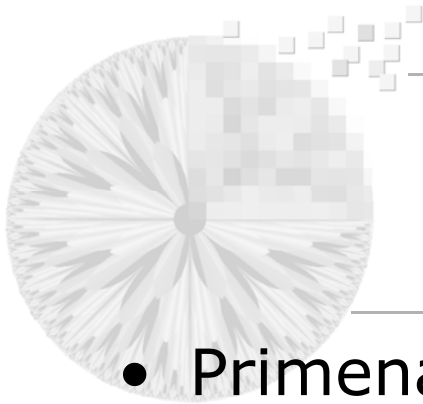
- **Sobelov** operator
- Faktor 2 daje veću važnost centralnom pikselu

$$\nabla f \approx |(z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3)| \\ + |(z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7)|$$

z_1	z_2	z_3
z_4	z_5	z_6
z_7	z_8	z_9

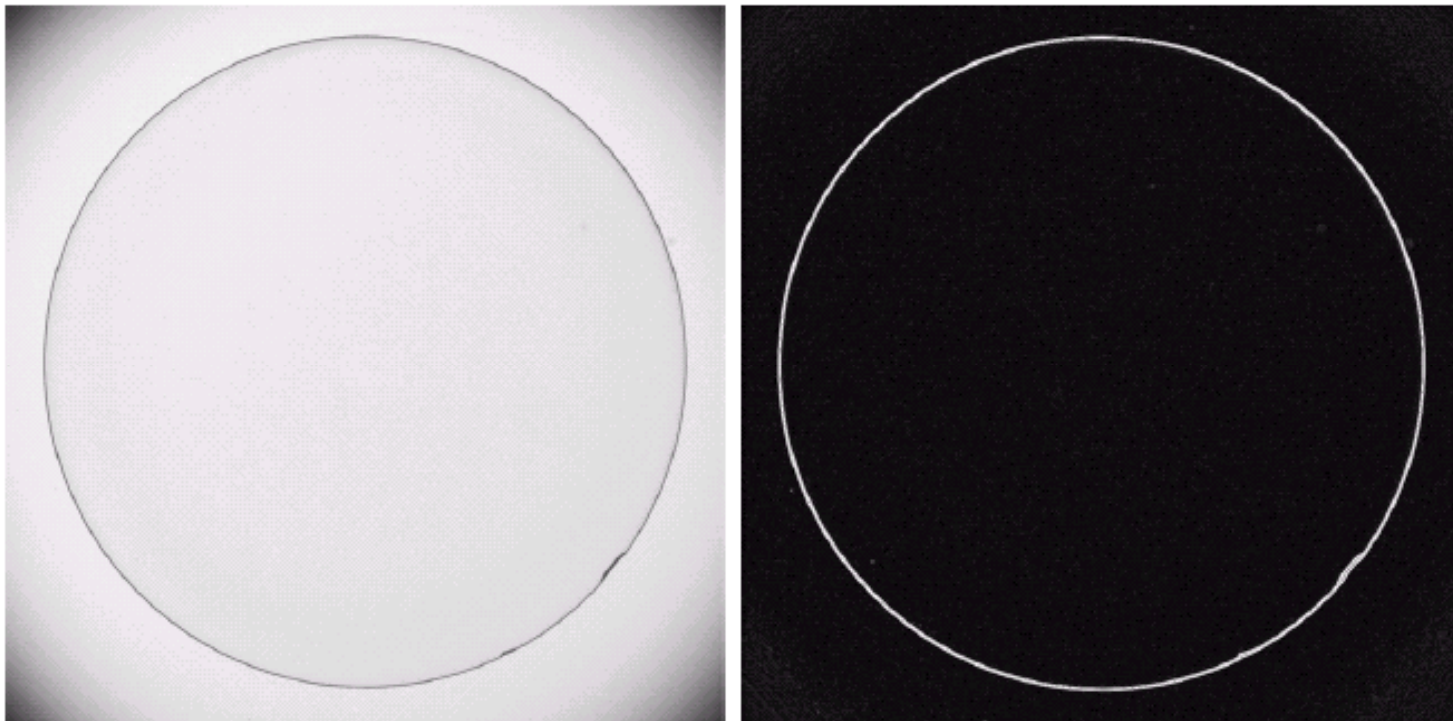
-1	0	0	-1
0	1	1	0

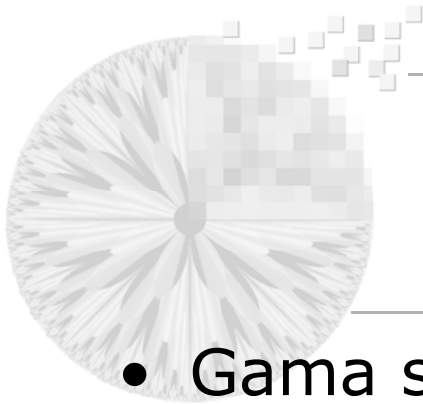
-1	-2	-1	-1	0	1
0	0	0	-2	0	2
1	2	1	-1	0	1



POBOLJŠANJE SLIKE PRVIM IZVODOM - GRADIJENT

- Primena Sobelovog operatora u inspekciji sočiva
 - Desna slika dobija se primenom Sobelovog operatora
 - Deformiteti sočiva (odstupanja od kruga) mogu se lako detektovati poređenjem sa krugom (dole desno)

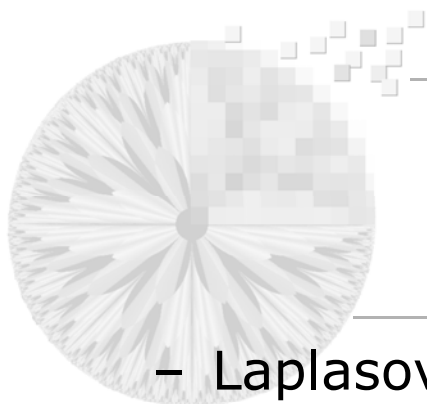




KOMBINOVANJE PROSTORNIH METODA ZA POBOLJŠANJE SLIKE

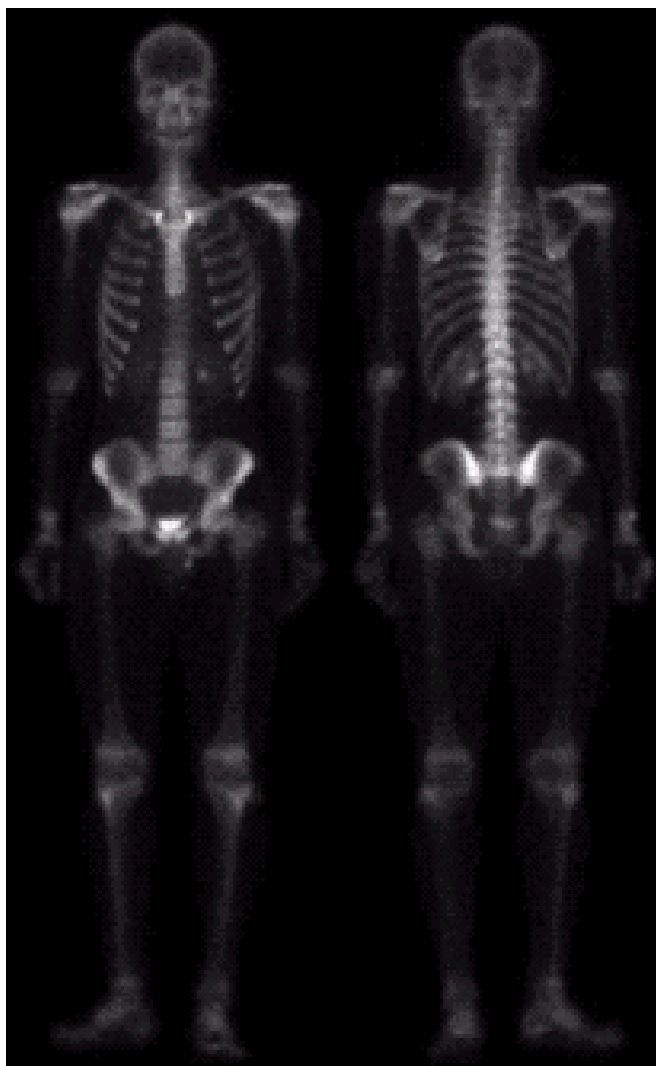
- Gama slika čitavog skeleta
 - Poboljšanje slike izoštravanjem i isticanjem detalja skeleta u cilju detekcije tumora i infekcije kostiju
 - Mali dinamički opseg i visok nivo šuma otežavaju zadatak

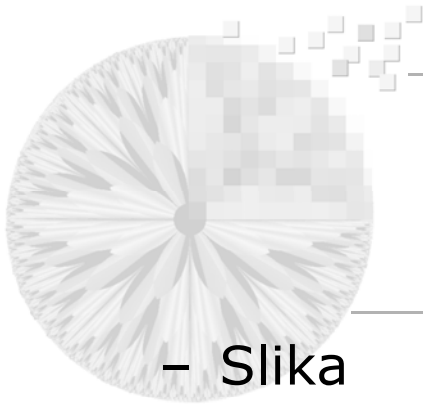




- Laplasov operator sa maskom koja ima 8 u centru i -1 na ostalim mestima

KOMBINOVANJE PROSTORNIH METODA ZA POBOLJŠANJE SLIKE





KOMBINOVANJE PROSTORNIH METODA ZA POBOLJŠANJE SLIKE

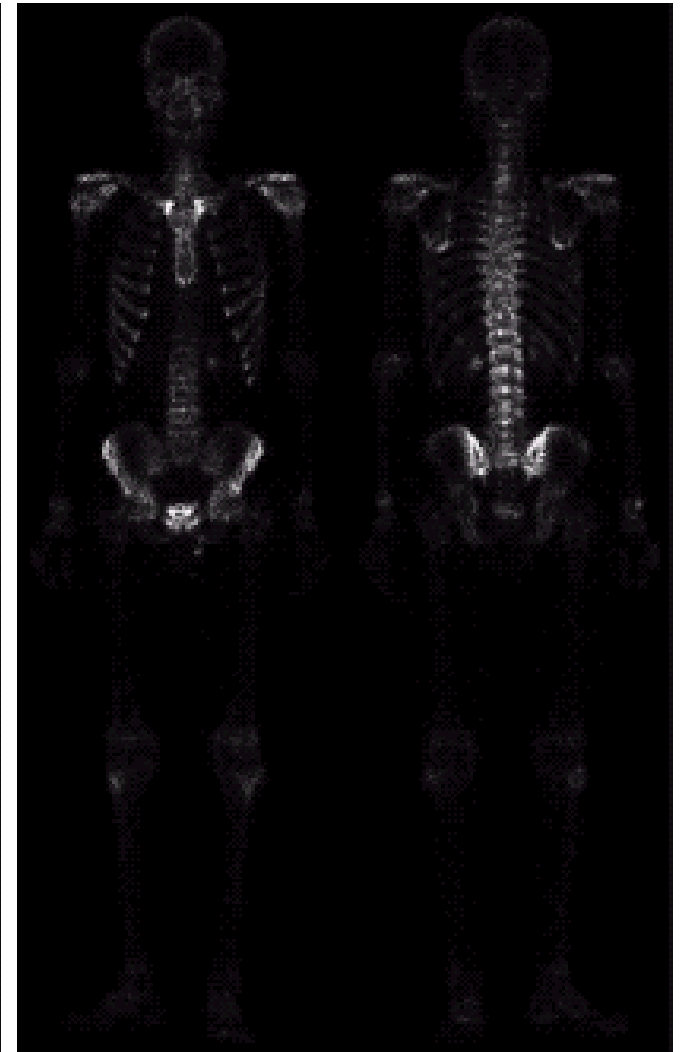
- Slika izoštrena sabiranjem sa Laplasovom slikom (levo)
- Originalna slika nakon obrade Sobelovim operatorom (desno)





KOMBINOVANJE PROSTORNIH METODA ZA POBOLJŠANJE SLIKE

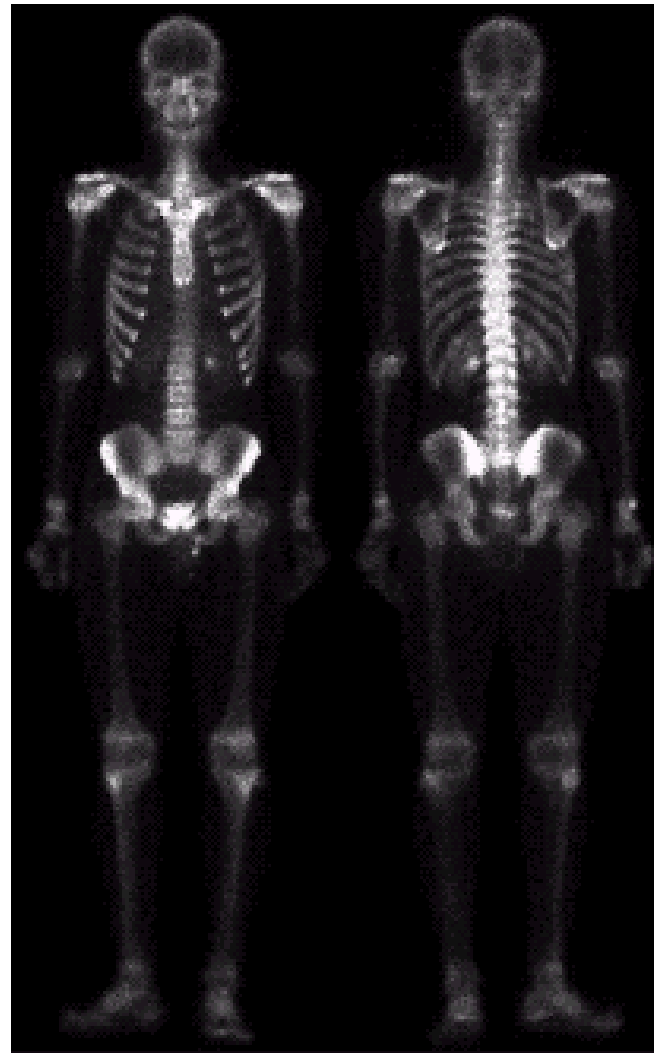
- Sobelova slika ublažena usrednjavanjem sa maskom 5x5 (levo)
- Maska dobijena množenjem izoštrene slike i ublažene Sobelove (desno)

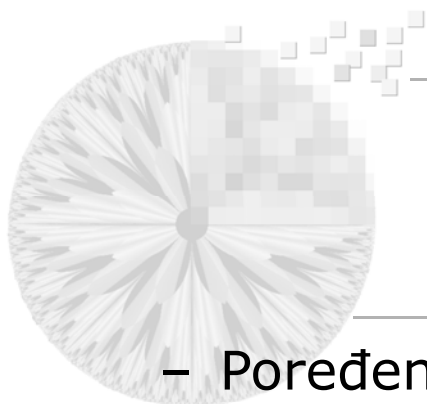




KOMBINOVANJE PROSTORNIH METODA ZA POBOLJŠANJE SLIKE

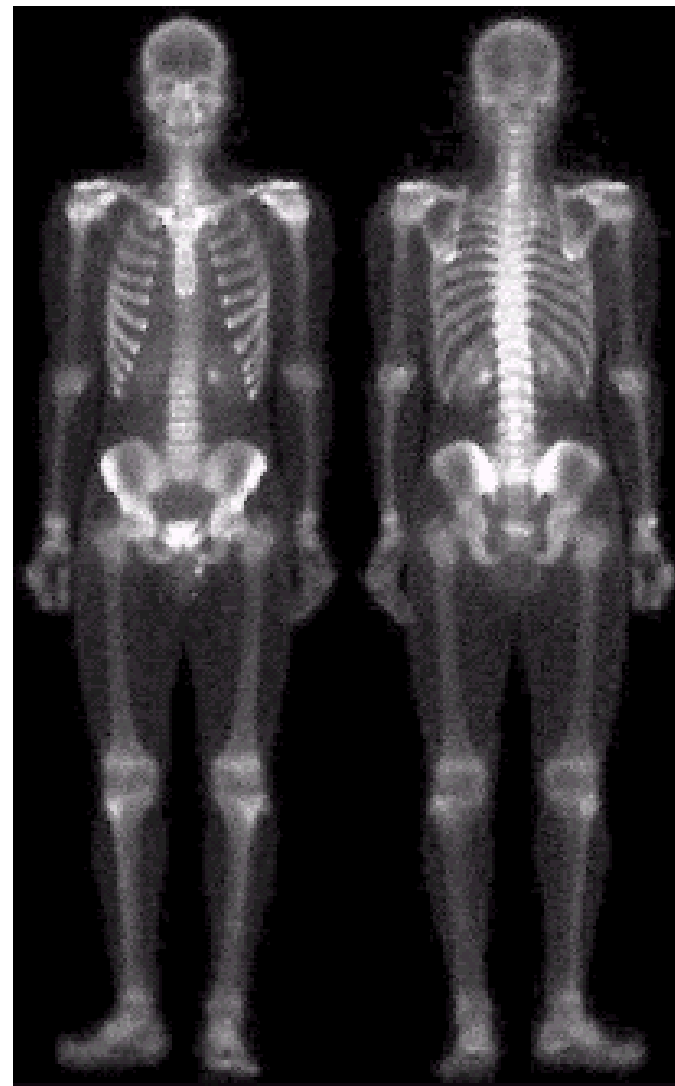
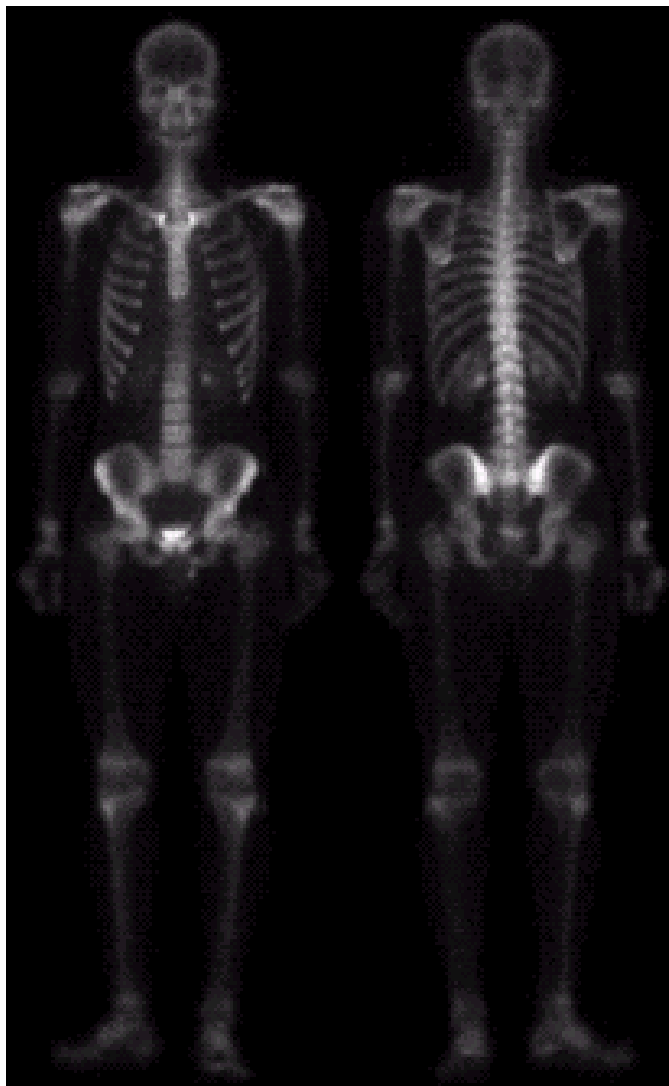
- Izoštrena slika dobijena sabiranjem originalne slike i maske (levo)
- Konačna slika dobijena od prethodne stepenom transformacijom (desno)





KOMBINOVANJE PROSTORNIH METODA ZA POBOLJŠANJE SLIKE

- Poređenje početne slike (levo) i slike nakon obrade (desno)



ZAKLJUČAK

- Poboljšanje slike na nivou piksela
- Transformacije intenziteta
 - Linearne, logaritamske, stepene, gama korekcija, deo-po-deo linearne
 - Dekompozicija na bitske ravni
- Histogram i ekvalizacija histograma
- Aritmetičko-logičke operacije
- Poboljšanje na nivou okoline - prostorno filtriranje
- Ublažavanje slike
 - Linearni i nelinearni prostorni filtri
- Izoštavanje slike
 - Laplasov operator, *unsharp masking*, gradijentni operator