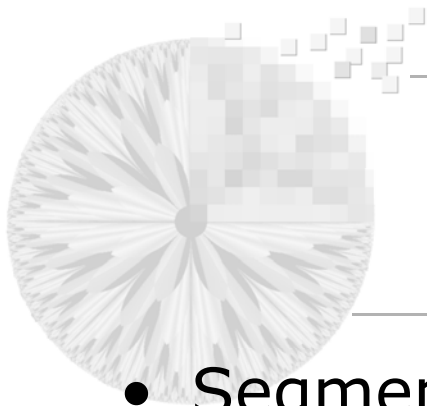


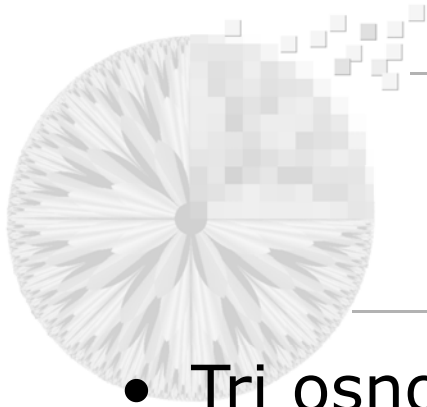
SEGMENTACIJA SLIKE

POGLAVLJE 9



SEGMENTACIJA SLIKE

- Segmentacija slike je proces njene podele na sastavne regione ili objekte, do potrebnog nivoa
- Zasniva se na dva principa
 - **Diskontinuitet** – particija slike na osnovu naglih promena intenziteta (ivice slike)
 - **Sličnost** – deljenje slike na regione koji su slični po nekom unapred utvrđenom kriterijumu
- Segmentacija je nezaobilazan korak u automatskom prepoznavanju oblika i analizi scene
- Izbor tehnike segmentacije zavisi od problema

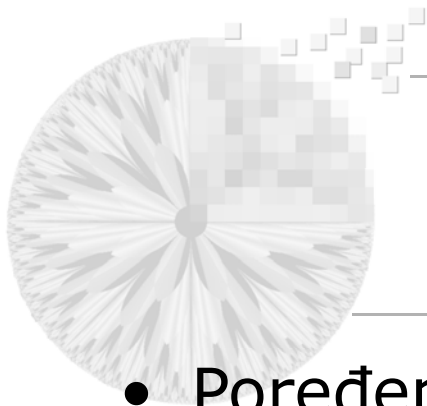


DETEKCIJA DISKONTINUITETA

- Tri osnovna tipa diskontinuiteta u slici
 - Tačka
 - Linija
 - Ivica
- Najčešći pristup je preko maske

w_1	w_2	w_3
w_4	w_5	w_6
w_7	w_8	w_9

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



DETEKCIJA TAČKE

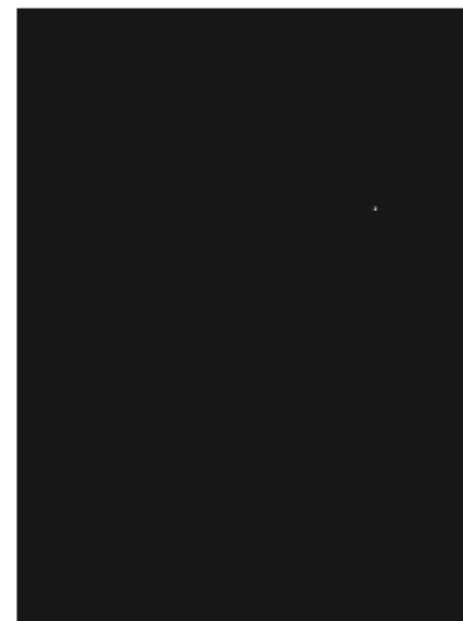
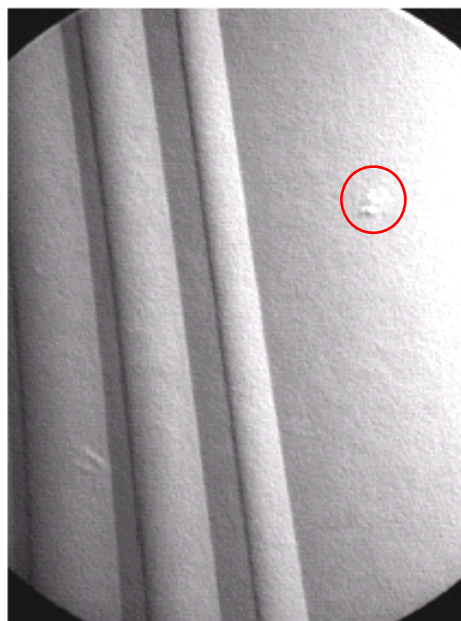
- Poređenje vrednosti tačke sa njenom okolinom
 - Primenom maske Laplasijana dobija se slika sa velikim vrednostima na mestu tačke
 - Poređenjem sa pragom T dobija se binarna maska sa izolovanim tačkama

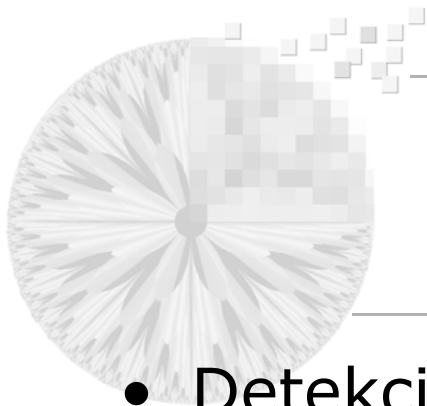
$$|R| \geq T$$

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

-Rentgenska slika poroznog peraja turbine mlaznog motora (postoji izolovana crna tačka na mestu poroznosti)

-Poređenjem slike nakon filtriranja sa pragom od 90% najveće vrednosti dobija se maska

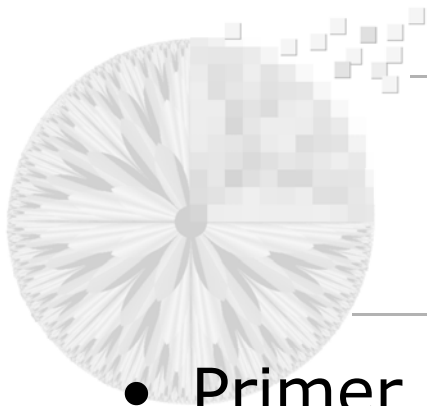




DETEKCIJA LINIJE

- Detekcija linije debljine jednog piksela
- Za sva četiri pravca prostiranja definiše se maska
 - Suma koeficijenata svake maske je 0, pa se na uniformnoj oblasti dobija rezultat 0
 - Ako je vrednost odziva u jednoj maski veća nego u drugoj, tada je pravac prostiranja linije bliži prvoj masci
 - Ako je cilj detekcija linija koje se prostiru samo po jednom pravcu, primenjuje data maska i poredi sa pragom

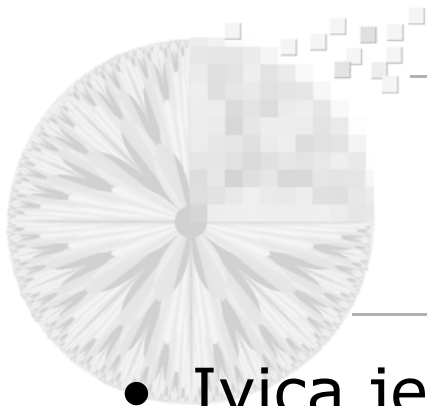
-1	-1	-1	-1	-1	2	-1	2	-1	2	-1	-1
2	2	2	-1	2	-1	-1	2	-1	-1	2	-1
-1	-1	-1	2	-1	-1	-1	2	-1	-1	-1	2
Horizontal			+45°			Vertical			-45°		



DETEKCIJA LINIJE

- Primer binarne maske veza u integralnom kolu
 - Cilj je detekcija svih linija debljine 1 piksel koje se prostiru pod uglom -45° (poslednja maska na prethodnom slajdu)
 - Detekcija primenom maske i poređenjem sa pragom





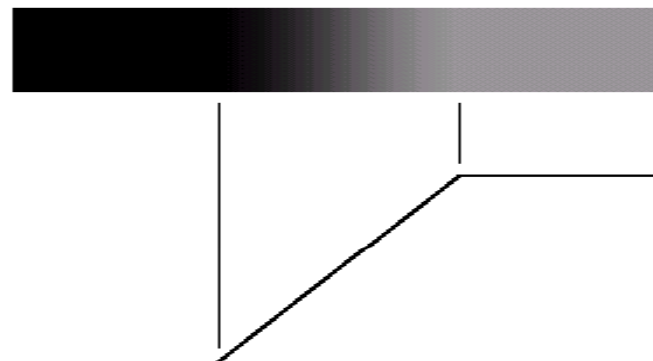
DETEKCIJA IVICE

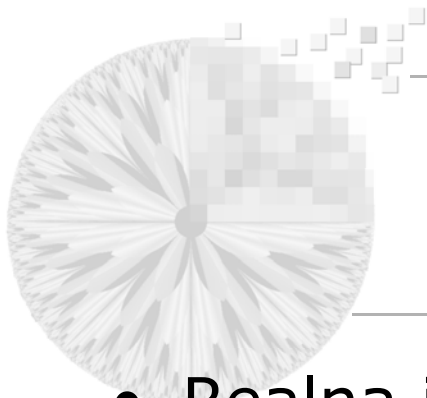
- Ivice je skup povezanih piksela na granici regiona
 - Granica regiona je širi pojam od ivice
 - Idelna ivica je nagli prelaz širine jednog piksela
 - U praksi širina ivice je veća, a prelaz nije tako strm
 - Zamućenje (*blur*) usled osobina sistema za akviziciju: Optika, uzorkovanje, osvetljaj...
 - Tačka ivice je svaka tačka koja pripada nagibu (rampi)

IDEALNA IVICA



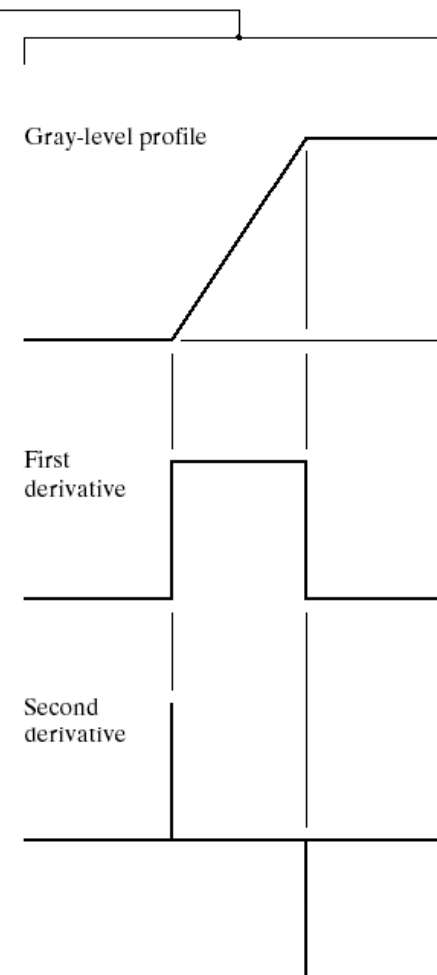
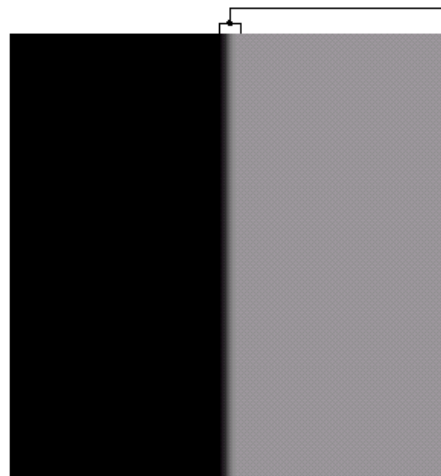
REALNA IVICA





DETEKCIJA IVICE

- Realna ivica i izvodi
 - Prvi izvod realne ivice je pravougaoni impuls
 - Na osnovu njega može se odrediti da li dati piksel pripada ivici
 - Drugi izvod realne ivice je par impulsa suprotnog znaka (loša osobina)
 - Na osnovu njega može se odrediti sa koje strane ivice se nalazi piksel
 - Zamišljena linija koja spaja vrhove impulsa drugog izvoda prolazi kroz nulu na sredini ivice (zero-crossing)
 - Određivanje sredine debele ivice

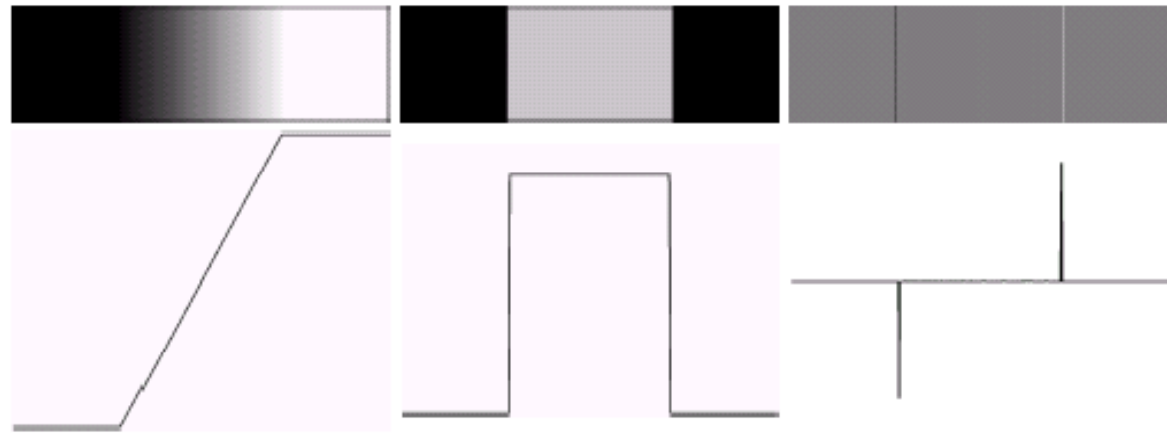




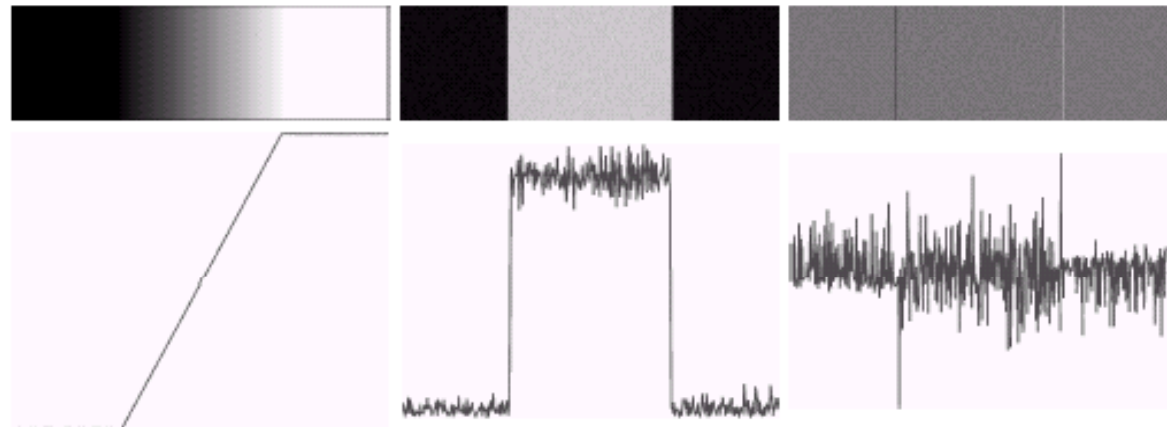
DETEKCIJA IVICE

- Gausov šum, realna ivica i izvodi

-Realna ivica bez šuma,
prvi i drugi izvod



-Realna ivica sa
Gausovim šumom nulte
srednje vrednosti i
varijanse 0.1

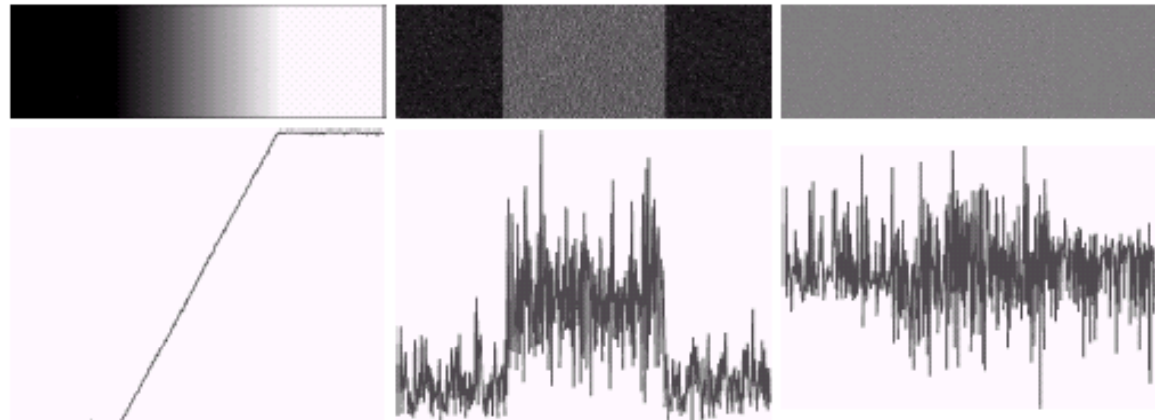




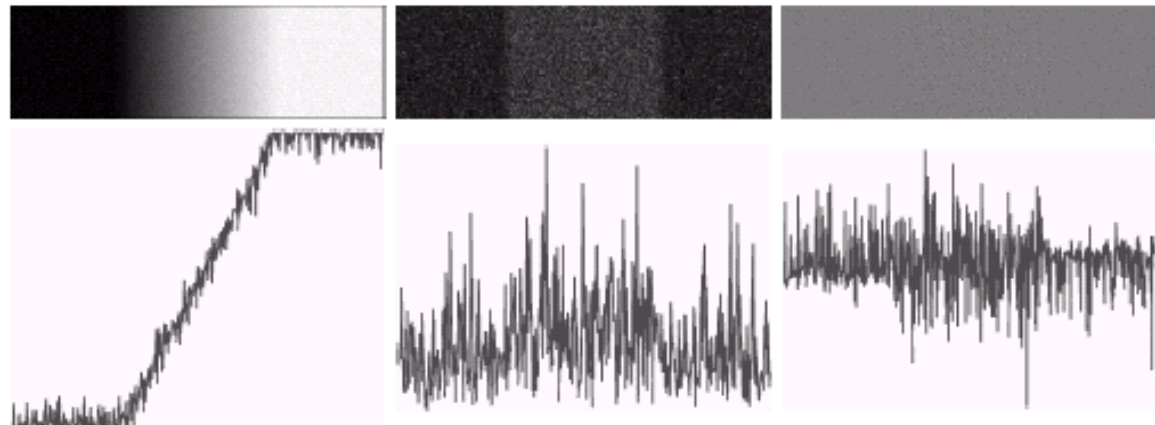
DETEKCIJA IVICE

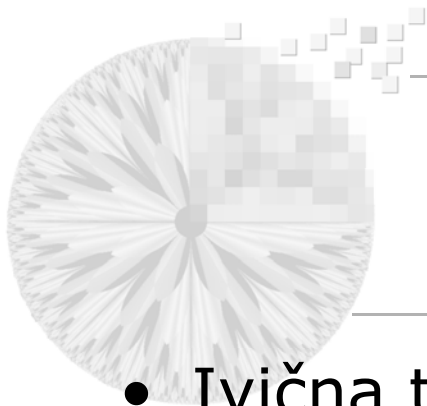
- Gausov šum, realna ivica i izvodi
 - Šum koji je na ivici gotovo nevidljiv jako kvari izvode

-Realna ivica sa Gausovim šumom nulte srednje vrednosti i varijanse 1



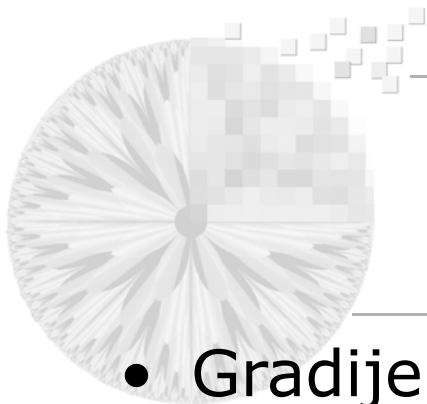
-Realna ivica sa Gausovim šumom nulte srednje vrednosti i varijanse 10





DETEKCIJA IVICE

- Ivična tačka (piksel koji pripada ivici)
 - Ako je prvi 2D izvod na tom mestu veći od datog praga
- Ivična tačke se preko drugog izvoda definiše kao mesto preseka sa nulom (zero-crossing)
- Ivice je skup povezanih ivičnih tačaka
- Prvi izvod u slici računa se na osnovu gradijenta, a drugi izvod na osnovu Laplasijana
- Segment ivice je izolovani deo veće ivice
- Povezivanje segmenata ivice u celinu je ključni problem segmentacije



DETEKCIJA IVICE

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

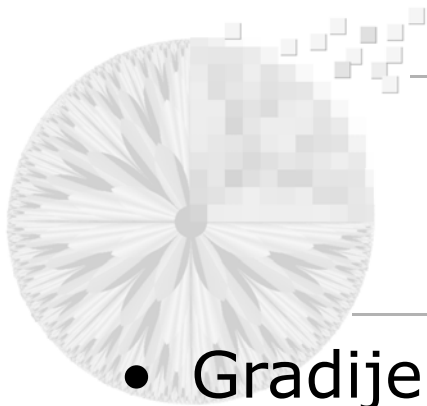
$$\nabla \mathbf{f} = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix}$$

- Ovaj vektor usmeren je u pravcu najveće promene funkcije f po koordinatama x i y
- Moduo gradijenta je intenzitet promene na poziciji (x, y)

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

- Argument gradijenta definiše pravac vektora (ugao u odnosu na x -osu), koji je normalan na pravac prostiranja ivice

$$\alpha(x, y) = \arctan \left(\frac{G_y}{G_x} \right)$$

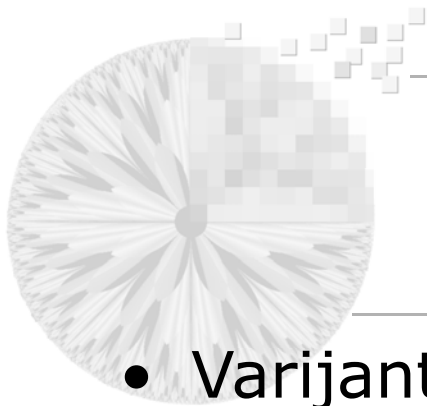


DETEKCIJA IVICE

- **Gradijent slike**
 - Često se u obradi slike moduo gradijenta naziva gradijent
 - Računanje modula po definiciji je računarski složeno i ne može se realizovati preko konvolucije
 - Zbog jednostavnijeg računa modula 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 za detekciju ivice



DETEKCIJA IVICE

- Varijante gradijentnih operatora
 - Konvolucija sa operatorskim maskama
 - **Roberts**-ov kros-gradijentni operator

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

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

- **Prewitt**-ov operator

$$\begin{aligned} \nabla f \approx & |(z_7 + z_8 + z_9) - (z_1 + z_2 + z_3)| \\ & + |(z_3 + z_6 + z_9) - (z_1 + z_4 + z_7)| \end{aligned}$$

- **Sobel**-ov operator

$$\begin{aligned} \nabla f \approx & |(z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3)| \\ & + |(z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7)| \end{aligned}$$

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

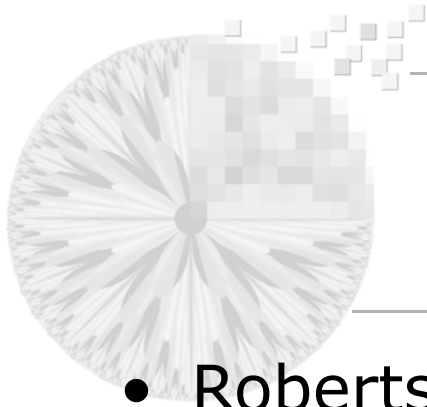
Roberts

-1	-1	-1	-1	0	1
0	0	0	-1	0	1
1	1	1	-1	0	1

Prewitt

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

Sobel



DETEKCIJA IVICE

- Roberts-ov operator nije praktičan za implementaciju zbog parne dimenzije maske
- Prewitt-ov i Sobel-ov gradijentni operator rade suštinski istu stvar, ali Sobel-ov vrši izvesno ublažavanje zbog centralnog koeficijenta 2
 - Pošto je izvod vrlo osetljiv na šum ovo je značajna karakteristika Sobel-ovog gradijentnog operatora
- Prewitt-ov i Sobel-ov operator mogu se modifikovati tako da daju najveće odzive po dijagonalama ($+45^\circ$, -45°) \Rightarrow

0	1	1	-1	-1	0
-1	0	1	-1	0	1
-1	-1	0	0	1	1

Prewitt

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

Sobel



DETEKCIJA IVICE

•Primer 1

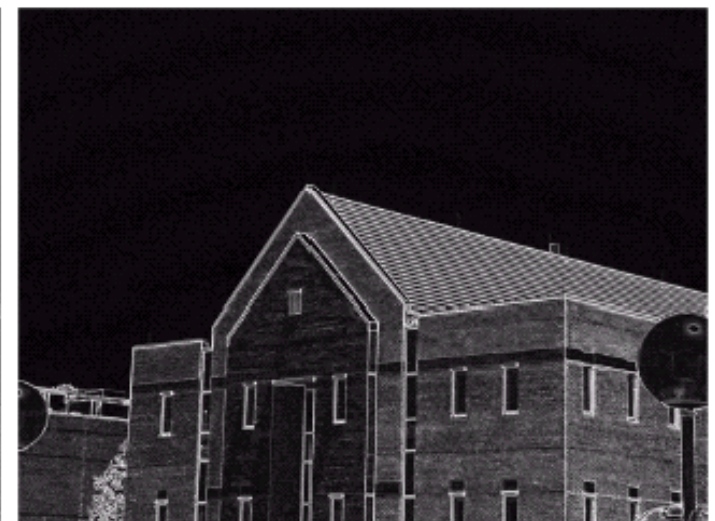
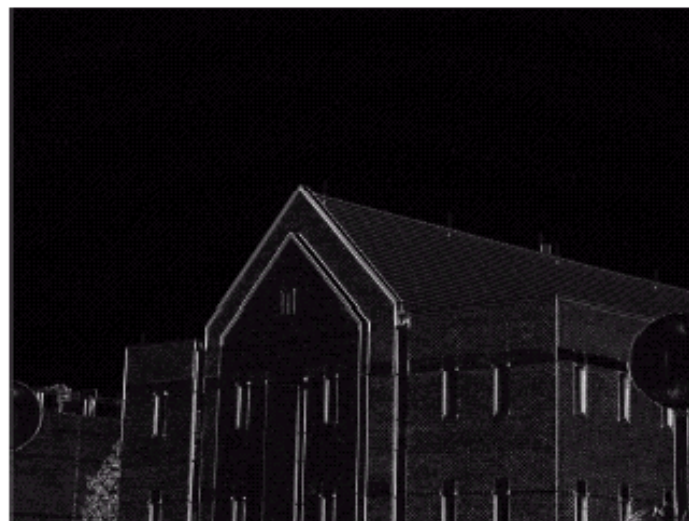
Originalna slika,

$|G_x|$ komponenta
koja indikuje
promene po
horizontalnom
pravcu (veritkalne
ivice),

$|G_y|$ komponenta
koja indikuje
promene po
vertikalnom pravcu
(horizontalne
ivice),

Gradijent slike

$|G_x| + |G_y|$





DETEKCIJA IVICE

•Primer 2

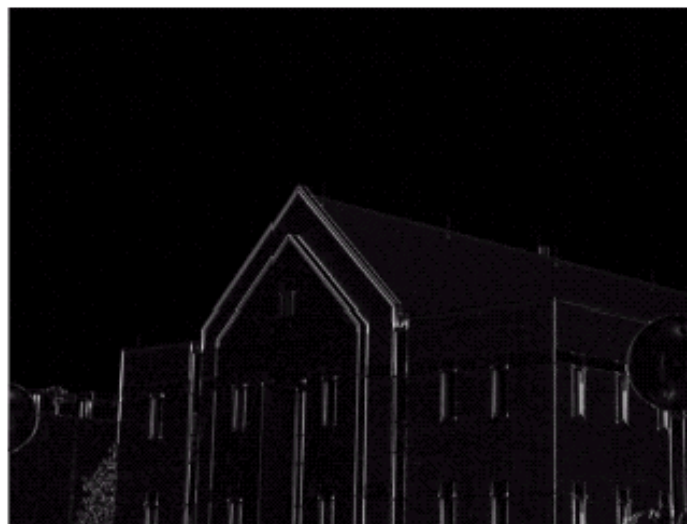
U prethodnom primeru je zbog velike rezolucije slike, pored glavnih ivica, došlo do detekcije sitnih detalja kao što su crepovi na krovu ili cigle u zidu.

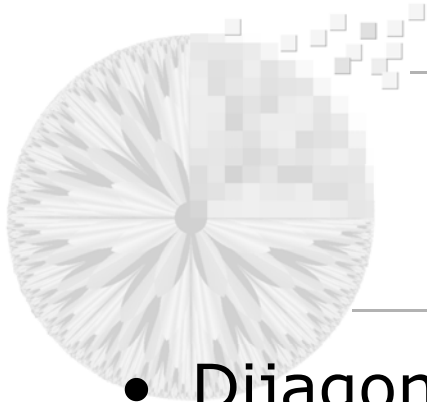
Da bi se to izbeglo originalna slika se ublažava.

.....

Originalna slika
ublažena
usrednjivačem 5x5,

$$|G_x|, |G_y|, |G_x| + |G_y|$$

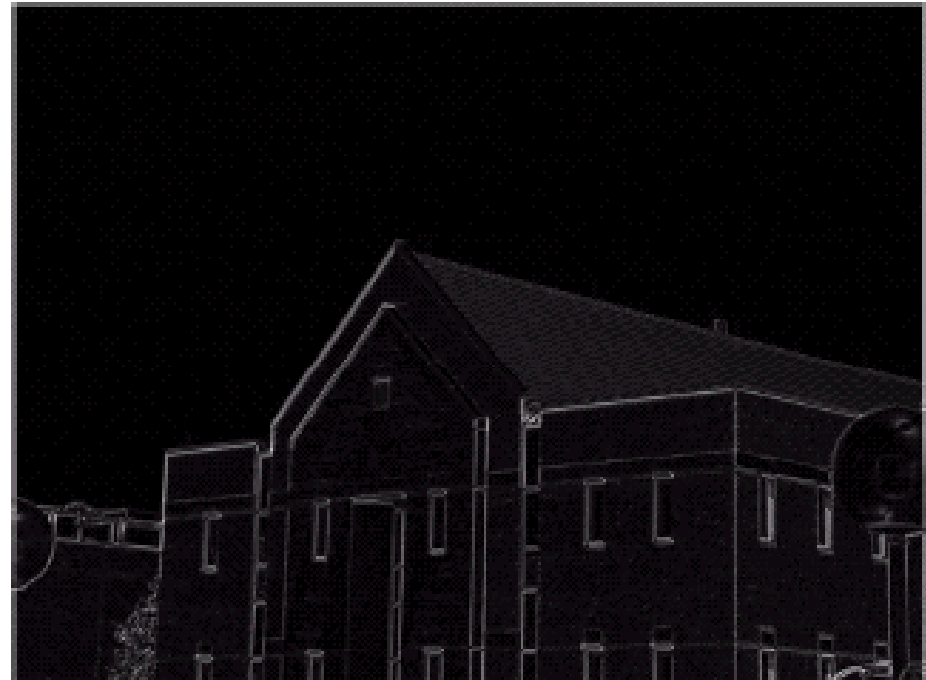


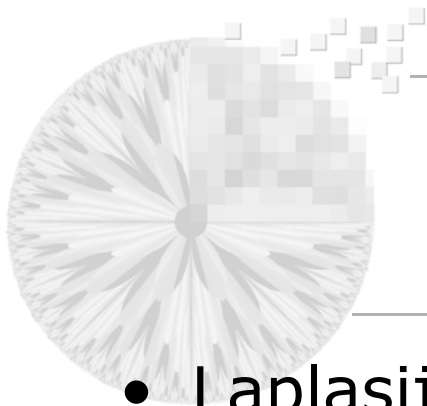


DETEKCIJA IVICE

- Dijagonalna detekcija ivica
 - Rezultat detekcije Sobel-ovim maskama za dijagonalnu detekciju ($+45^\circ$, -45°)

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





DETEKCIJA IVICE

- Laplasijan 2D funkcije $f(x,y)$

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

- Digitalne aproksimacije
dimenzije 3x3 piksela

$$\nabla^2 f = 4z_5 - (z_2 + z_4 + z_6 + z_8)$$

$$\nabla^2 f = 8z_5 - (z_1 + z_2 + z_3 + z_4 + z_6 + z_7 + z_8 + z_9)$$

- Maske za implementaciju
ovih jednačina preko
konvolucije

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



DETEKCIJA IVICE

- Ne koristi se za detekciju ivica u izvornom obliku
 - Drugi izvod je veoma osetljiv na šum
 - Generiše dvostruke ivice što otežava segmentaciju slike
 - Ne može da odredi pravac prostiranja ivice
- Koristi se za lociranje ivice preko preseka sa nulom
 - U kombinaciji sa Gausovim predfiltrom koji potiskuje šum

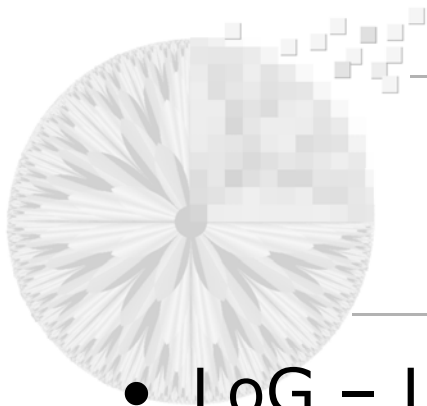
$$h(r) = -e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}, \quad r^2 = x^2 + y^2$$

-Vrednost σ određuje stepen ublažavanja slike – potiskivanja šuma

- Drugi izvod od h po r je Lapalasiyan

$$\nabla^2 h(r) = - \left[\frac{r^2 - \sigma^2}{\sigma^4} \right] e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}$$

- Ova se funkcija obično naziva Laplasijan Gausijana -LoG (*Laplacian of Gaussian*)



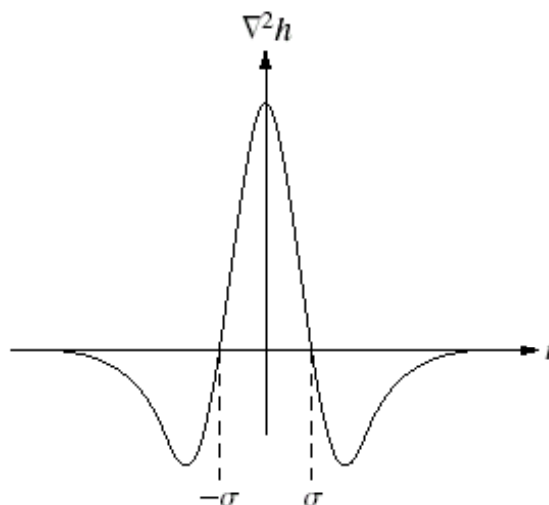
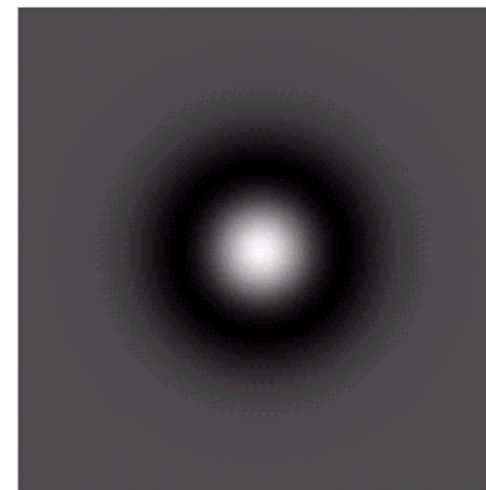
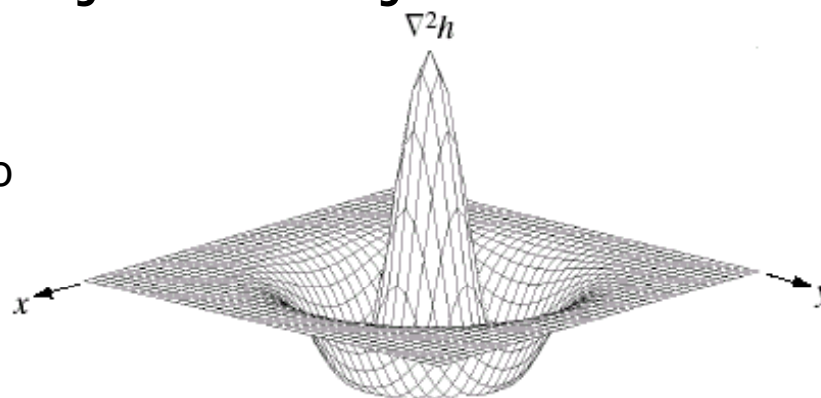
DETEKCIJA IVICE

- LoG – Laplasijan Gausijana

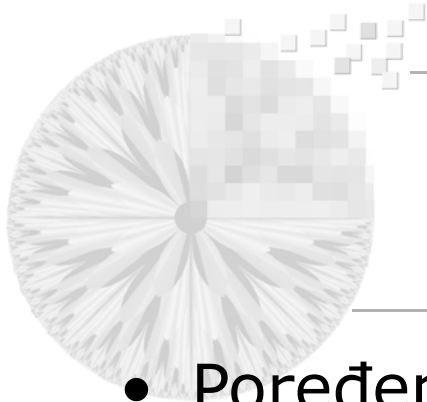
-Zbog oblika karakteristike LoG funkcija se često naziva **meksički šešir** (*Mexican Hat*)

-Zbog linearnosti obe operacije LoG se može realizovati preko konvolucije sa odgovarajućom maskom

-Maska u ovom primeru je mala i odgovara samo u situacijama sa veoma slabim šumom

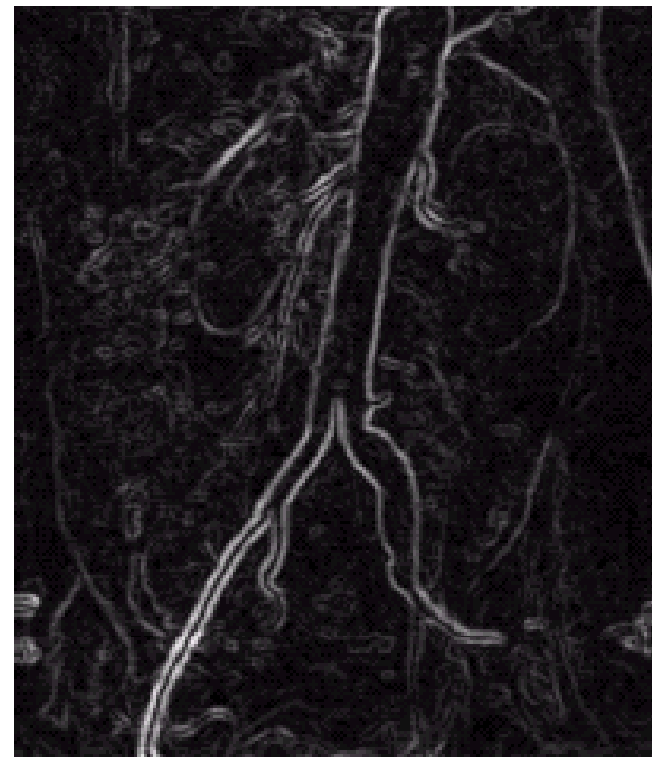
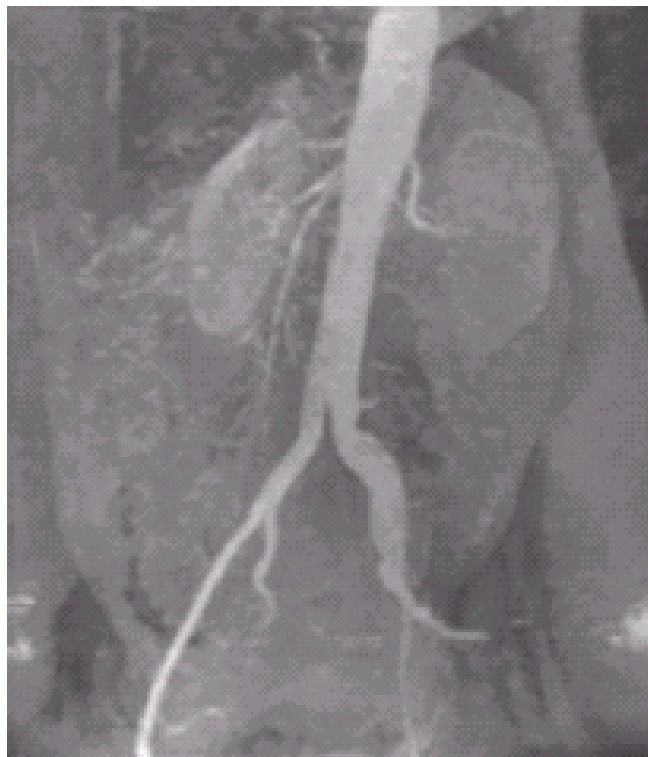


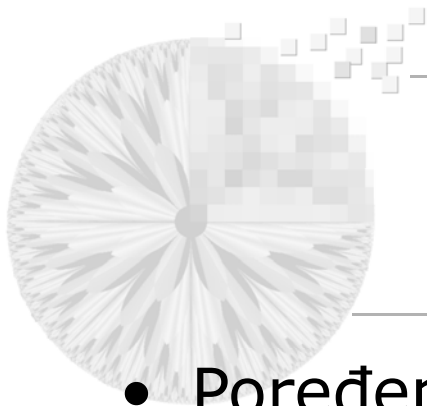
0	0	-1	0	0
0	-1	-2	-1	0
-1	-2	16	-2	-1
0	-1	-2	-1	0
0	0	-1	0	0



DETEKCIJA IVICE

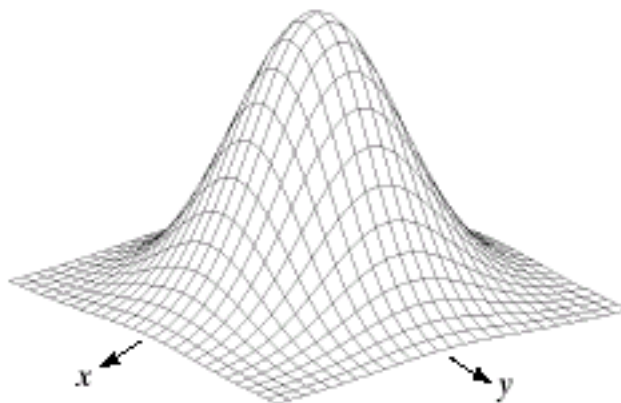
- Poređenje performansi Sobelovog i LoG operatora
 - Originalna slika angiograma i slika nakon primene Sobelovog gradijentnog operatora





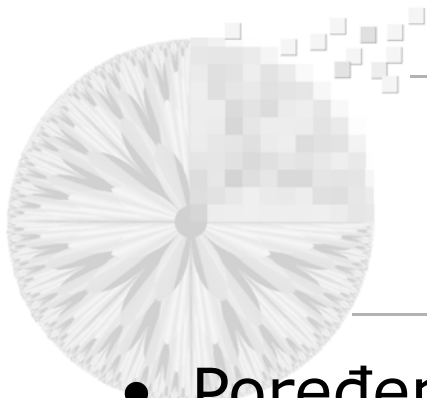
DETEKCIJA IVICE

- Poređenje performansi Sobelovog i LoG operatora
 - Standardna devijacija Gausovog filtra je 5 piksela
 - Na ovaj način dobija se maska veličine 27x27 piksela
 - Laplasijan sa centralnim pikselom 8



-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

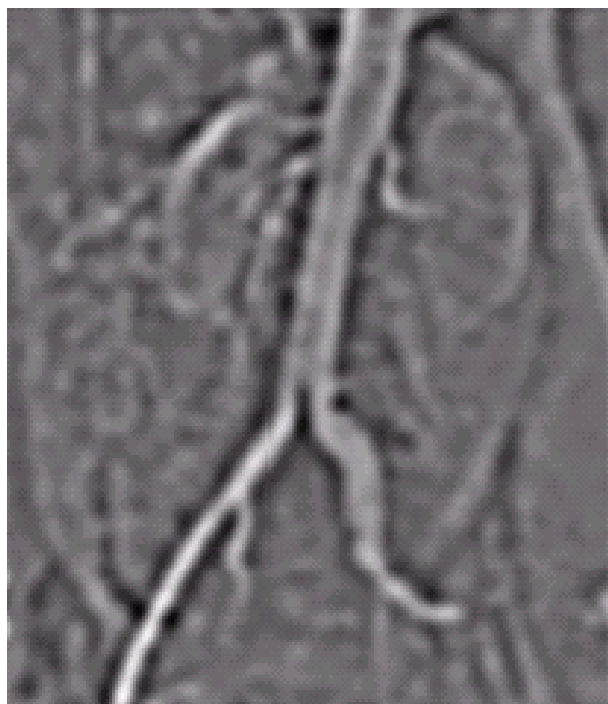
- Postoji više načina da se praktično realizuje presek sa nulom na osnovu drugog izvoda
 - Poređenje LoG slike sa nulom je jedan od njih
 - Presek je između pozitivne i negativne vrednosti Laplasijana



DETEKCIJA IVICE

- Poređenje performansi Sobelovog i LoG operatora
 - Mesta preseka sa nulom odgovaraju mestima prelaska sa 0 na 1 u slici $\text{LoG} > 0$ (granice regiona)

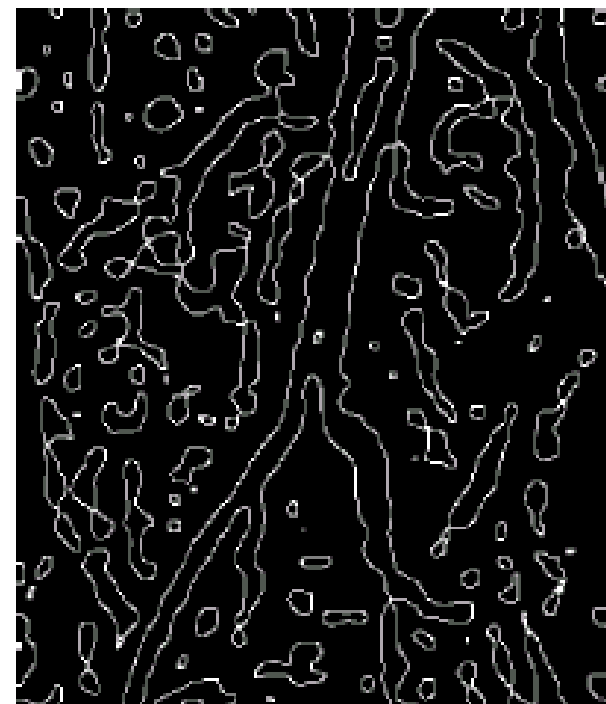
LoG

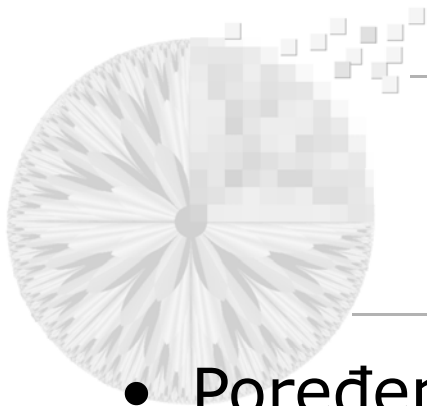


$\text{LoG} > 0$



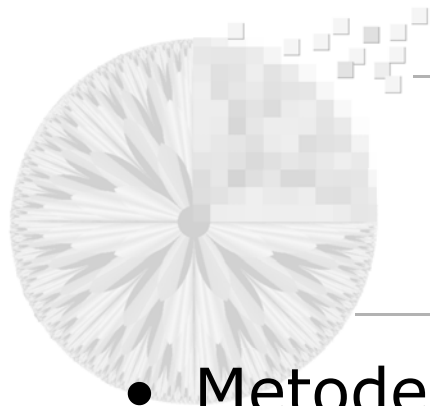
Presek sa nulom





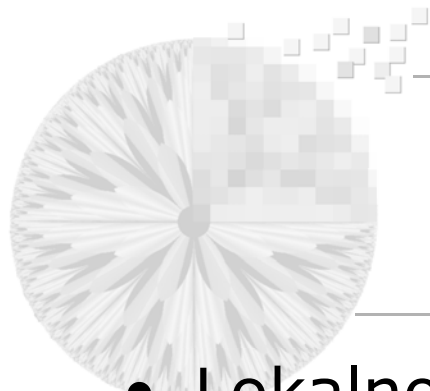
DETEKCIJA IVICE

- Poređenje performansi Sobelovog i LoG operatora
 - Ivice dobijene preko LoG slike mnogo su tanje od ivica dobijenih Sobelovim operatorom (debljine 1 piksel) ✓
 - Ivice dobijene presekom sa nulom predstavljaju zatvorene petlje – efekat špageta ☒
 - Realizacija preseka sa nulom nije jednoznačna, već postoje brojna rešenja koja daju različite rezultate (ivice locirane na različitim mestima) ☒
 - U ovom primeru upotrebljena je najjednostavnija varijanta
 - Metode preseka sa nulom su od interesa zbog dobre otpornosti na šum ✓
 - U praksi, metode za detekciju ivica zasnovane na gradientu (prvom izvodu) mnogo se više koriste nego metode zasnovane na preseku sa nulom (drugom izvodu)



POVEZIVANJE IVICA I DETEKCIJA GRANICE REGIONA

- Metode za detekciju ivice kao rezultat najčešće daju nekonzistentne ivice
- Ovo je posledica prisustva šuma, neuniformnog osvetljaja i drugih uticaja
- Sledeći korak jeste povezivanje isprekidanih delova ivica u odgovarajuće celine
- Lokalne metode za povezivanje ivica
 - Analizom okoline piksela koji je označen nekom od metoda za detekciju ivice kao ivična tačka
- Globalne metode za povezivanje ivica
 - Hujova transformacija (*Hough transform*)
 - Teorija grafova



POVEZIVANJE IVICA I DETEKCIJA GRANICE REGIONA

- Lokalno povezivanje ivice
 - Za svaku ivičnu tačku (x_0, y_0) analizira se njena bliska okolina (3x3 ili 5x5 piksela)
 - Sve tačke okoline koje su na osnovu nekog kriterijuma označene kao slične povezuju se u kompaktnu celinu – ivicu
 - Dva osnovna kriterijuma
 - Moduo gradijenta

$$|\nabla f(x, y) - \nabla f(x_0, y_0)| < E$$

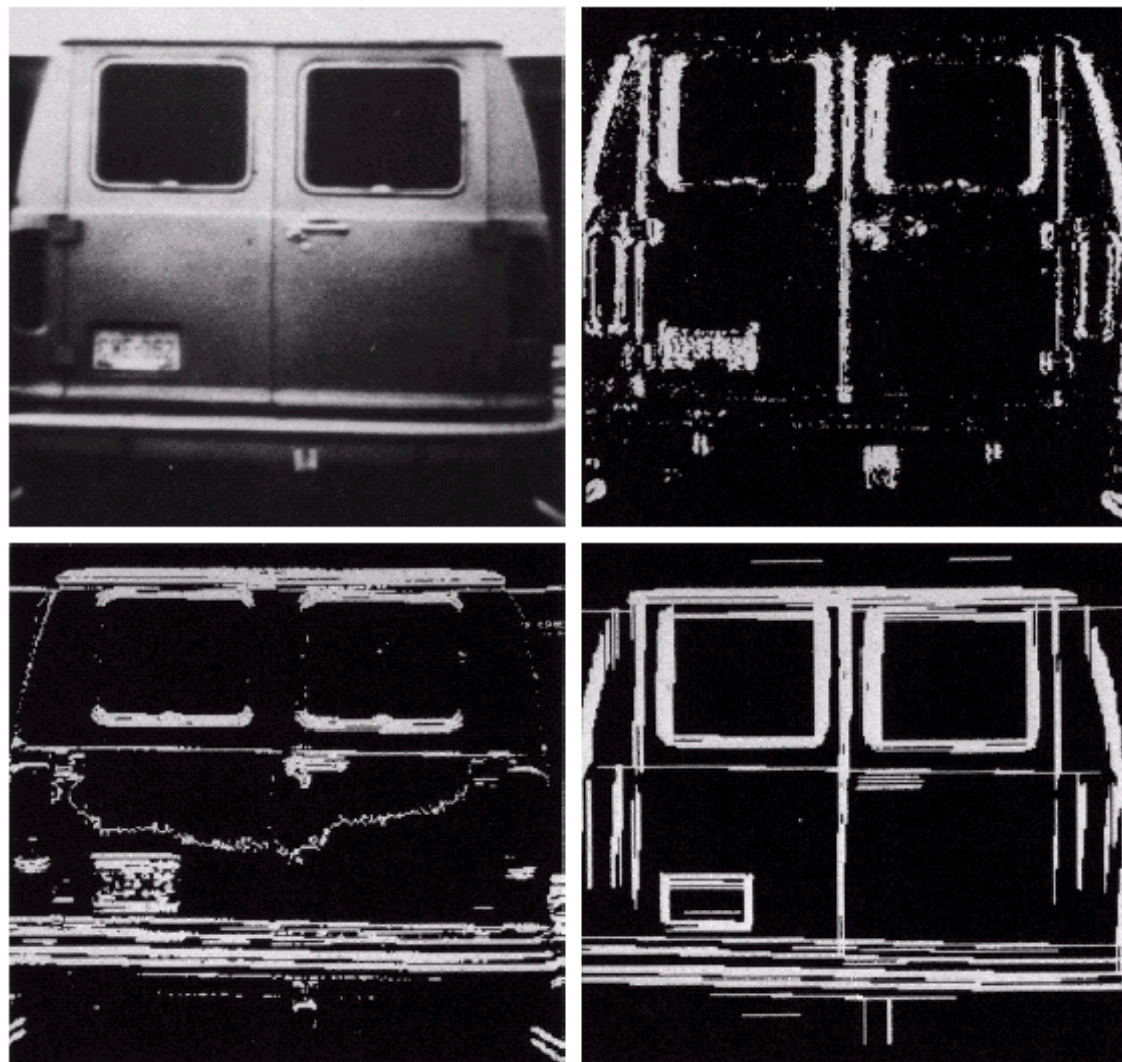
- Pravac gradijenta

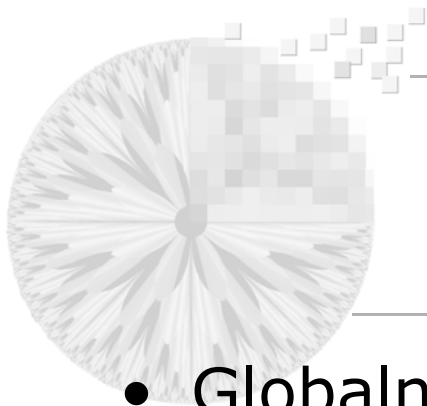
$$|\alpha(x, y) - \alpha(x_0, y_0)| < A$$

- Tačka (x, y) u okolini ivične tačke (x_0, y_0) biće povezana u ivicu samo ako zadovoljava oba kriterijuma

POVEZIVANJE IVICA I DETEKCIJA GRANICE REGIONA

- Lokalno povezivanje
 - Cilj je izdvajanje pravougaonih objekata koji su kandidati za registarsku tablicu
 - Vert. i horiz. ivice izdvajaju se Sobelovim operatorima: G_x i G_y
 - Konačna slika dobija se povezivanjem ivičnih tačaka čiji je moduo gradijenta veći od 25, a ugao gradijenta se ne razlikuje za više od 15°
 - Poznavanjem odnosa stranica, lako se izdvaja tablica od ostalih delova





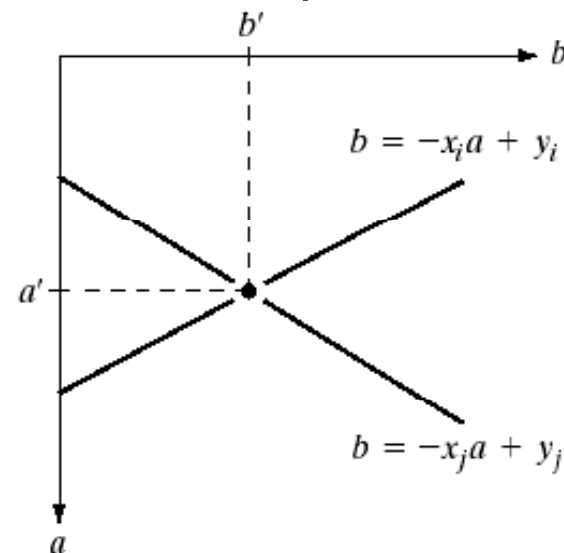
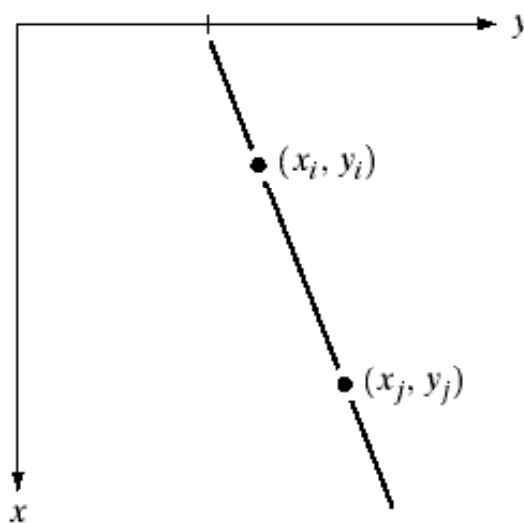
POVEZIVANJE IVICA I DETEKCIJA GRANICE REGIONA

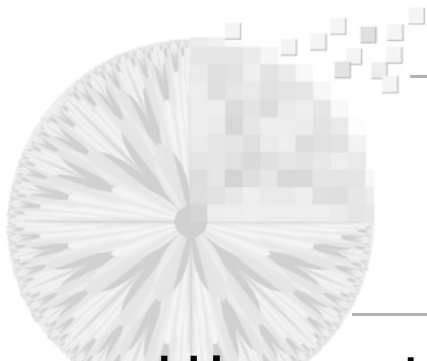
- Globalna analiza
 - Tačke se povezuju ako pripadaju krivoj određenog oblika
 - Posmatraju se globalne relacije između piksela
- Prave linije
 - Od n tačaka slike, treba pronaći one koje se nalaze na pravim linijama
 - Jedan pristup je pronalaženje svih parova tačaka koje određuju linije, a potom ispitivanje svih tačaka koje se nalaze na ovim linijama
 - Postoji $n(n-1)/2 \sim n^2$ linija i treba izvršiti $(n)(n(n-1))/2 \sim n^3$ poređenja tačaka sa linijama
 - Za sliku od 512x512 piksela to je $\sim 18 \times 10^{15}$ poređenja !!!
 - Hju (*Hough*) je predložio alternativni metod poznat kao Hjuova transformacija koji ima značajno manju složenost



POVEZIVANJE IVICA I DETEKCIJA GRANICE REGIONA

- Hjuova transformacija
 - Beskonačno mnogo pravih prolazi kroz tačku (x_i, y_i) , ali sve zadovoljavaju jednačinu prave $y_i = ax_i + b$ (za različite a i b)
 - Ako se ova jednačina napiše kao $b = -x_i a + y_i$, može se predstaviti kao prava u prostoru parametara (ab ravan)
 - Svaka tačka u ravni xy koja se nalazi na pravoj $y_i = ax_i + b$ imaće svoju pravu u ab ravni i sve će se prave seći u (a', b')

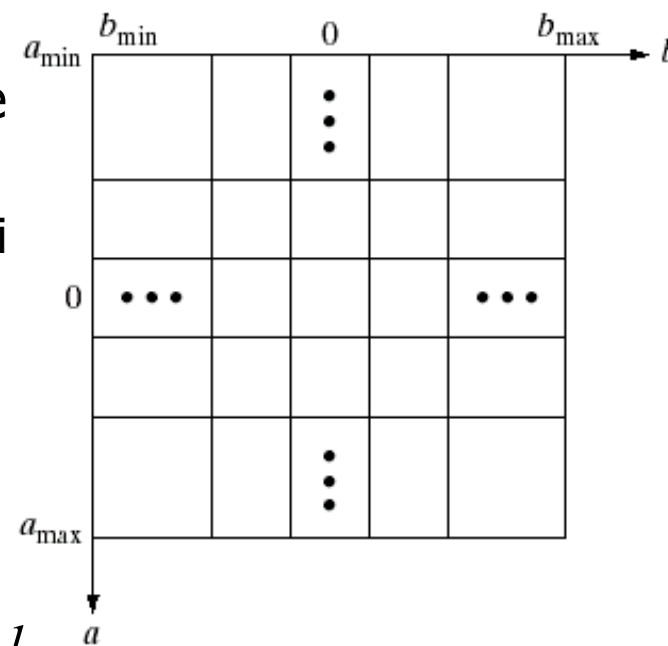


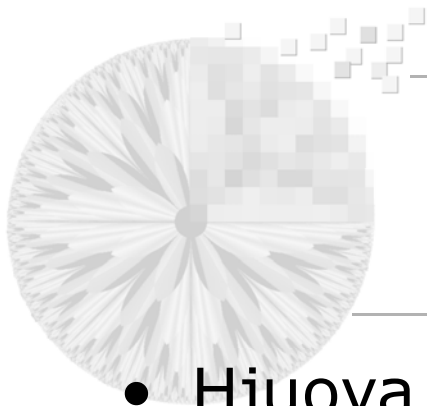


POVEZIVANJE IVICA I DETEKCIJA GRANICE REGIONA

- Hjuova transformacija

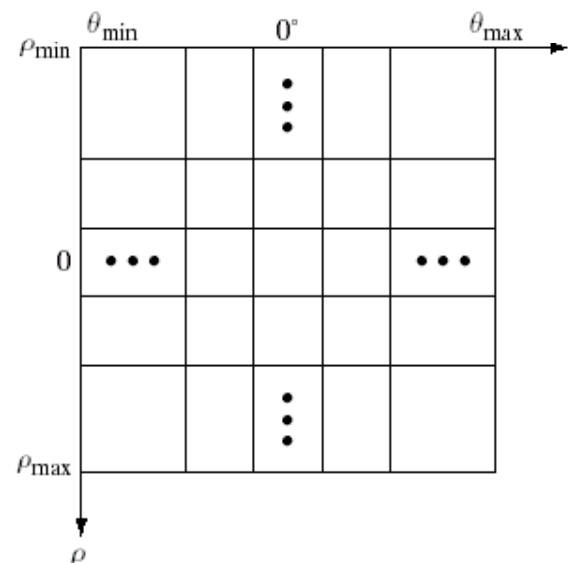
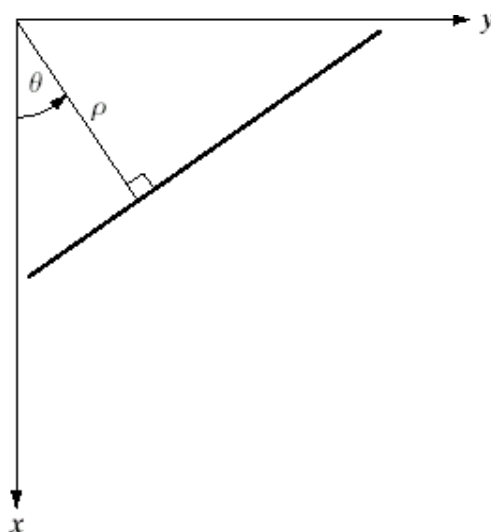
- Prostor parametara (ab ravan) deli se na tzv. akumulatorske ćelije $A(i,j)$
 - (a_{min}, a_{max}) i (b_{min}, b_{max}) su očekivani opsezi
- $A(i,j)$ odgovara polju (a_i, b_j) u prostoru parametara i inicijalno je nula
- Za svaku tačku slike (x_k, y_k) pronalazi se najbliži par vrednosti a i b koji zadovoljava jednačinu $y_k = ax_k + b$; ako su to a_p i b_q tada je $A(p,q) = A(p,q) + 1$
- Na kraju, ako je $A(i,j) = Q$, u slici ima Q tačaka na liniji $y = a_i x + b_i$
- Tačnost kolinearnosti tačaka određuje rezolucija ab ravni
- Ako ose parametara imaju K podeoka tada za svaku od n tačaka slike treba K operacija \rightarrow linearna složenost nK





POVEZIVANJE IVICA I DETEKCIJA GRANICE REGIONA

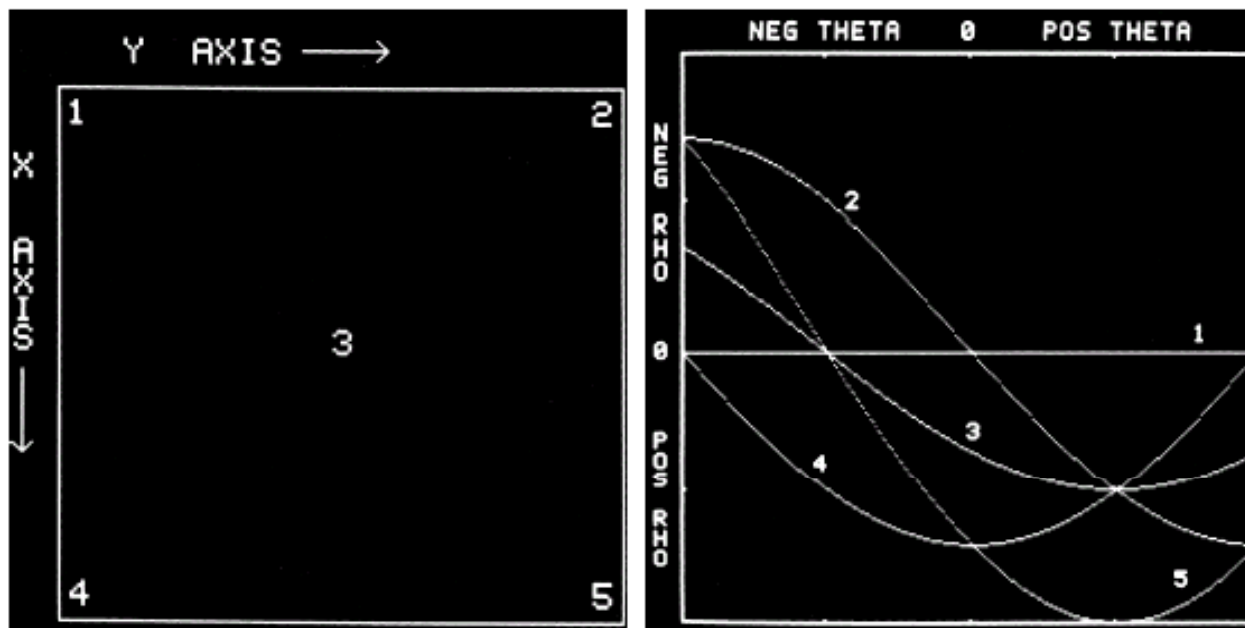
- Hjuova transformacija
 - Predstavljanje linija u slici preko jednačina prave $y=ax+b$ ima nedostatak; kada su linije vertikalne $a \rightarrow \infty$
 - Problem se rešava predstavom linije kao $x \cos\theta + y \sin\theta = \rho$
 - Umesto pravih u ab ravni GMT su sinusne krive u $\rho\theta$ ravni
 - Tabela akumulatora u $\rho\theta$ ravni formira se na isti način kao u slučaju ab ravni

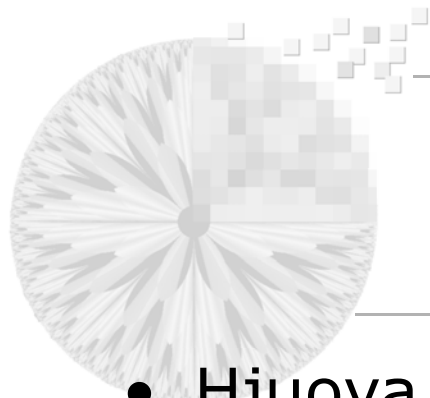




POVEZIVANJE IVICA I DETEKCIJA GRANICE REGIONA

- Hjuova transformacija
 - Q kolinearnih tačaka na liniji $x \cos\theta_j + y \sin\theta_j = \rho_i$ daju Q sinusoida koje se seku u tački (ρ_i, θ_j)
 - Slika u primeru sadrži 5 tačaka xy ravni, koje daju 5 sinusoida u $\rho\theta$ ravni
 - Preseci sinusoida odgovaraju parametrima prava na kojima leže kolinearne tačke



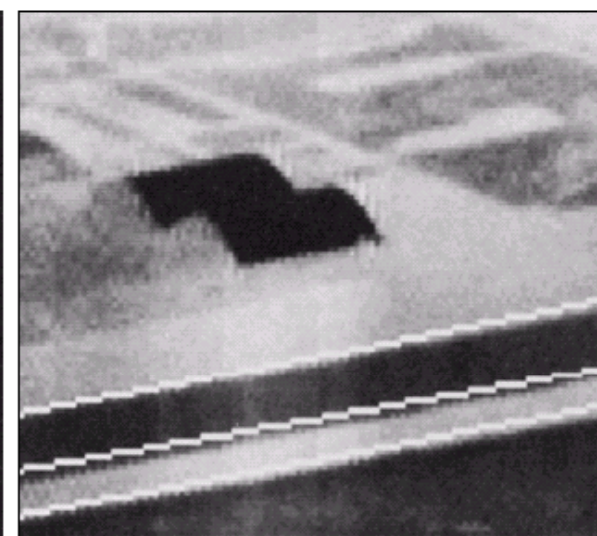
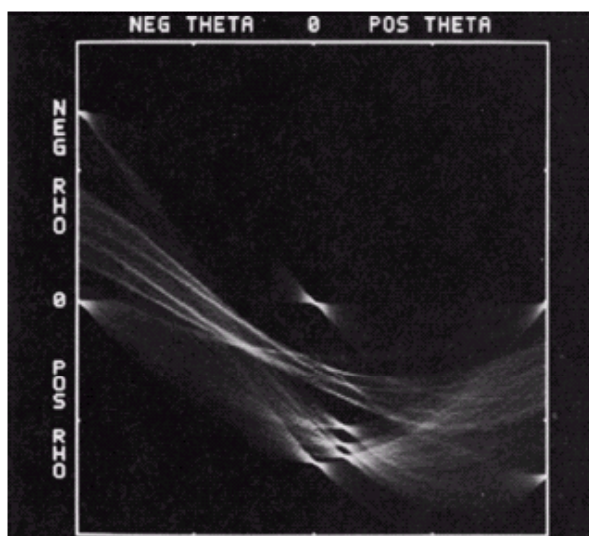
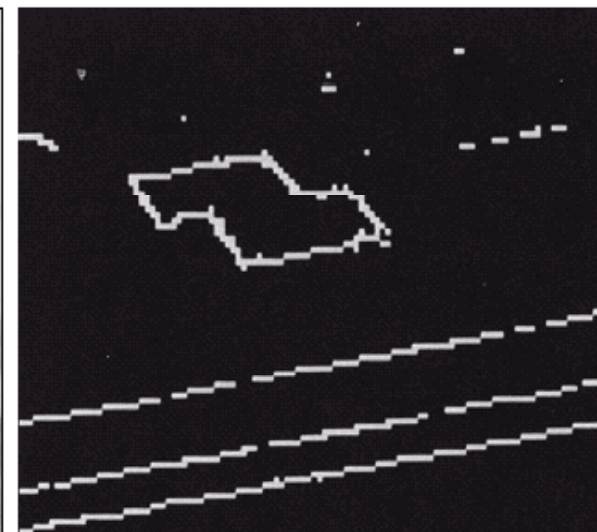


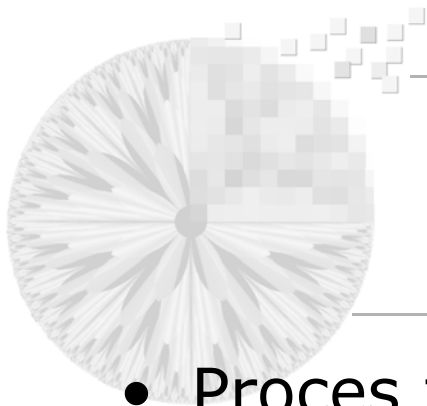
POVEZIVANJE IVICA I DETEKCIJA GRANICE REGIONA

- Hjuova transformacija
 - Može se realizovati za bilo koju funkciju oblika $g(\mathbf{v}, \mathbf{c})=0$, gde je \mathbf{v} vektor koordinata, a \mathbf{c} vektor koeficijenata
 - Na ovaj način mogu se detektovati tačke koje leže na krugu
$$(x - c_1)^2 + (y - c_2)^2 = c_3^2$$
 - U ovom slučaju prostor parametara će biti 3D, a ćelije kocke
- Povezivanje ivica pomoću Hjuove transformacije
 1. Određivanje gradijenta slike i poređenje sa pragom
 2. Definisanje $\rho\theta$ podele ravni (rezolucije parametara)
 3. Ispitivanje akumulatorskih ćelija u cilju pronalaženja onih sa najvećim sadržajem
 4. Ispitivanje relacija između piksela u datoj ćeliji u pogledu kontinuiteta ivice

POVEZIVANJE IVICA I DETEKCIJA GRANICE REGIONA

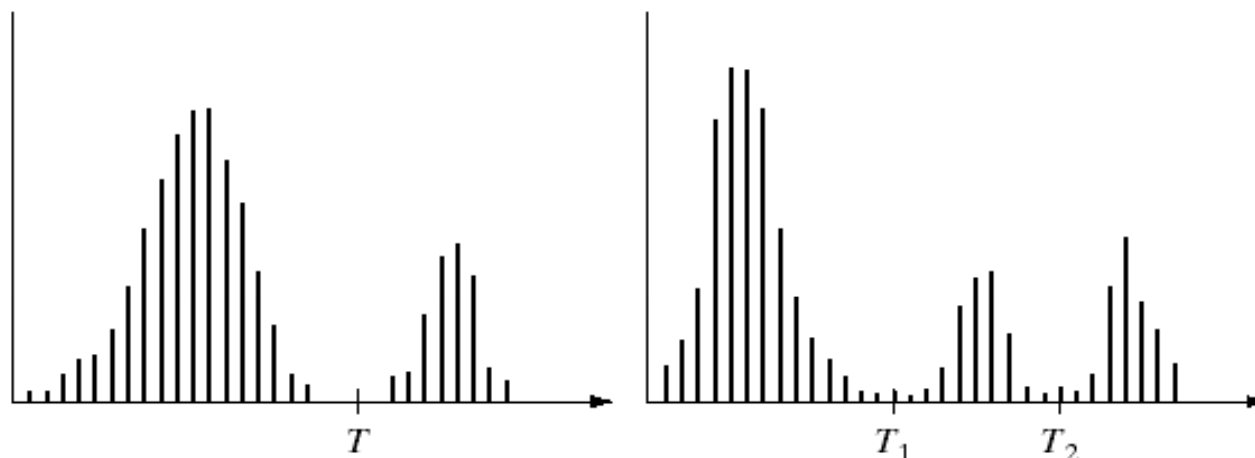
- Hjuova transformacija
 - Cilj je izdvajanje piste sa infra-crvene slike koja sadrži pistu i dva hangara
 - Pikseli se povezuju ako pripadaju jednoj od 3 najbrojnije ćelije i razmak između njih u Sobelovoj slici nije veći od 5 piksela

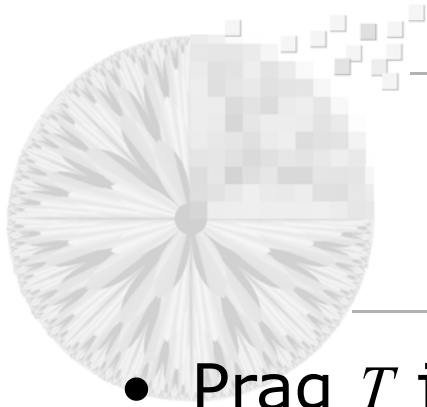




POREĐENJE SA PRAGOM

- Proces formiranja binarne maske poređenjem vrednosti piksela sa datim pragom – *thresholding*
 - Za sliku sa bimodalnim histogramom dovoljan jedan prag
 - Svaki piksel (x,y) za koji je $f(x,y) > T$ pripada objektu
 - Pikseli za koje to ne važi pripadaju pozadini (*background*)
 - Za histogram sa više od dva moda treba više pragova
 - Piksel pripada jednom objektu ako je $T_1 < f(x,y) \leq T_2$, drugom objektu ako je $f(x,y) > T_2$, i pozadini ako je $f(x,y) \leq T_1$





POREĐENJE SA PRAGOM

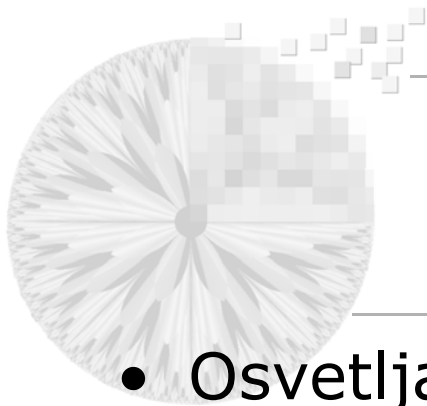
- Prag T je konstantan samo u prostim situacijama
- U opštem slučaju, prag je funkcija više parametara

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

- $f(x, y)$ je vrednost piksela (x, y) , a $p(x, y)$ je neka lokalna osobina piksela (x, y) – npr. srednja vrednost okoline piksela (x, y)
- Binarna maska $g(x, y)$ definisana je kao

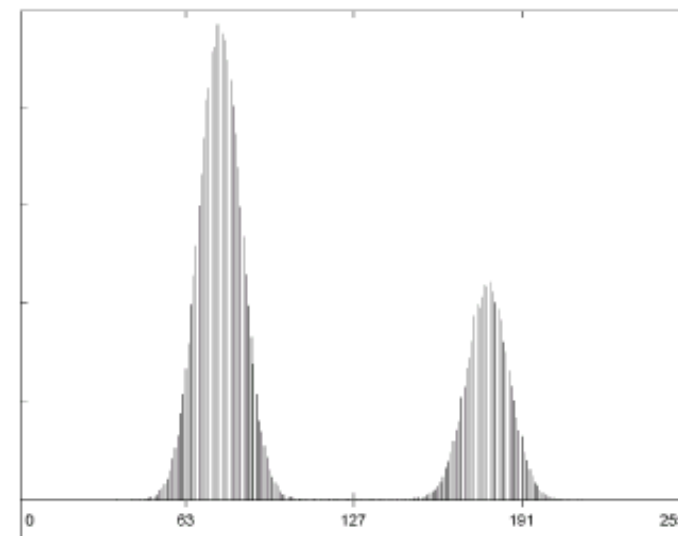
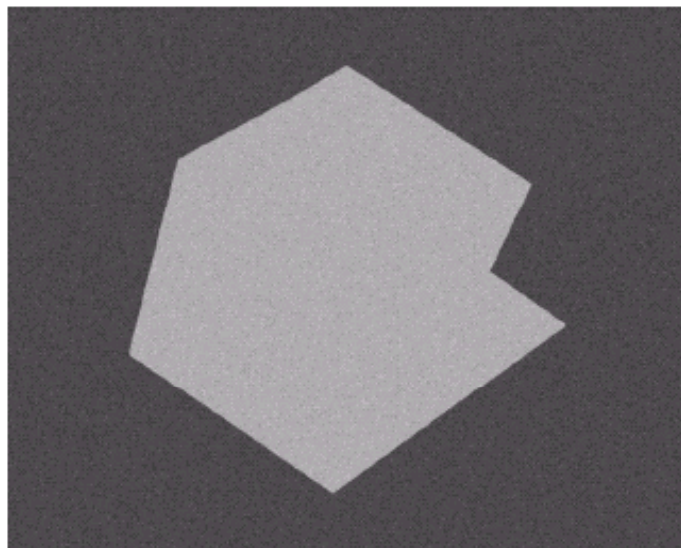
$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & f(x, y) > T \\ 0, & f(x, y) \leq T \end{cases}$$

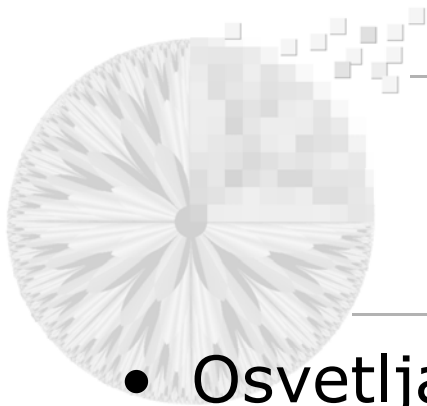
- U masci $g(x, y)$ objekti su označeni sa 1, a pozadina sa 0
- **Globalni prag** – T zavisi samo od $f(x, y)$
- **Lokalni prag** – T zavisi od $f(x, y)$ i $p(x, y)$
- **Dinamički ili adaptivni prag** – T zavisi i od x i y



POREĐENJE SA PRAGOM

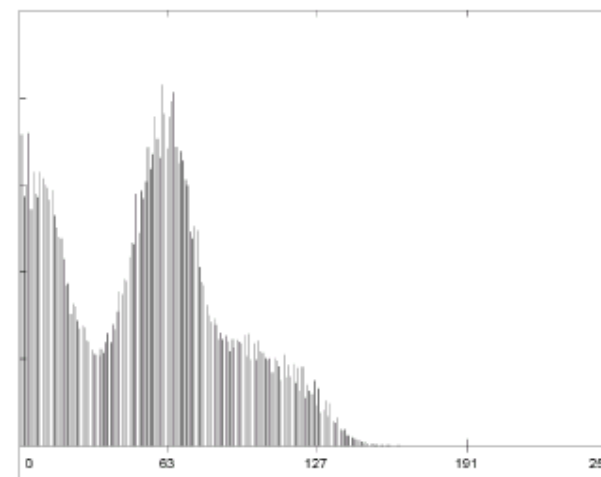
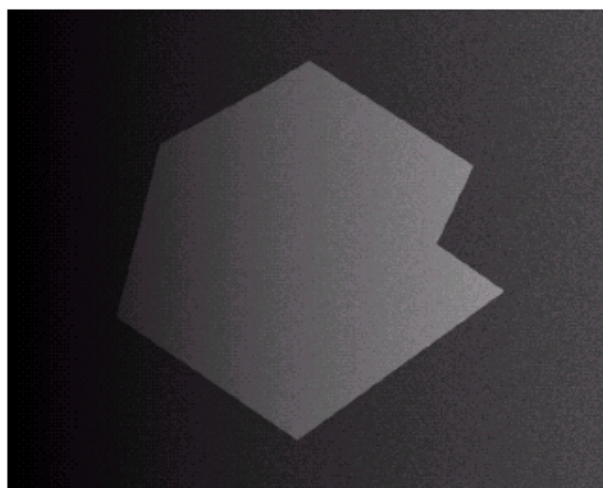
- Osvetljaj scene
 - Registrovana slika predstavlja proizvod reflektanse objekta $r(x,y)$ i iluminacije scene (osvetljaja) $i(x,y)$
$$f(x,y) = r(x,y) i(x,y)$$
 - Ukoliko je osvetljaj scene uniforman histogram registrovane slika biće bimodalan
 - Određivanje globalnog praga T je jednostavno





POREĐENJE SA PRAGOM

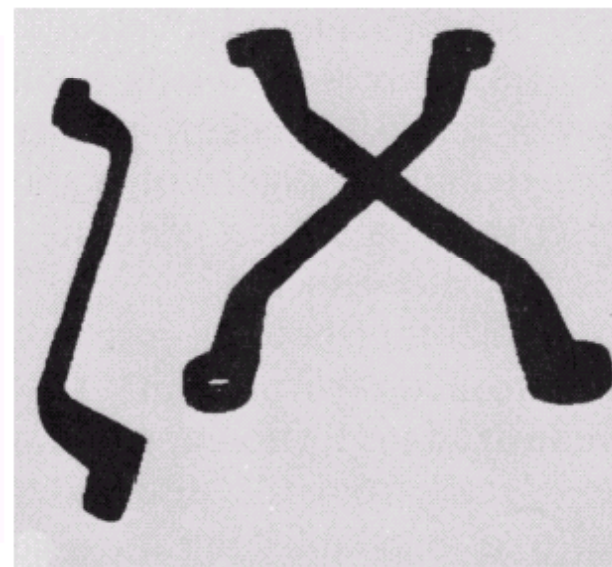
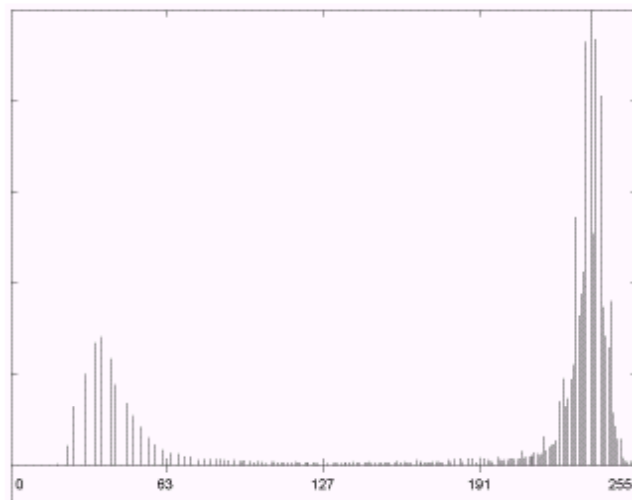
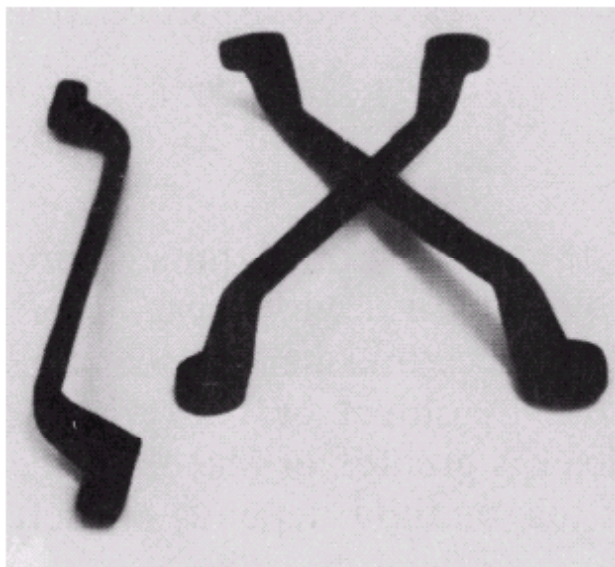
- Osvetljaj scene
 - Ukoliko osvetljaj scene $i(x,y)$ nije uniforman (prva slika), registrovana slika biće kao na drugoj slici
 - Na histogramu nije jednostavno odrediti prag za poređenje
 - Histogram je konvolucija histograma osvetljaja i reflektanse
 - Snimanjem uniformne podloge sa datim osvetljenjem, dobija se korekcija kojom treba podeliti registrovanu sliku, kako bi se kompenzovao uticaj neuniformnog osvetljaja

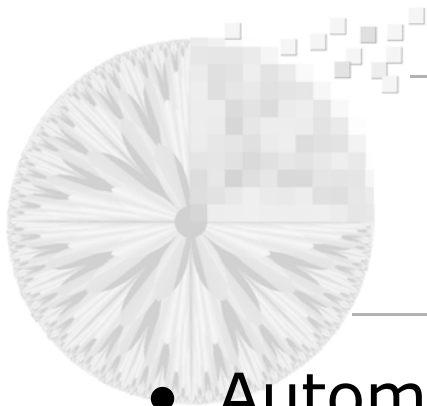




POREĐENJE SA GLOBALNIM PRAGOM

- Jedna vrednost praga za čitavu sliku
 - Moguće realizovati samo kada su uslovi osvetljaja scene u potpunosti kontrolisani – (industrijska inspekcija)
 - U datom primeru histogram je bimodalni sa dobro razdvojenim modovima, pa se prag jednostavno određuje
 - Nakon binarizacije eliminisana je pozadina i senke objekta



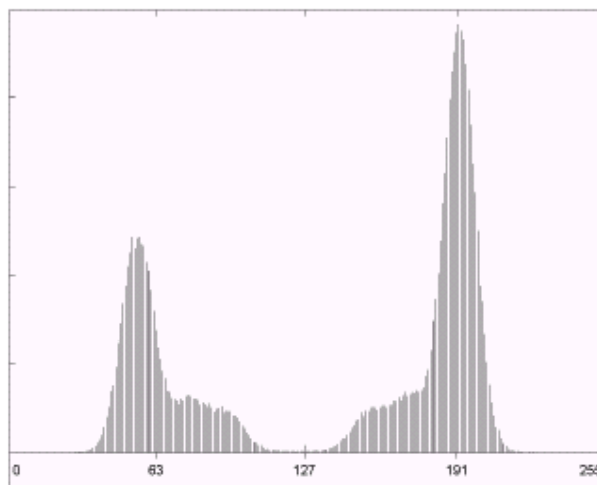


POREĐENJE SA GLOBALNIM PRAGOM

- Automatsko određivanje praga
 - U prethodnim primerima prag je određivan heuristički, posmatranjem histograma
 - Algoritam za automatsko određivanje praga T :
 1. Postavi početnu vrednost praga T
 2. Izvrši segmentaciju slike sa datim pragom T . Tako će nastati dve grupe piksela: (G1) pikseli sa vrednostima manjim od praga i (G2) pikseli sa vrednostima većim od praga
 3. Odredi srednje vrednosti grupa piksela μ_1 i μ_2
 4. Postavi novu vrednost praga na $T=(\mu_1 + \mu_2)/2$
 5. Ponavljaj korake 2 do 4 sve dok razlika vrednosti pragova u susednim iteracijama ne bude manja od vrednosti T_0
 - Kada objekat i pozadina imaju otprilike jednake površine, dobra početna vrednost praga je srednja vrednost slike
 - Kada to nije slučaj, dobra početna vrednost je srednja vrednost između najveće i najmanje vrednosti u slici

POREĐENJE SA GLOBALNIM PRAGOM

- Automatsko određivanje praga
 - Na primeru otiska prsta automatski je određena vrednost praga 125.4, nakon tri iteracije i $T_0=0$
 - Segmentacija sa pragom 125 dala je dobre rezultate





POREĐENJE SA ADAPTIVNIM PRAGOM

- Osnovni pristup je deljenje slike na podslike i određivanje lokalnih pragova za svaku podsliku
 - Na ovaj način moguće je kompenzovati uticaj neuniformnog osvetljaja scene
 - Problem se svodi na način podele slike i definicije pragova
 - Ovo je osnovi pristup – postoje složenije metode poređenja sa adaptivnim pragom gde se pragovi određuju tako da minimizuju grešku segmentacije



POREĐENJE SA ADAPTIVNIM PRAGOM

- Primer

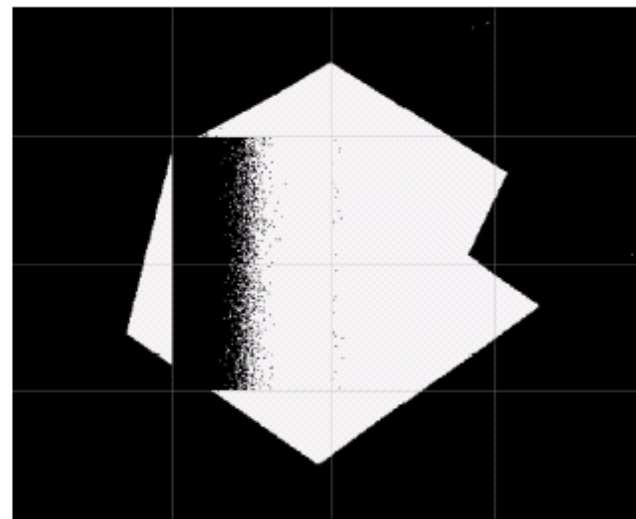
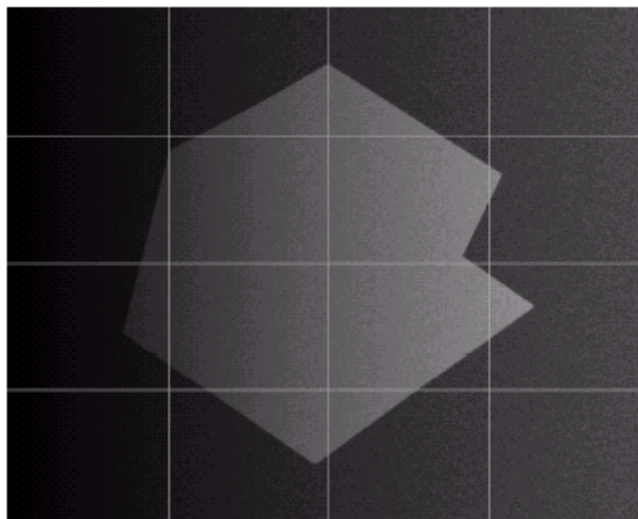
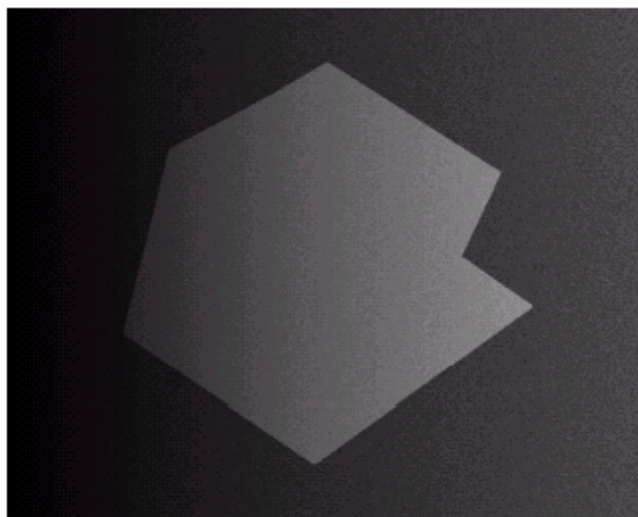
- Slika objekta sa lošim osvetljajem

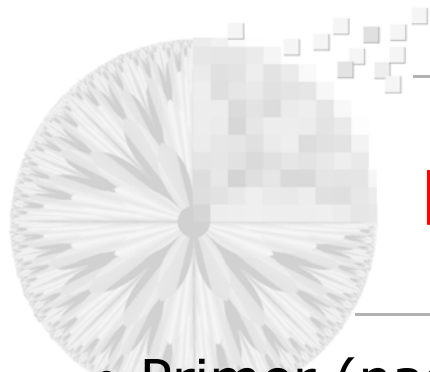
- Segmentacija sa globalnim pragom

- Particija i određivanje lokalnih pragova

- (Podslike sa varijansom većom od 100 segmentirane su automatski određenim lokalnim pragovima; ostale podslike segmentirane su jednim globalnim pragom)

- Rezultat segmentacije





POREĐENJE SA ADAPTIVNIM PRAGOM

- Primer (nastavak)

- Greške u segmentaciji javile su se u dve podslike (2,2) i (3,2)

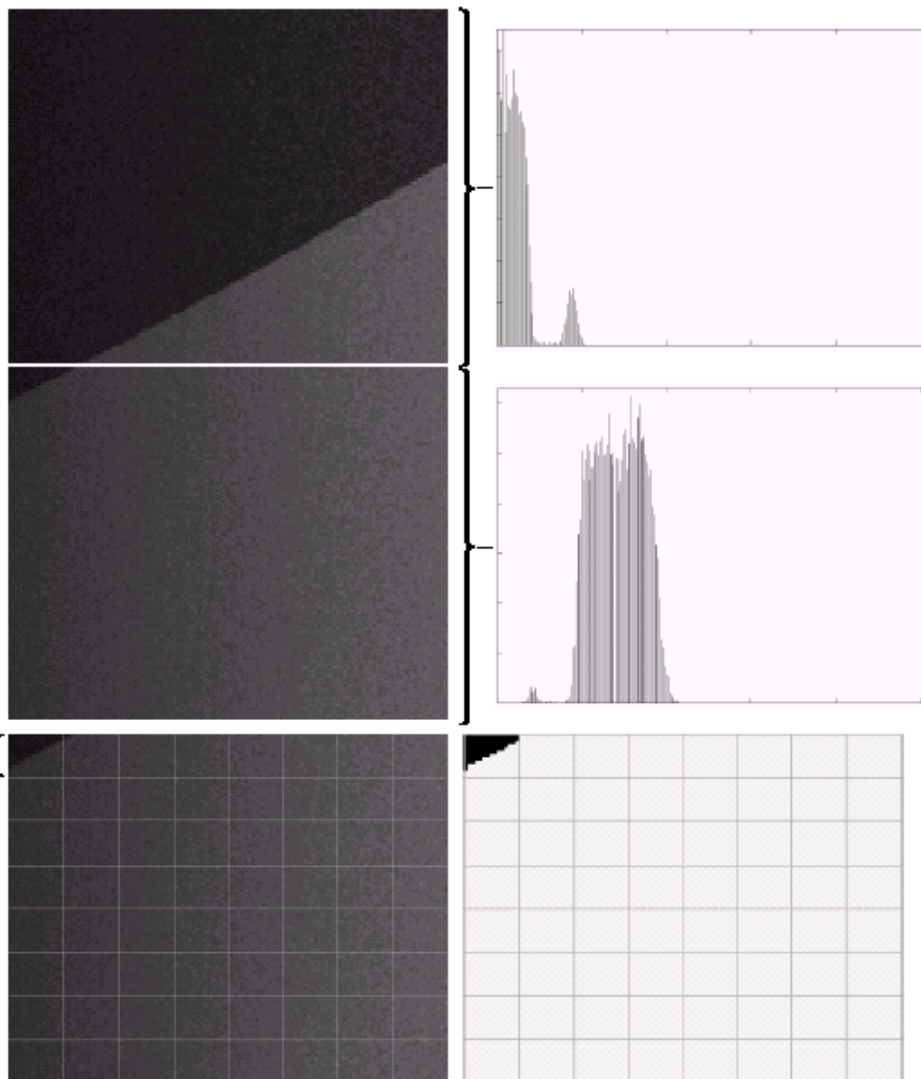
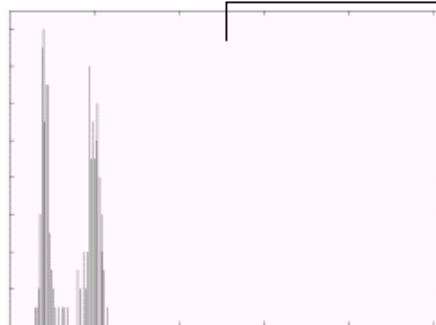
- Ovde su prikazane dve podslike (2,1) i (2,2), i njihovi histogrami

(Histogram (2,1) je bimodalan i lako se nalazi prag, dok je histogram (2,2) gotovo unimodalan i teško je odrediti prag)

- Daljom podelom podslike (2,2) na 64 pod(pod)slike moguće je izolovati granicu regiona i dobiti bimodalan histogram za datu podsliku

(Tada je lako naći odgovarajući prag)

- Rezultat je veoma dobra segmentacija





SEGMENTACIJA NA BAZI REGIONA

- Cilj svake segmentacije je podela slike na regione, a ovde se to izvodi direktno
 - Proces u kom se čitava slika posmatra kao region R koji se deli na n podregiona R_1, R_2, \dots, R_n

$$(a) \bigcup_{i=1}^n R_i = R$$

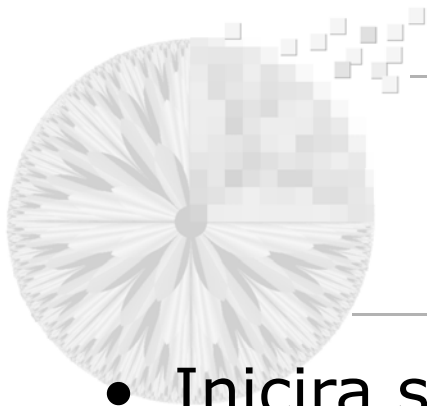
(b) R_i je povezan region, $i = 1, 2, \dots, n$

(c) $R_i \cap R_j = \emptyset$ za svako $i, j, i \neq j$

(d) $P(R_i) = TRUE$ za $i = 1, 2, \dots, n$

(e) $P(R_i \cup R_j) = FALSE$ za $i \neq j$

- $P(R_i)$ je logička osobina koja definiše region R_i i istovremeno razlikuje dva regiona R_i i R_j
 - npr. da svi pikseli u okviru regiona budu iste boje



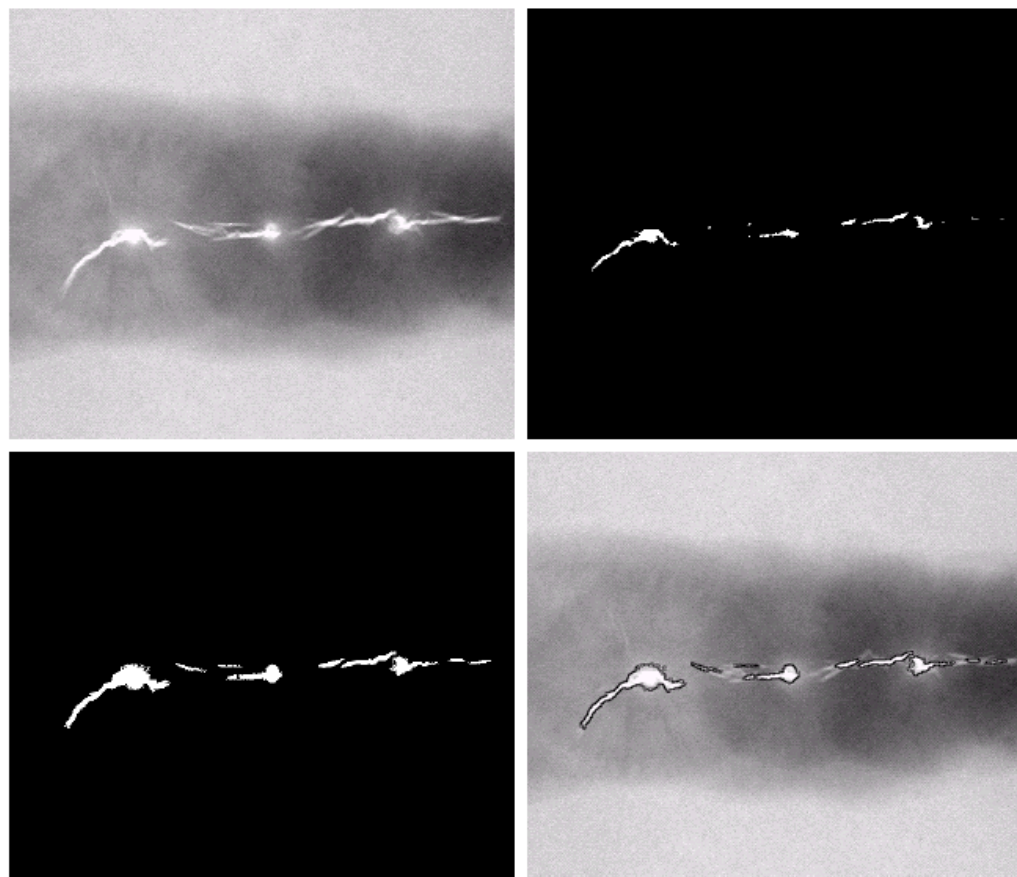
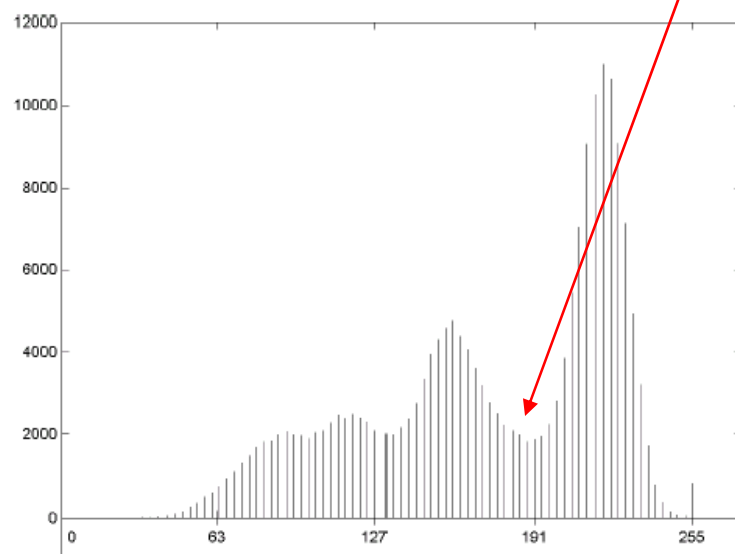
NARASTANJE REGIONA

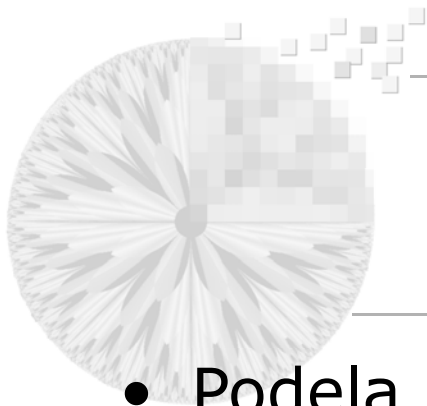
- Inicira se u početnim tačkama (*seed points*) od kojih narastaju regioni dodavanjem piksela istih osobina
 - Izbor početnih tačaka
 - Ako a priori informacija nije dostupna, osobine se određuju za sve piksele (bez informacije o prostornoj zavisnosti), potom se vrši klasterizacija i početne tačke se biraju u blizini centroida
 - Kriterijum sličnosti
 - Zavisi od problema koji se razmatra i od informacija u slici
 - Informacija o prostornoj povezanosti je ključna
 - Osobine susednosti i bliskosti su ključne u formiranju regiona; regione nema smisla formirati samo na osnovu osobina izolovanih piksela
 - Pravilo zaustavljanja
 - Više nijedan piksel ne ispunjava kriterijum dodavanja u region
- Najbolje rešenje za slike sa multimodalnim histogramom!



NARASTANJE REGIONA

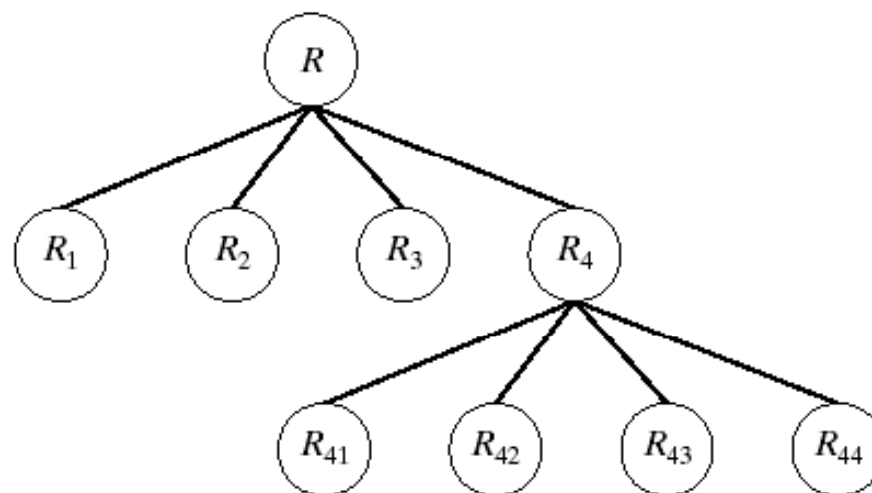
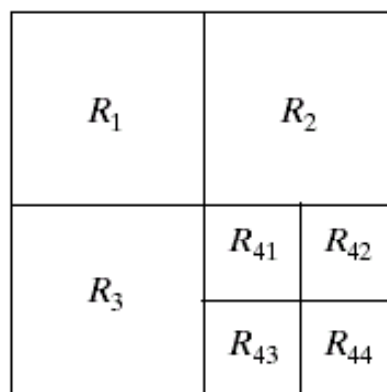
- (Primer) Rentgenska slika poroznog vara
 - Početne tačke su sve koje imaju vrednost 255 (MAX)
 - Kriterijumi dodavanja:
 - Razlika između tačke i početnih tačaka < 65
 - 8-sused sa tačkom koja pripada regionu

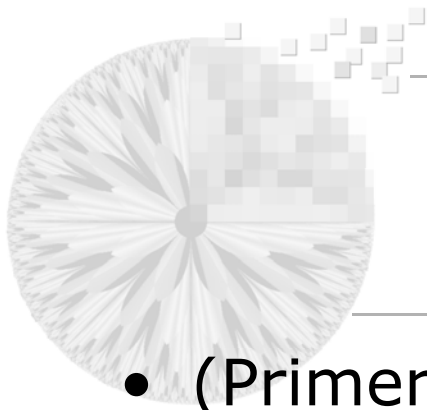




DELJENJE I SPAJANJE REGIONA

- Podela slike na proizvoljne regione, pa potom deljenje i spajanje regiona do ispunjenja uslova
 - Podela slike na kvadrante (*quad-tree decomposition*)
 - Kvadrant za koji je $P(R)=FALSE$, deli se dalje sve dok ne bude ispunjeno $P(R)=TRUE$
 - Koren stabla odgovara celoj slici, a nodovi particijama
 - Ako bi samo delili, imali bi susedne identične regione, pa se mogu spajati susedni regioni R_i i R_j ako važi $P(R_i \cup R_j)=TRUE$





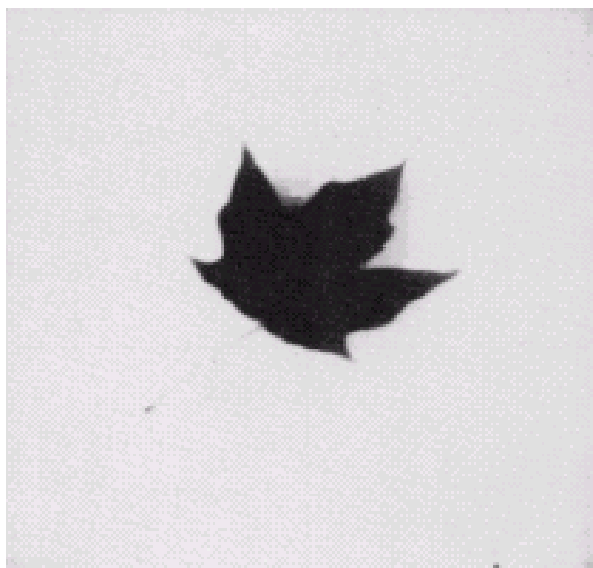
DELJENJE I SPAJANJE REGIONA

- (Primer) Izdvajanje lista od pozadine
 - $P(R_i)=TRUE$ ako je 80% piksela datog regiona na rastojanju manjem od $2\sigma^2$ od srednje vrednosti regiona (σ je varijansa regiona)
 - Poređenje sa pragom daje lošije rezultate (eliminisan su senka i stabljika)

Original



Deljenje i spajanje



Poređenje sa pragom

