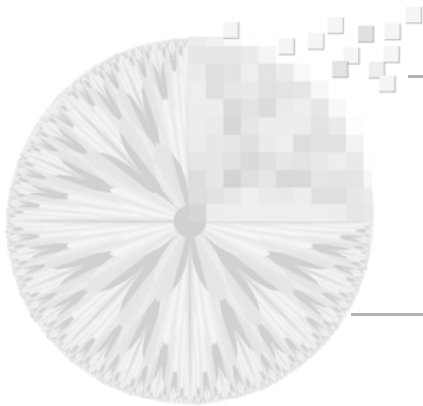
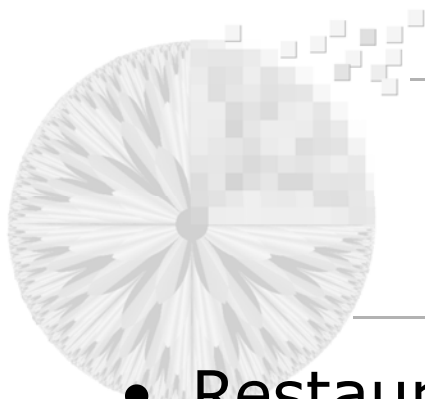




RESTAURACIJA SLIKE

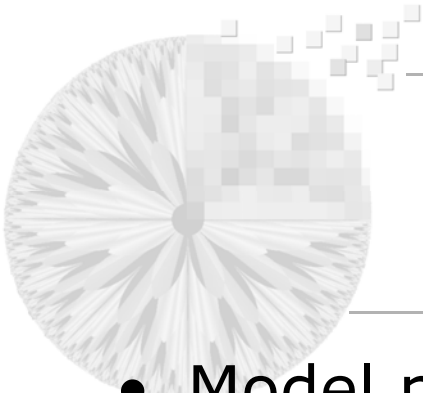
POGLAVLJE 5



RESTAURACIJA SLIKE

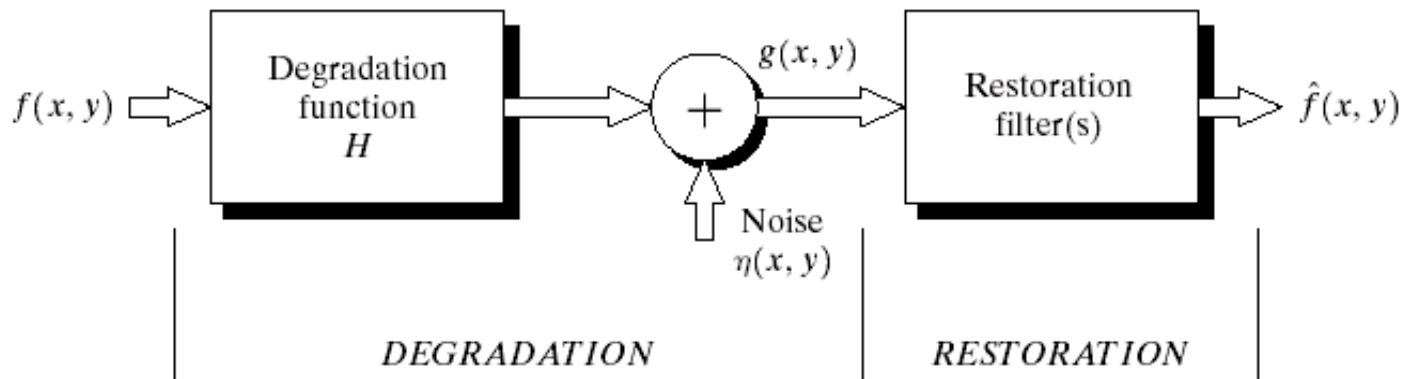
- Restauracija je postupak obrade oštećene slike u cilju uklanjanja degradacije da bi se kao rezultat dobila slika što bliža originalnoj
- Restauracija i poboljšanje
 - Ekvalizacija histograma ne približava sliku originalnoj već prilagođava ljudskom vizuelnom sistemu – **poboljšanje**
 - Uklanjanje zamućenja slike (*deblurring*) teži da sliku vrati u prvobitno stanje slike normalne oštine – **restauracija**
- Mera kvaliteta restauracije
 - Koliko je restaurirana slika bliska originalnoj
 - Najčešće se koristi odnos signal šum

$$PSNR = 10 \log \frac{(L - 1)^2}{\frac{1}{M} \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} \left[f(x, y) - \hat{f}(x, y) \right]^2}$$



RESTAURACIJA SLIKE

- Model procesa degradacije/restauracije
 - Dve komponente: funkcija degradacije i aditivni šum



- H linearna prostorno-invarijantna, a šum aditivan

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

$$G(u, v) = H(u, v)F(u, v) + N(u, v)$$

- Kada se analizira samo šum $H(u, v)=1$

ŠUM U SLICI

- Nastaje prilikom akvizicije ili prenosa slike
 - Primer 1: Nivo osvetljaja i temperatura senzora utiču na prisustvo šuma u CCD senzoru
 - Primer 2: Interferencija u kanalu za prenos slike izaziva šum – EM zračenje usled nezaštićenih sklopova ili groma
- Modeli šuma u slici
 - Gausov, Laplasov, impulsni, kvantizacioni, fotonski, tačkasti (*speckle*), periodični šum (smetnja)
- Prvi korak restauracije – uklanjanje šuma
 - Primena filtra koji najbolje odgovara datom modelu šuma
 - Nakon toga uklanja se uticaj funkcije degradacije

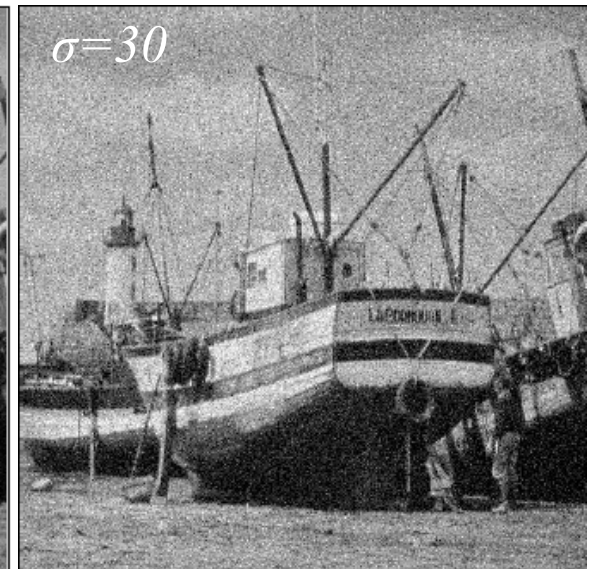
ŠUM U SLICI

- Aditivni Gausov šum

- Najčešće korišćeni model šuma (npr. termički šum)
- Linerane operacije nad Gausovim slučajnim promenljivama daju ponovo Gausove slučajne promenljive
- Centralna granična teorema – suma velikog broja slučajnih procesa teži Gausovoj raspodeli

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2}$$

- Optimalni ML estimator – aritmetička srednja vrednost



ŠUM U SLICI

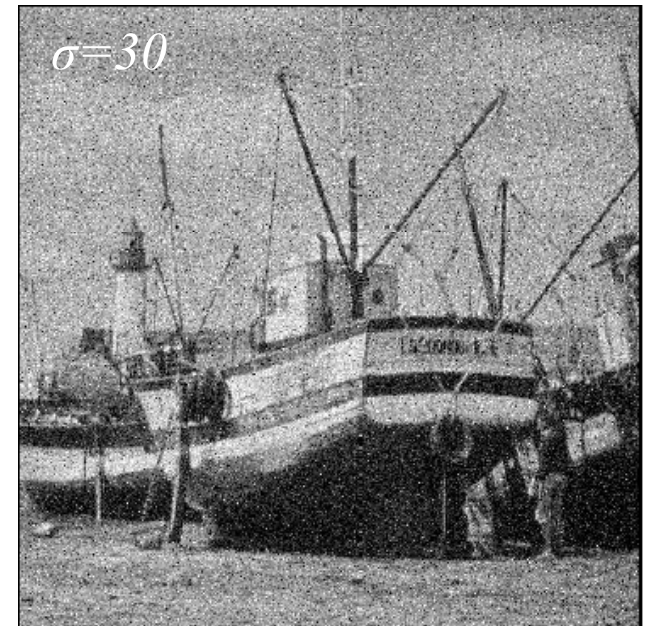
- Laplasov šum
 - Šum sa raspodelom izraženog repa (*heavy-tailed noise*)
 - Optimalni ML estimator - median
 - Verovatnoća da šum uzme veliku vrednost značajno veća nego kod Gausove raspodele
 - Izaziva veća oštećenja slike nego Gausov šum

$$f(x) = \frac{1}{2\sigma} e^{-|x-\mu|/\sigma}$$

Verovatnoća $P(|x| > x_0)$ za Gausovu i Laplasovu raspodelu

x_0	Gausova raspodela	Laplasova raspodela
1	0.32	0.37
2	0.046	0.14
3	0.0027	0.050

$$\mu = 0 \text{ i } \sigma = 1$$



ŠUM U SLICI

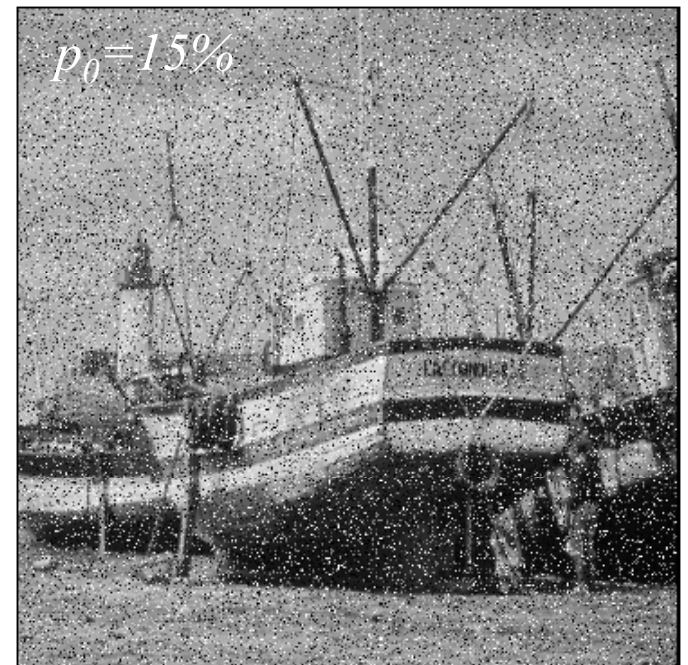
- Impulsni šum

- Samo određeni procenat piksela oštećen, a ostali netaknuti
- Vrednost oštećenog piksela značajno se razlikuje od okoline
- Mali procenat oštećenih piksela izaziva veliku degradaciju
- Neophodno uklanjanje ovog šuma pre bilo kakve obrade

$$P(y_{ij} = n_{ij}) = p_0,$$
$$P(y_{ij} = x_{ij}) = 1 - p_0$$

- Dva modela

- So i biber (salt & pepper)
 - Impulsi imaju MIN i MAX vrednost
- Uniformni
 - Impulsi imaju bilo koju vrednost



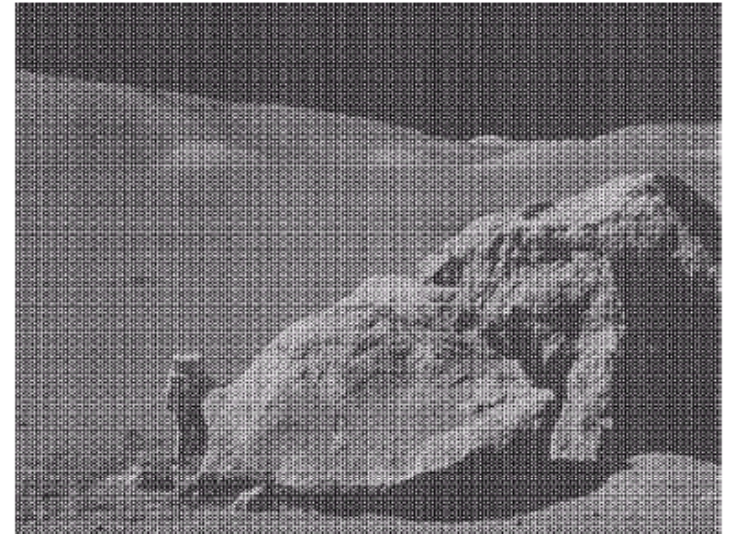
ŠUM U SLICI

- Tačkasti šum (*speckle noise*)
 - Veoma složen model
 - Šum zavisan od signala i od prostorne orijentacije
 - Nastaje u uslovima koherentnog izvora energije (svetlost, EM polje, zvuk)
 - Usled nehomogenosti reflektovani signal izložen slučajnoj promeni faze i amplitude
 - Ove promene deluju konstruktivno i destruktivno izazivajući varijaciju u osvetljaju
 - Ultrazvučne slike, satelitski snimci...



ŠUM U SLICI

- Periodični šum
 - Ova smetnja nastaje usled interferencije sa nekim izvorom periodične prirode
 - Sinusne i kosinusne 2D funkcije se superponiraju na sliku
 - Uticaj ove smetnje može se lako uočiti u spektru slike
 - Parovi impulsa u 2D Furijeovom domenu





PROSTORNO FILTRIRANJE ŠUMA

- Filtri usrednjivači (*mean filters*)

- Aritmetički usrednjivač

- Šum se uklanja ublažavanjem
 - Linearan filter (konvolucija)
 - ML procena za Gausov šum

$$\hat{f}(x, y) = \frac{1}{mn} \sum_{(s,t) \in S_{xy}} g(s, t)$$

- Geometrijski usrednjivač

- Nelinearan filter
 - Sličan efekat kao aritmetički
 - Bolje čuva detalje slike

$$\hat{f}(x, y) = \left[\prod_{(s,t) \in S_{xy}} g(s, t) \right]^{\frac{1}{mn}}$$

- Harmonijski usrednjivač

- Pogodan za Gausov šum i bele impulse (so)

$$\hat{f}(x, y) = \frac{mn}{\sum_{(s,t) \in S_{xy}} \frac{1}{g(s, t)}}$$

- Kontraharmonijski usrednjivač

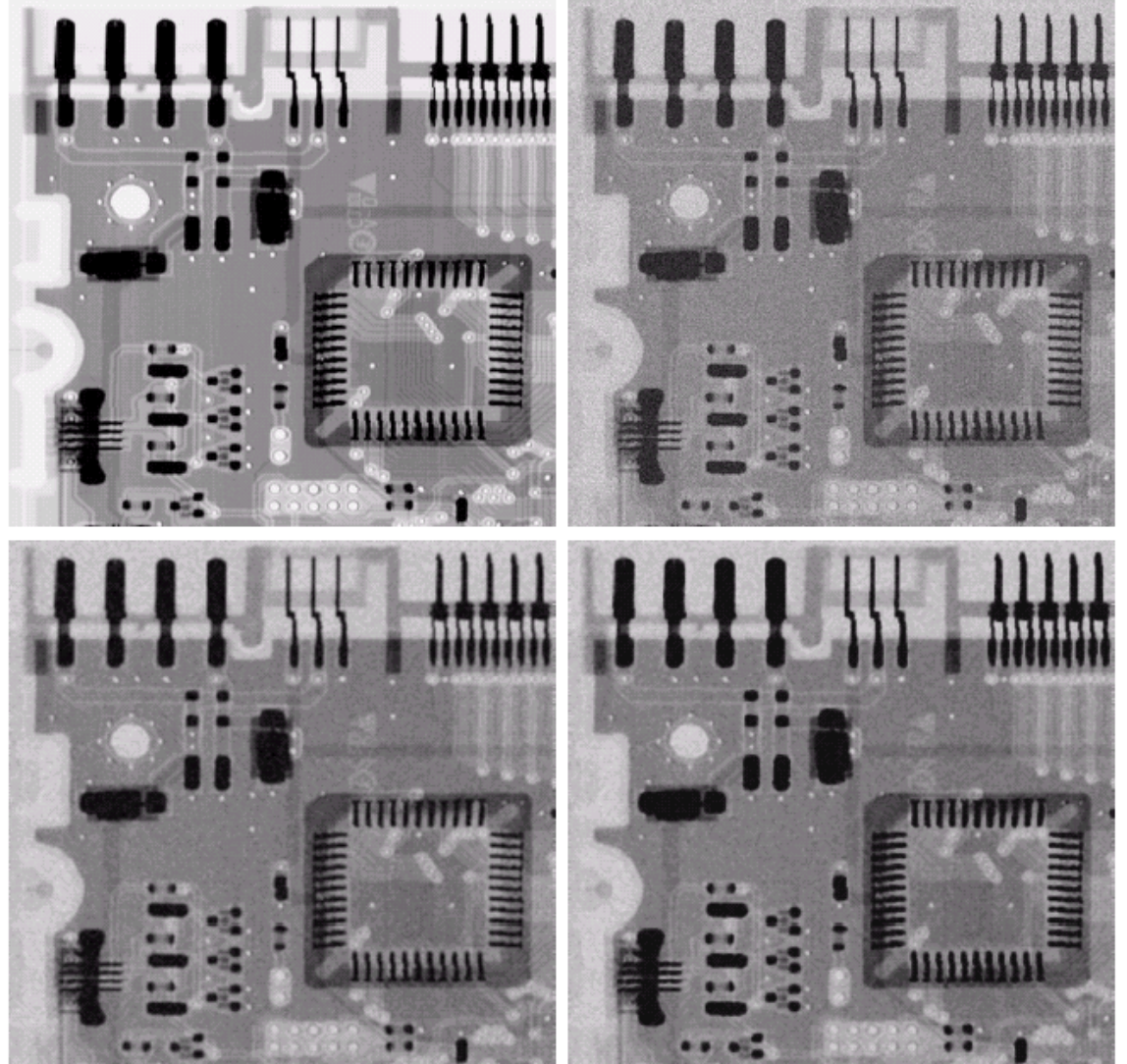
- Uopštenje prethodnih (Q)

$$\hat{f}(x, y) = \frac{\sum_{(s,t) \in S_{xy}} g(s, t)^{Q+1}}{\sum_{(s,t) \in S_{xy}} g(s, t)^Q}$$



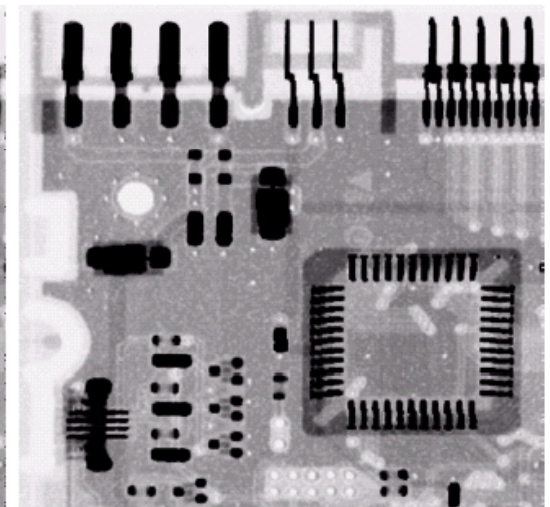
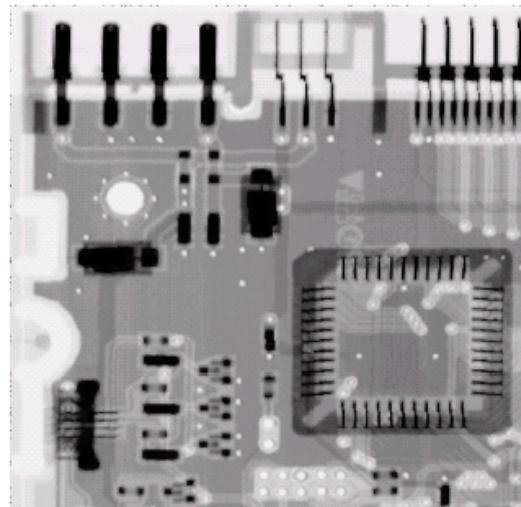
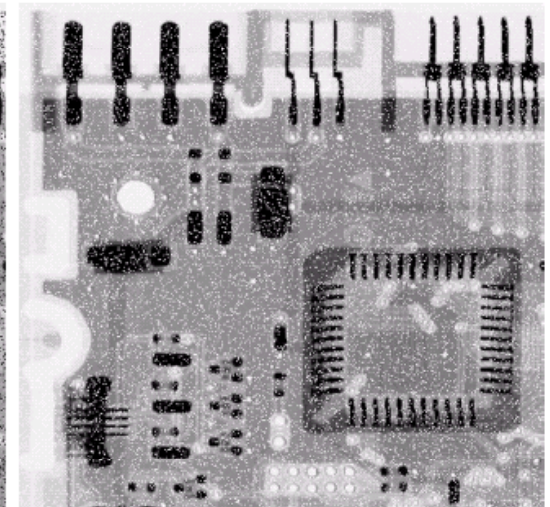
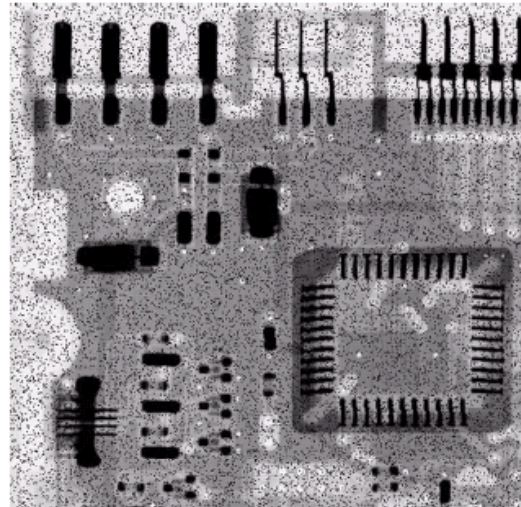
PROSTORNO FILTRIRANJE ŠUMA

- Filtri usrednjivači
 - Originalna slika
 - Slika sa aditivnim Gausovim šumom ($\mu=0, \sigma^2=400$)
 - Rezultat filtriranja aritmetičkim usrednjivačem sa prozorom 3x3 piksela
 - Rezultat filtriranja geometrijskim usrednjivačem sa prozorom 3x3 piksela



PROSTORNO FILTRIRANJE ŠUMA

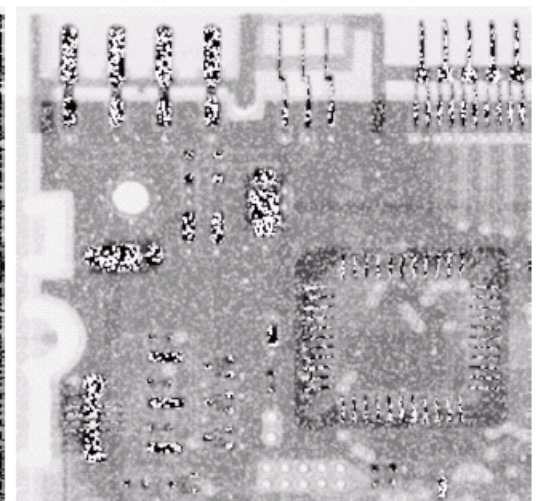
- Filtri usrednjivači
 - Slika oštećena sa 10% crnog (biber) impulsnog šuma
 - Slika oštećena sa 10% belog (so) impulsnog šuma
 - Rezultati filtriranja prve i druge slike kontraharmonijskim usrednjivačem sa prozorom 3x3 piksela, $Q=1.5$ i $Q=-1.5$, respektivno





PROSTORNO FILTRIRANJE ŠUMA

- Filtri usrednjivači
 - Aritmetički i geometrijski usrednjivači pogodniji su za uklanjanje šuma sa Gausovom ili uniformnom raspodelom
 - Kontraharmonijski filtri više odgovaraju uklanjanju impulsnog šuma, ali samo ako taj šum ima jednu vrstu impulsa – beli ili crni (so ili biber)
 - Pogrešan izbor reda Q može imati katastrofalne posledice
 - Rezultati filtriranja iz prethodnog primera sa obrnutim Q :
 - crni impulsi - $Q=-1.5$
 - beli impulsi - $Q=1.5$





PROSTORNO FILTRIRANJE ŠUMA

- Filtri statistike poretka (*order-statistics filters*)

- Zasnivaju se na sortiranju piksela koji su obuhvaćeni maskom filtra i statistikama nad datim poretkom

- Median filtar

- Centralni piksel u poretku
- Veoma dobar za impulsni šum (simultan uklanjanje obe vrste impulsa uz očuvanje ivica u slici)

$$\hat{f}(x, y) = \underset{(s, t) \in S_{xy}}{\text{median}} \{g(s, t)\}$$

- Max filtar

- Najveći piksel u poretku
- Isticanje najsjašnjih piksela

$$\hat{f}(x, y) = \max_{(s, t) \in S_{xy}} \{g(s, t)\}$$

- Min filtar

- Najmanji piksel u poretku
- Isticanje najtamnijih piksela

$$\hat{f}(x, y) = \min_{(s, t) \in S_{xy}} \{g(s, t)\}$$



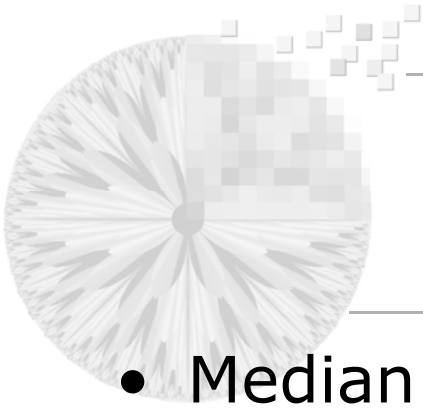
PROSTORNO FILTRIRANJE ŠUMA

- Filtri statistike poretka (*order-statistics filters*)
 - Midpoint filter
 - Srednja vrednost najmanjeg i najvećeg piksela u poretku
 - Dobri rezultati za šum Gausovom ili uniformnom raspodelom

$$\hat{f}(x, y) = \frac{1}{2} \left[\min_{(s,t) \in S_{xy}} \{g(s, t)\} + \max_{(s,t) \in S_{xy}} \{g(s, t)\} \right]$$

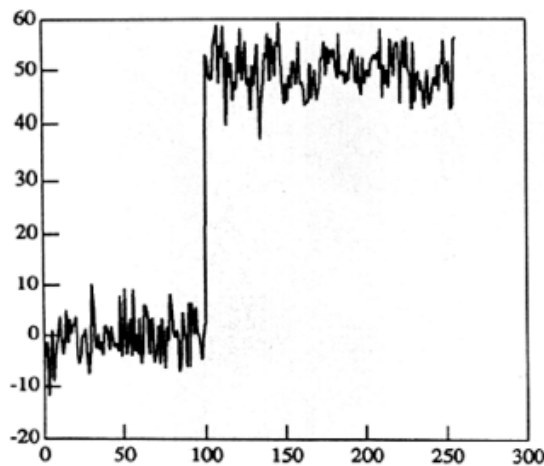
- Alfa-trimovani usrednjivač (*alpha-trimmed mean*)
 - Odbacuje se α najmanjih i najvećih u poretku, a od ostalih $mn-\alpha$ računa se srednja vrednost
 - Dobar filter za kombinovani šum, npr. impulsni i Gausov
 - Specijalni slučajevi: aritmetički usrednjivač i median

$$\hat{f}(x, y) = \frac{1}{mn - \alpha} \sum_{(s,t) \in S_{xy}^{mn-\alpha}} g(s, t)$$

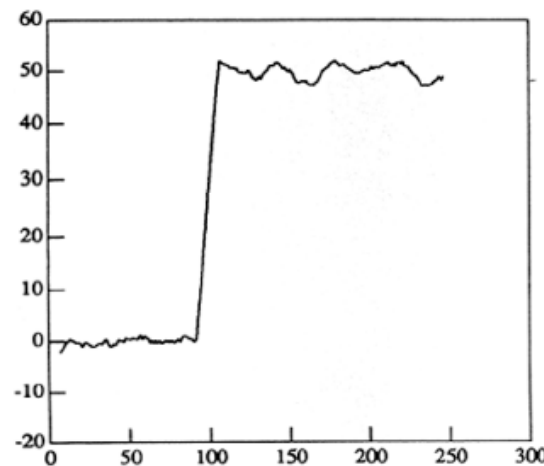


PROSTORNO FILTRIRANJE ŠUMA

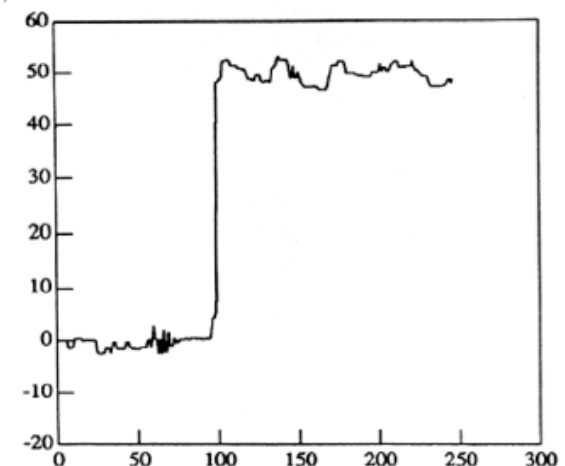
- Median filtar
 - Zahvaljujući principu sortiranja i svojoj nelinearnosti, mnogo bolje čuva ivice u slici od aritmetičkog usrednjivača



(a)

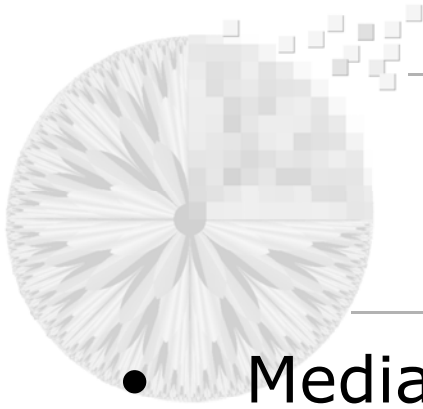


(b)



(c)

(a) Zašumljena ivica slike, (b) Zašumljena ivica nakon primene MA filtra, (c) Zašumljena ivica nakon primene median filtra



PROSTORNO FILTRIRANJE ŠUMA

- Median filter
- (a) Originalna test slika Lena
- (b) Slika oštećena sa 30% impulsnog šuma tipa so i biber
- (c) Rezultat filtriranja median filtrom sa prozorom veličine 3x3 piksela
- (d) Rezultat filtriranja aritmetičkim usrednjivačem sa prozorom veličine 3x3 piksela



(a)



(b)



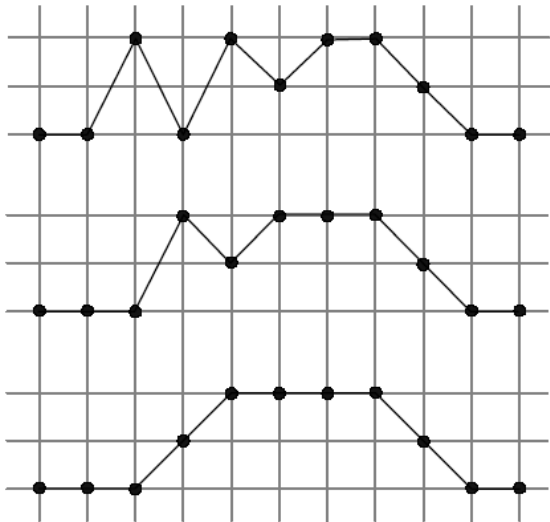
(c)



(d)

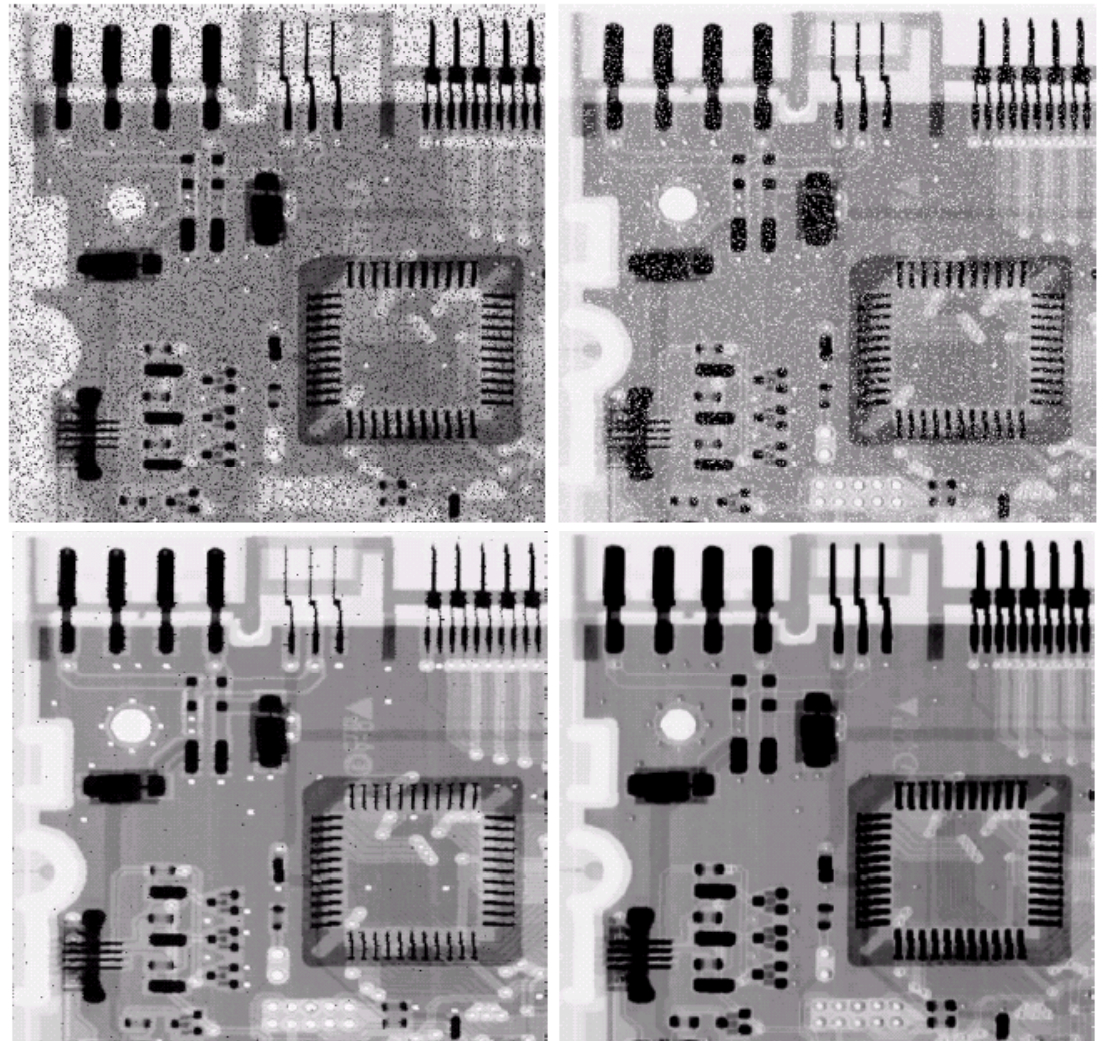
- Kon
- Slika sa impulsn
- Nakon j
- Nakon o
- Nakon t

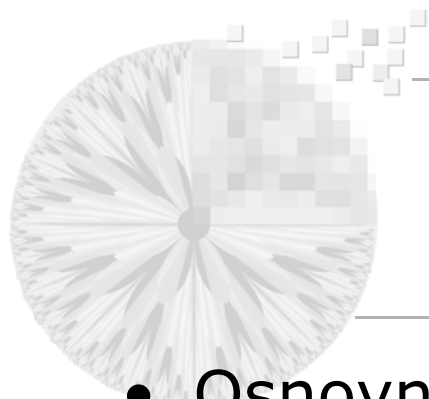
-
- Figure 1 consists of four grayscale images arranged in a 2x2 grid, labeled (a) through (d). Each image shows a top-down view of a printed circuit board (PCB) during the assembly of a microprocessor.
 (a) The bare PCB is shown with various components already mounted, including a large microprocessor in the center, several integrated circuits, and numerous resistors and capacitors. The microprocessor has a square package with many pins.
 (b) A microprocessor is being placed onto the PCB. It is held by a pair of tweezers, and its pins are being aligned with the solder pads on the board.
 (c) The microprocessor is being soldered onto the PCB. A soldering iron is being used to heat the pins and the solder pads, causing the solder to melt and bond the component to the board.
 (d) The completed assembly is shown. The microprocessor is now permanently soldered to the PCB, and all other components are in place. The board is ready for testing and use.



PROSTORNO FILTRIRANJE ŠUMA

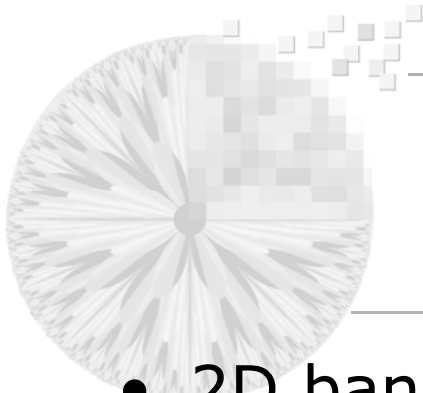
- Max i Min filtri
 - Slika oštećena sa 10% crnog (biber) impulsnog šuma
 - Slika oštećena sa 10% belog (so) impulsnog šuma
 - Rezultat filtriranja prve slike Max filtrom sa prozorom 3x3 piksela
 - Rezultat filtriranja druge slike Min filtrom sa prozorom 3x3 piksela





FREKVENCIJSKO FILTRIRANJE ŠUMA

- Osnovna primena je uklanjanje periodičnog šuma
- Ovo se vrlo teško ostvaruje u prostornom domenu
- Koriste se 2D pojasni filtri (*bandpass* ili *bandstop*)
- Bandstop filtrom potiskuju se komponente 2D spektra u opsezima koji odgovaraju periodičnim komponentama smetnje
- Bandpas filtrom može se izolovati smetnja od ostatka slike
- Pojasni filtri: idealni, Batervortov, Gausov
- *Notch* filtrima se umesto opsega potiskuju komponente na određenoj lokaciji u 2D spektru



FREKVENCIJSKO FILTRIRANJE ŠUMA

- 2D bandstop filtri

- Idealni

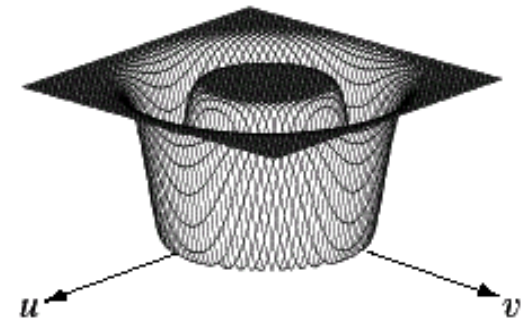
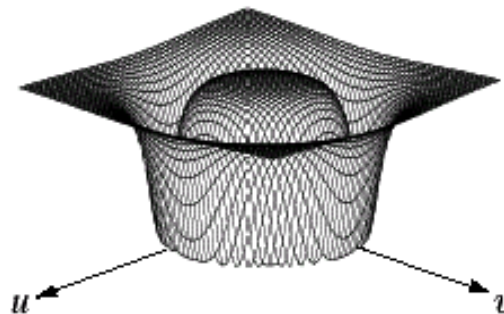
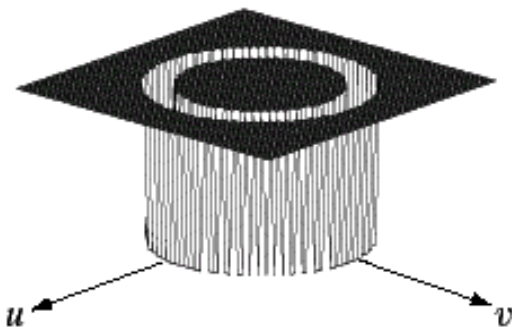
$$H(u, v) = \begin{cases} 1, & D(u, v) < D_0 - \frac{W}{2} \\ 0, & D_0 - \frac{W}{2} \leq D(u, v) \leq D_0 + \frac{W}{2} \\ 1, & D(u, v) > D_0 + \frac{W}{2} \end{cases}$$

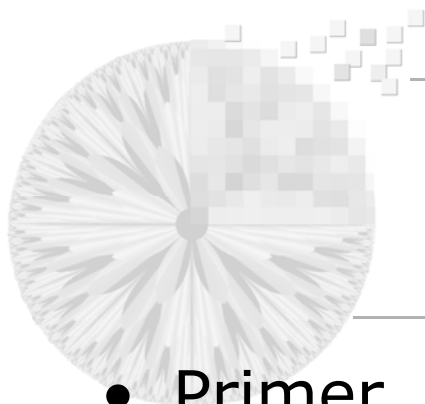
- Batervortov

$$H(u, v) = \frac{1}{1 + \left[\frac{D(u, v)W}{D^2(u, v) - D_0^2} \right]^{2n}}$$

- Gausov

$$H(u, v) = 1 - e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{D^2(u, v) - D_0^2}{D(u, v)W} \right]^2}$$

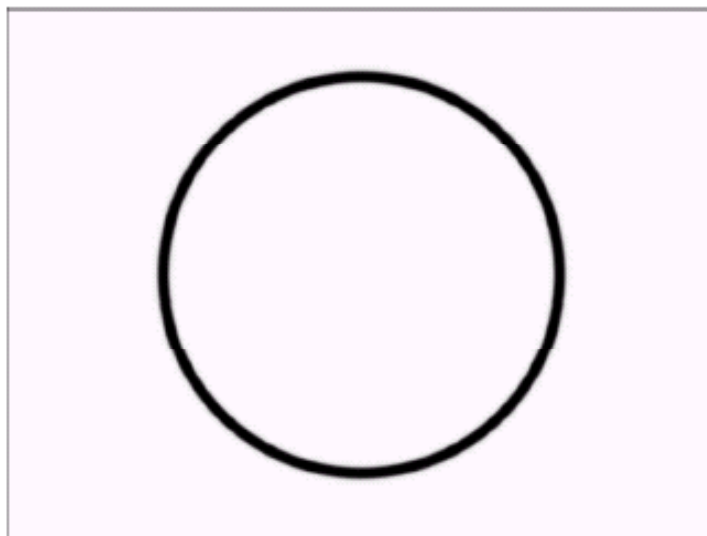
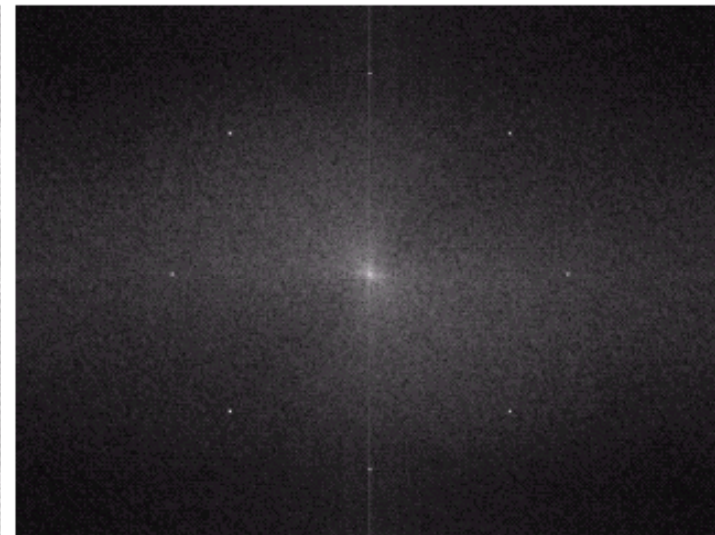
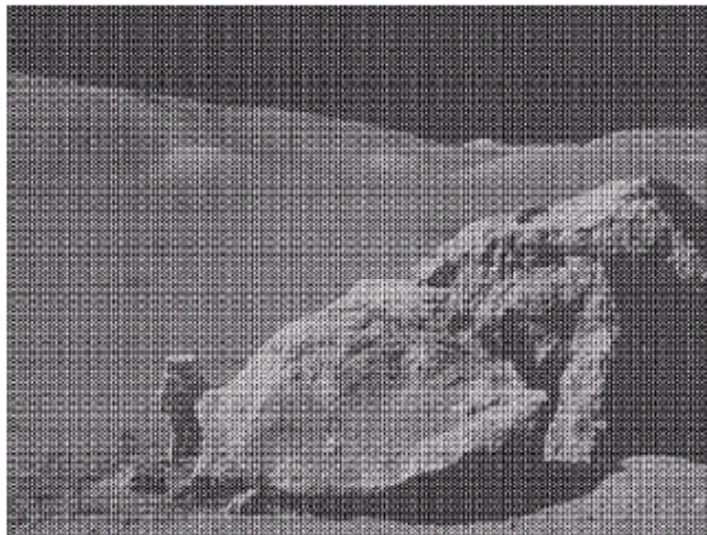


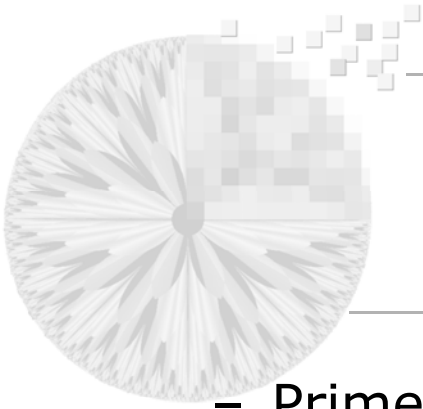


FREKVENCIJSKO FILTRIRANJE ŠUMA

- Primer

- Slika sa periodičnom smetnjom
- Spektar slike
- Prenosna karakteristika bandstop Batervortovog filtra
- Filtrirana slika

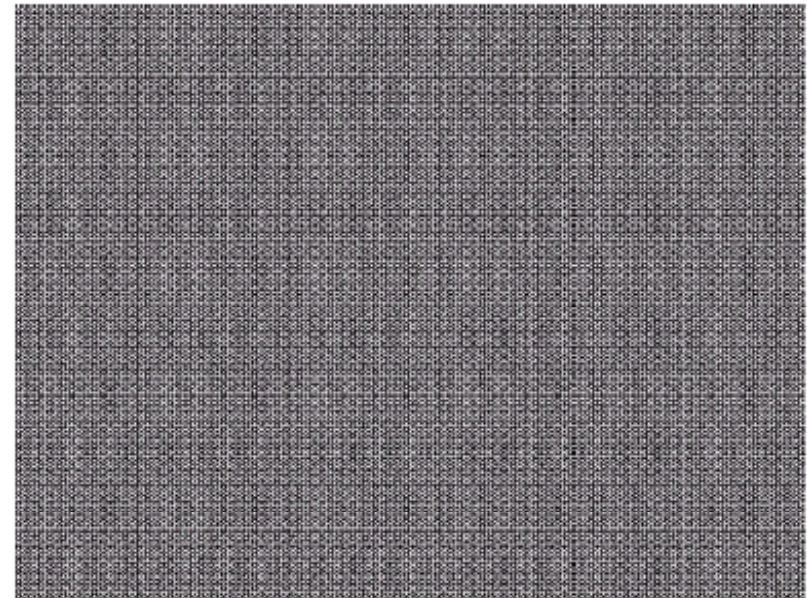
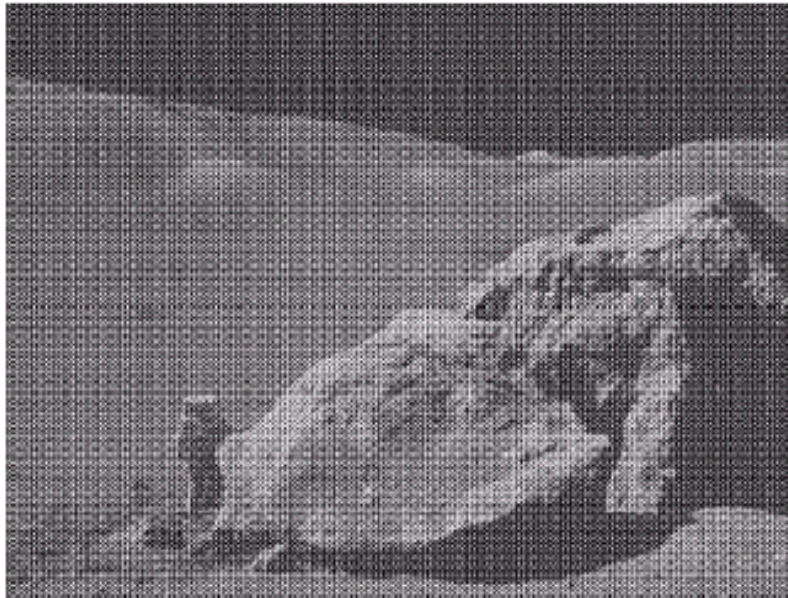


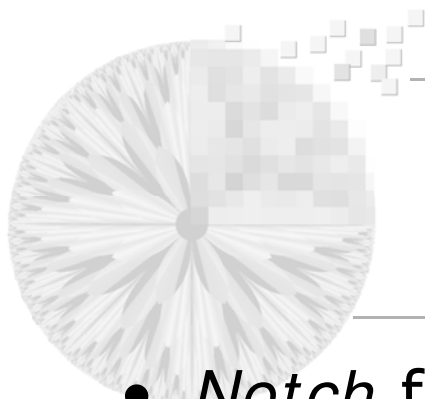


FREKVENCIJSKO FILTRIRANJE ŠUMA

- Primenom odgovarajućeg bandpas filtra moguće je iz originalne slike izolovati samo periodičnu smetnju

$$H_{bp}(u, v) = 1 - H_{bs}(u, v)$$





FREKVENCIJSKO FILTRIRANJE ŠUMA

- *Notch* filtri

- Definišu se preko rastojanja $D_1(u, v)$ i $D_2(u, v)$ od tačaka sa koordinatama (u_0, v_0) i $(-u_0, -v_0)$ u frekvencijskoj ravni, na kojima treba ostvariti potiskivanje komponenti

$$D_1(u, v) = \sqrt{(u - M/2 - u_0)^2 + (v - N/2 - v_0)^2}$$

$$D_2(u, v) = \sqrt{(u - M/2 + u_0)^2 + (v - N/2 + v_0)^2}$$

- Idealni
$$H(u, v) = \begin{cases} 0, & D_1(u, v) \leq D_0 \text{ ili } D_2(u, v) \leq D_0 \\ 1, & \text{drugde} \end{cases}$$

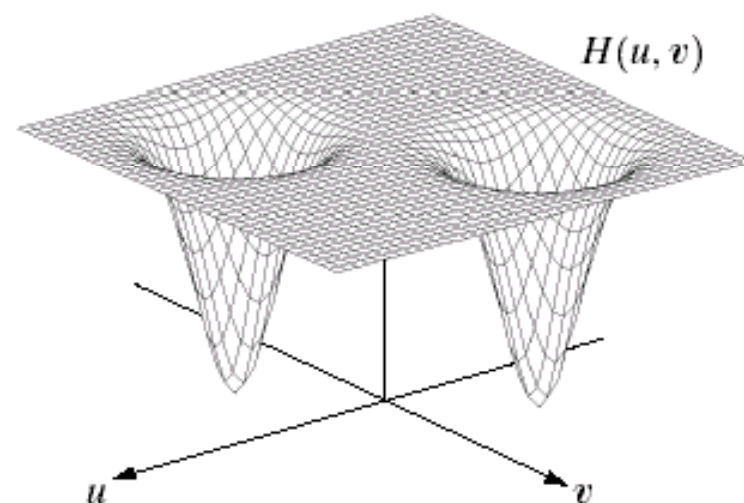
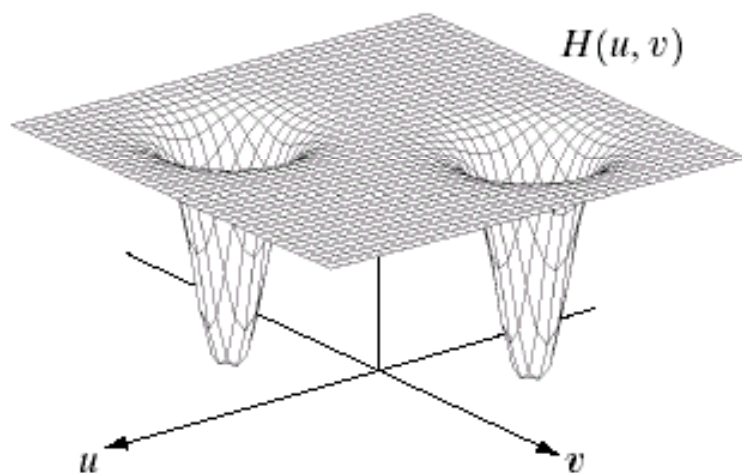
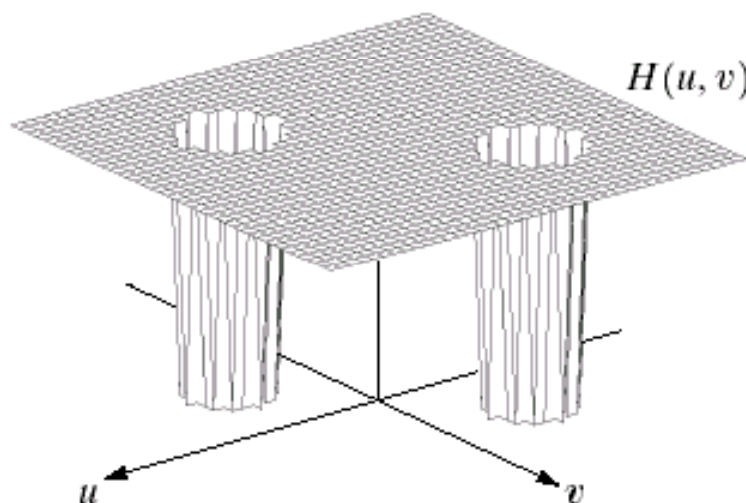
- Batervortov
$$H(u, v) = \frac{1}{1 + \left[\frac{D_0^2}{D_1(u, v) D_2(u, v)} \right]^n}$$

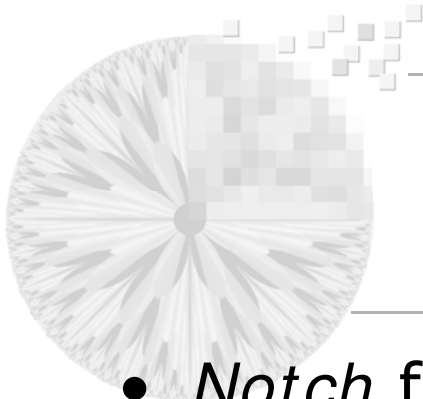
- Gausov
$$H(u, v) = 1 - e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{D_1(u, v) D_2(u, v)}{D_0} \right]}$$



FREKVENCIJSKO FILTRIRANJE ŠUMA

- *Notch* filtri
 - Idealni
 - Batervortov
 - Gausov





FREKVENCIJSKO FILTRIRANJE ŠUMA

- *Notch* filtri
 - *Notchpass* filtri se dobijaju inverzijom *notchstop* filtara

$$H_{np}(u, v) = 1 - H_{ns}(u, v)$$

- Moguće je projektovati *notch* filtar proizvoljne prenosne karakteristike koji potiskuje određeni opseg u spektru slike
- Primer
 - Uklanjanje periodične smetnje u radiografskoj slici nastale usled nedostataka sistema za akviziciju





FREKVENCIJSKO FILTRIRANJE ŠUMA

- *Notch* filter
 - Spektar slike: uočavaju se horizontalne i vertikalne komponente
 - *Notch* filter koji potiskuje vertikalnu komponentu
 - Periodična smetnja uklonjena filtrom
 - Restaurirana slika

