POBOLJŠANJE I RESTAURACIJA SLIKE

U procesu akvizicije slika često biva degradirana. Uzroci mogu biti različiti: mehanički problemi, zamućenje zbog lošeg fokusiranja, pokreti objekata i/ili pozadine, neodgovarajuća osvjetljenost, šum, proces kvantizacije… Svrha *poboljšanja* slike ja da polazeći od snimljene slike $c[m,n]$ dobijemo sliku $\hat{a}[m,n]$ koja je oku najugodnija. Svrha *restauracije* je da polazeći od snimljene slike $c[m,n]$ dobijemo najbolji mogući estimat $\hat{a}[m,n]$ originalne slike $a[m,n]$. Cilj poboljšanja je ljepota, cilj restauracije je istina.

Mjera uspješnosti restauracije je često greška između originala $a[m,n]$ i estimata $\hat{a}[m,n]$: $\varepsilon\{\hat{a}[m,n], a[m,n]\}$. Nije poznata matematička funkcija greške koja odgovara ljudskoj percepciji uspješnosti restauracije. Najčešće se koristi srednjekvadratna funkcija greške:

$$\varepsilon\{\hat{a}, a\} = \frac{1}{MN}\sum_{m=0}^{M-1}\sum_{n=0}^{N-1}\left|\hat{a}[m,n] - a[m,n]\right|^2 .$$

U nekim slučajevima, računanje greške nije neophodno, dok u drugim ona predstavlja osnovu za razvoj i poređenje tehnika restauracije.

Ranije opisane osnovne operacije digitalne obrade slike se mogu kombinovati u efikasne tehnike za rješavanje specifičnih problema poboljšanja i restauracije slike.

PRIGUŠIVANJE ŠUMA

Raspoložive tehnike za prigušivanje šuma mogu se podijeliti na jedne zasnovane na vremenskim informacijama i druge zasnovane na prostornim informacijama. Pod pojmom vremenske informacije podrazumijevamo da raspolažemo sekvencom slika $\{a_p[m,n], p = 1,2,\ldots,P\}$ koje sadrže potpuno iste objekte i predstavljaju različite realizacije samo u pogledu šuma. Ako je šum aditivnog karaktera, jednostavno usrednjavanje sekvence

$$a[m,n] = \frac{1}{P}\sum_{p=1}^{P} a_p[m,n]$$

daje dobar rezultat. Za svaki piksel standardna devijacija se smanjije sa σ na $\sigma/\sqrt{P}$.

Ako vremensko usrednjavanje nije moguće, koristi se prostorno usrednjavanje. Pri tome neizbježno dolazi do narušavanja oštrine slike.

Filtriranje u prostornom domenu

Za prostorno usrednjavanje koriste takozvani *smoothing* filtri. Riječ *smoothing* znači "zagladiti, izglačati, umanjiti neravnine…". Stoga se ovi filtri koriste da redukuju šuma ili pripremu slike za dalju obradu, npr., segmentaciju. Pravićemo razliku između linearnih i nelinearnih algoritama za filtriranje, od kojih su prvi pogodni za implementaciju u domenu Furijeove transformacije, dok drugi nisu.

Linearni filtri

Uniformni filtar

Pri primjeni ovog filtra, izlazna slika je rezultat lokalnog usrednjavanja filtrom gdje su sve težine filtra jednake. U kontinualnom prostornom domenu (x, y) impulsni odziv i prenosna funkcija dati su na Slici 27 za pravougaoni i cirkularni oblik prozora konvolucionog kernela. U diskretnom prostornom domenu $[m,n]$ vrijednosti filtra su odmjerci iz kontinualnog domena. Primjeri za slučaj pravougaonog $(J = K = 5)$ i cirkularnog $R = 2.5$ oblika prozora konvolucionog kernela su dati na Slici 54.

$$h_{rect}[j,k] = \frac{1}{25}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \qquad h_{circ}[j,k] = \frac{1}{21}\begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

(a) (b)

Slika 54. Uniformni filtri za smoothing: (a) pravougani filtar $(J = K = 5)$, (b) kružni filtar $(R = 2.5)$

Napomenimo da je u oba slučaja filtar normalizovan, tako da je $\sum h[j,k] = 1$. To je urađeno da bi za sliku $a[m,n]$ sa konstantnim nivoima svjetline izlazna slika $c[m,n]$ bila sa jednakim nivoima svjetline kao ulazna. Kao što se može vidjeti sa Slike 27, oba filtra imaju prenosnu funkciju i sa negativnim vrijednostima (lobovima), što dovodi do inverzije faze. Implementacija kvadratnog filtra je separabilna i inkrementalna, dok je implementacija kružnog filtra samo inkrementalna.

Trougaoni filtar

Izlazna slika je zasnovana na lokalnom usrednjavanju ulaza u filtar, gdje vrijednosti u prozoru konvolucionog kernela imaju različite težine. U opštem slučaju, filtar se može posmatrati kao konvolucija dva (identična) uniformna filtra, kvadratna ili kružna, što ima direktne konsekvence na složenost računanja. U kontinualnom prostornom domenu impulsni odziv i prenosna funkcija su dati na Slici 27. Kao što se može vidjeti, prenosne funkcije ovih filtara nemaju negativnih lobova, pa prema tome ne obrću fazu. Primjeri pravougaonog i kružnog konvolucionog kernela su dati na Slici 55. Izvšena je normalizacija filtra tako da je $\sum h[j,k]=1$.

$$h_{pyr}[j,k]=\frac{1}{81}\begin{bmatrix}1 & 2 & 3 & 2 & 1\\ 2 & 4 & 6 & 4 & 2\\ 3 & 6 & 9 & 6 & 3\\ 2 & 4 & 6 & 4 & 2\\ 1 & 2 & 3 & 2 & 1\end{bmatrix} \qquad h_{cone}[j,k]=\frac{1}{25}\begin{bmatrix}0 & 0 & 1 & 0 & 0\\ 0 & 2 & 2 & 2 & 0\\ 1 & 2 & 5 & 2 & 1\\ 0 & 2 & 2 & 2 & 0\\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0\end{bmatrix}$$

(a) (b)

Slika 55. Trougaoni filtri za smoothing: (a) piramidalni filtar $(J=K=5)$, (b) konusni filtar $(R=2.5)$

Gausov filtar

Korištenje Gausovog kernela za smoothing je postalo veoma popularno. Impulsni odziv i prenosna funkcija filtra su prikazani na Slici 27. Gausov filtar je separabilan:

$$h(x,y)=g_{2D}(x,y)=\left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}e^{-\left(x^2/2\sigma^2\right)}\right)\cdot\left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}e^{-\left(y^2/2\sigma^2\right)}\right)=g_{1D}(x)\cdot g_{1D}(y)$$

Postoji nekoliko različitih pristupa pri implementaciji Gausovog filtra:

1. Konvolucija, koristeći konačan broj odmjeraka N_0 Gausove funkcije za konvolucioni kernel. Uobičajeno se bira $N_0=3\sigma$ ili 5σ.

   $$g_{1D}(n)=\begin{cases}\dfrac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}e^{-\left(n^2/2\sigma^2\right)} & |n|\le N_0\\ 0 & |n| \rangle N_0\end{cases}$$

2. Niz konvolucija sa uniformnim filtrom kao konvolucionim kernelom, zasnovano na centralnom graničnom teoremu.

   $$g_{1D}[n]\approx u[n]*u[n]*u[n]$$

   $$u(n)=\begin{cases}1/(2N_0+1) & |n|\le N_0\\ 0 & |n| \rangle N_0\end{cases}$$

   $$c[n]\approx\left(\left(a[n]*u[n]\right)*u[n]\right)*u[n]$$

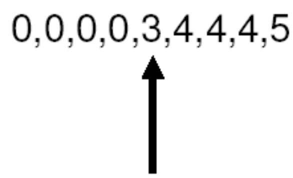
   Usvaja se da je $N_0=\sigma$ iako to ograničava izbor σ na cjelobrojne vrijednosti.

3. Množenje u frekvencijskom domenu. Kako je Furijeova transformacija Gausove funkcije Gausova funkcija, to znači da je jednostavno odrediti prenosnu funkciju filtra $H[m_1,m_2]=G_{2D}[m_1,m_2]$. Da bi se izbjekao efekat odsijecanja (jer Gausova funkcija traje do beskonačnosti) neophodno je izabrati σ dovoljno veliko. U većini slučajeva je zadovoljavajuće ako se izabere $\sigma \rangle k/\pi$, $k=3$ ili 4.

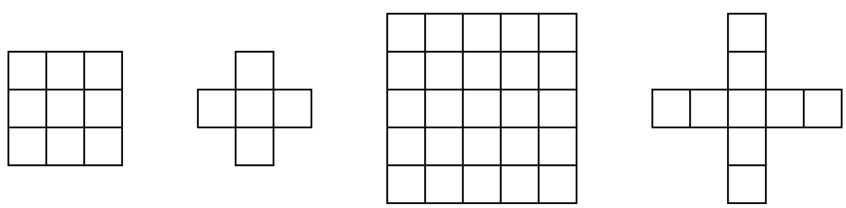
Nelinearni filtri

Median filtar

Ovaj filtar je zasnovan na *median* vrijednosti funkcije distribucije, sl.14 (a). Slično kao kod konvolucije, preko slike se pomijera prozor i izlaznom pikselu se pridružuje ona vrijednost svjetline za koju funkcija distribucije unutar prozora ima median vrijednost. Ako su dimenzije prozora $J \times K$ možemo pikselima pridružiti tabelu u kojoj je $J \cdot K$ svjetlina svih piksela poredano od najniže ka najvišoj vrijednosti svjetline, Slika 56. Ako je $J \cdot K$ neparno, tada je vrijednost svjetline koja odgovara median vrijednosti funkcije distribucije na poziciji $(J \cdot K + 1)/2$. Napomenimo da će selektovana vrijednost svjetline biti u potpunosti jednaka jednoj od postojećih vrijednosti svjetlina. Maske koje se koriste pri filtriranju ovim filtrom prikazane su na Slici 57.



Slika 56. Određivanje median vrijednosti



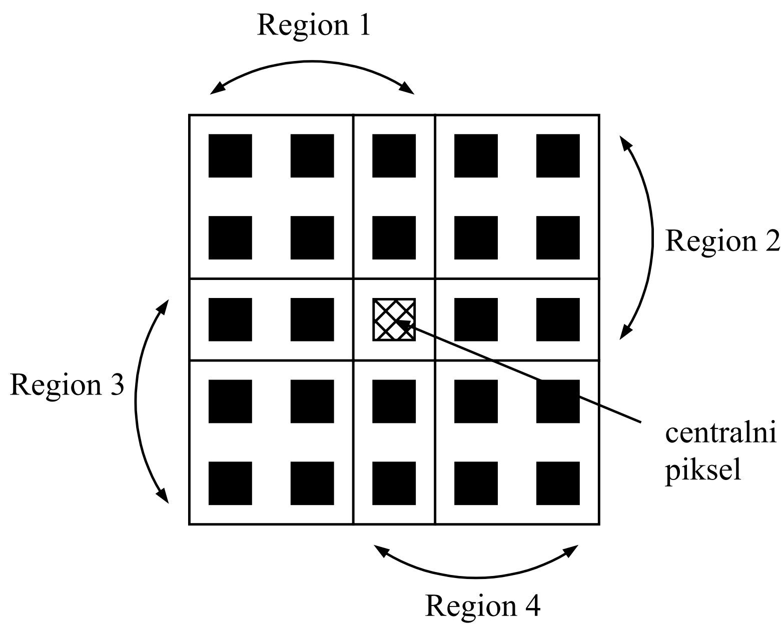
Slika 57. Najčešće maske koje se koriste pri filtriranju median filtrom

Korisna varijacija ovog filtra je *procentualni* filtar. Ovdje se centralnom pikselu prozora ne pridružuje vrijednost svjetline koja odgovara 50% (median) vrijednosti funkcije distribucije, nego ona vrijednost svjetline koja odgovara p% vrijednosti funkcije distribucije, gdje se p% kreće od 0% (*minimum* filtar) do 100% (*maksimum* filtar). Vrijednosti različite od $(p = 50)$% u opštem slučaju ne odgovaraju smoothing filtru.

Kuvahara (Kuwahara) filtar

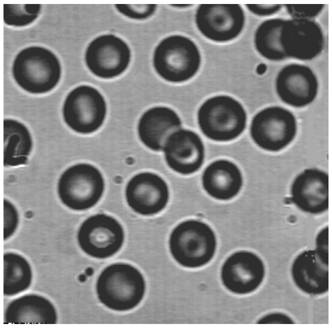
Ivice igraju važnu ulogu kako u percepciji tako i u analizi slike. Prema tome, bilo bi dobro kad bi bili u mogućnosti da sačuvamo ivice prilikom smoothinga slike, tj., da ne narušimo oštrinu slike. Iako je ovaj filtar moguće implementirati sa različitim oblicima prozora, opisaćemo algoritam sa kvadratnim oblikom prozora, veličine $J = K = 4L + 1$ gdje je L cio broj. Prozor se podijeli u četiri regiona, kao što je prikazano na Slici 58.

U svakom od četiri regiona $(i = 1,2,3,4)$ mjeri se srednja svjetlina m_i i varijansa s_i^2. Za vrijednost svjetline centralnog piksela uzima se srednja vrijednost regiona sa najmanjom varijansom.

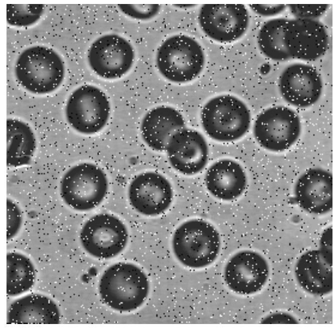


Slika 58. Definisanje regiona Kuwahara filtra, $L = 1$, $J = K = 5$

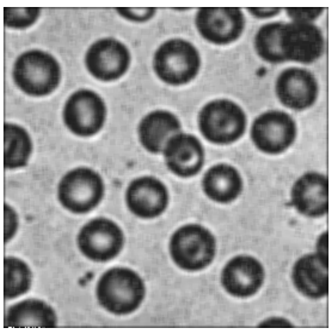
Na Slici 59 i Slici 60 dato je poređenje linearnih i nelinearnih filtara za prigušivanje šuma.



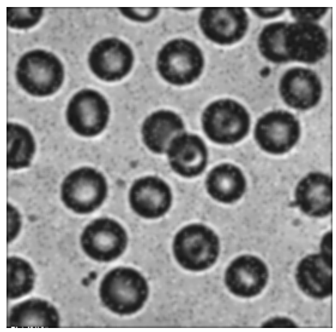
(a)



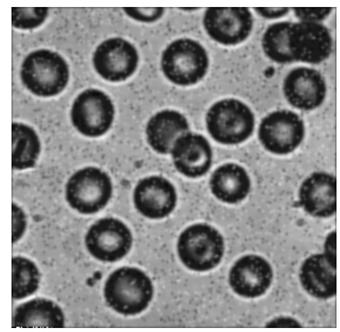
(b)



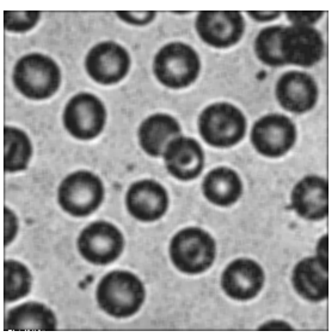
(c)



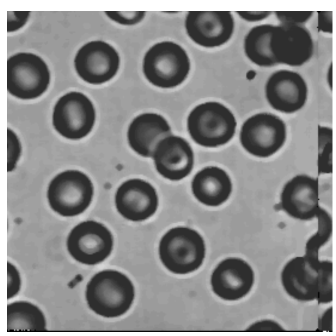
(d)



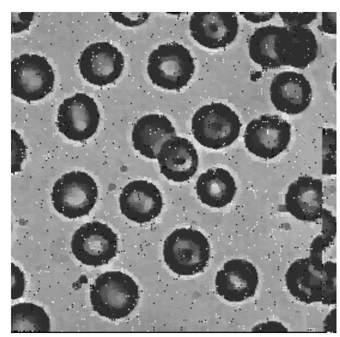
(e)



(f)



(g)



(h)

Slika 59. Poređenje filtara za prigušivanje šuma. (a) Originalna slika. (b) Slika sa šumom ("so i biber"). Filtrirane slike: (c) pravougaonim uniformnim filtrom (5x5), (d) piramidalnim filtrom 5x5, (e) konusnim filtrom 5x5, (f) Gausovim filtrom σ=2.5, (g) median filtrom 5x5, (h) Kuvahara filtrom 5x5.

(a) (b)

(c) (d)

Slika 60. Poređenje filtara za prigušivanje šuma. (a) Slika narušena šumom. Filtrirane slike: (c) Gausovim filtrom $(\sigma = 1.0)$, 5x5, (d) Kuvahara filtrom 5x5, (e) median filtrom 5x5.