Poboljšanje slika u prostornoj domeni

Prof. dr. sc. Sven Lončarić
http://www.fer.hr/predmet/obrinf

Pregled tema

- Uvod
- Klasifikacija metoda za poboljšanje slike
- Pregled osnovnih metoda za poboljšanje slika u prostornoj domeni

Uvod

- Svrha poboljšanja slike je da se dobije slika koja je pogodnija za neku specifičnu primjenu nego original
- Tehnike poboljšanja slike su veoma ovisne o primjeni (nema univerzalnih rješenja)
- Problem: definiranje kriterija “kvalitete” slike
- Tehnike poboljšanja uglavnom empiričke i koriste interaktivne procedure za postizanje zadovoljavajućih rezultata

Klasifikacija metoda

- Metode za poboljšanje mogu se podijeliti na:
  - operacije na pikselima (point operations)
  - prostorne operacije (spatial operations)

Operacije na pikselima

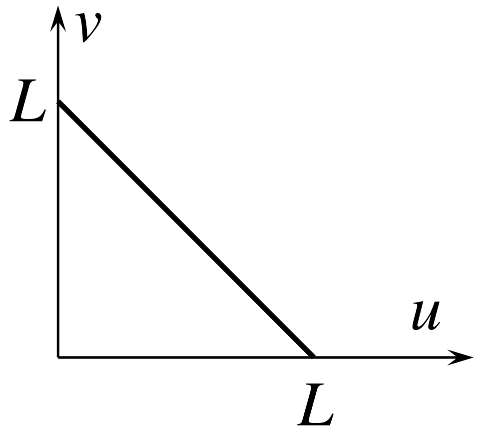
- Zajednička karakteristika ovih operacija je da izlazna vrijednost točke (nivo sivila) ovisi samo o ulaznoj vrijednosti u toj istoj točki
- To su bezmemorijske operacije gdje se ulazna vrijednost točke $u \in [0, L]$ preslikava u izlaznu vrijednost $v \in [0, L]$ prema transformaciji $v = f(u)$

Podjela operacija na točki

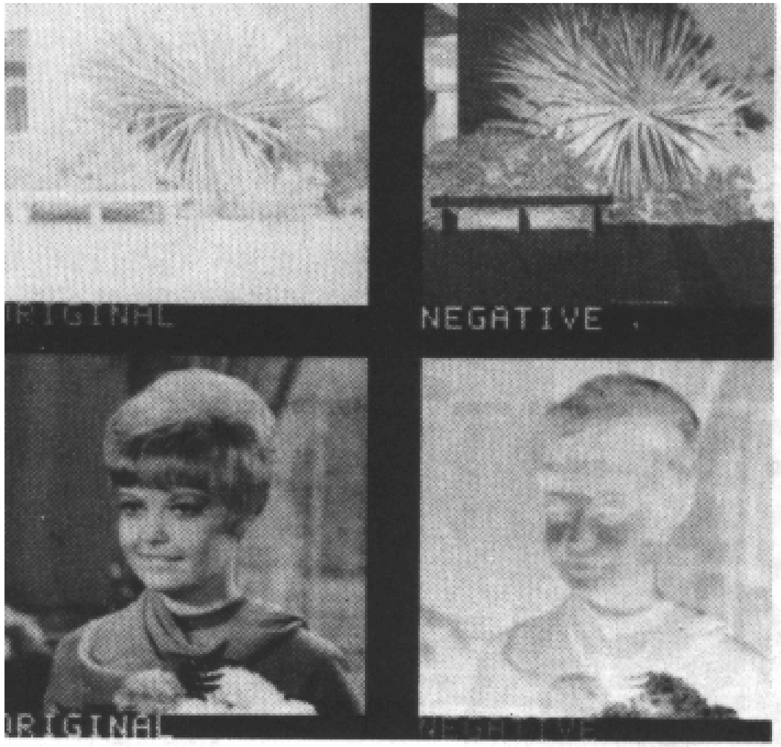
- Osnovne transformacije vrijednosti točaka (negativ slike, log, eksponencijalne transformacije)
- Transformacije linearne po segmentima
  - rastezanje kontrasta (contrast stretching)
  - ograničavanje (clipping)
  - izdvajanje prozora (window slicing)
- Modeliranje histograma (histogram modeling)
- Aritmetičke i logičke operacije

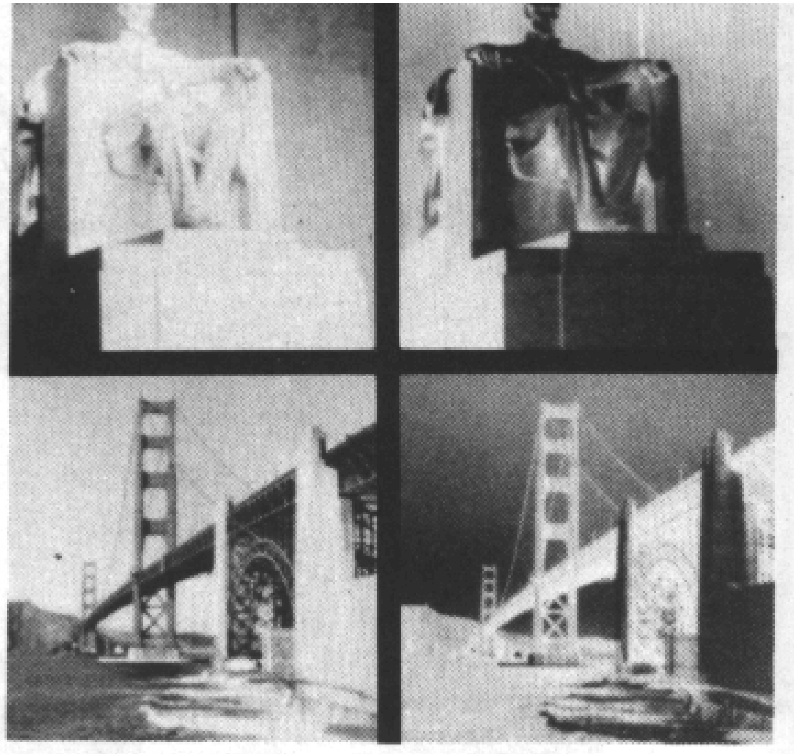
Negativ slike

- Negativ slike se dobiva transformacijom
  $$v = f(u) = L\text{-}u$$
- Negativ je koristan kod prikaza medicinskih slika



Primjer negativa slike





Logaritamske transformacije

- Nekada je dinamički opseg točaka slike tako velik da je samo nekoliko točaka vidljivo
- Kompresija dinamike sivih tonova može se postići operacijom logaritmiranja $v = c \log(1 + |u|)$ gdje je c konstanta skaliranja
- log funkcija ističe točke male vrijednosti relativno u odnosu na točke velike vrijednosti

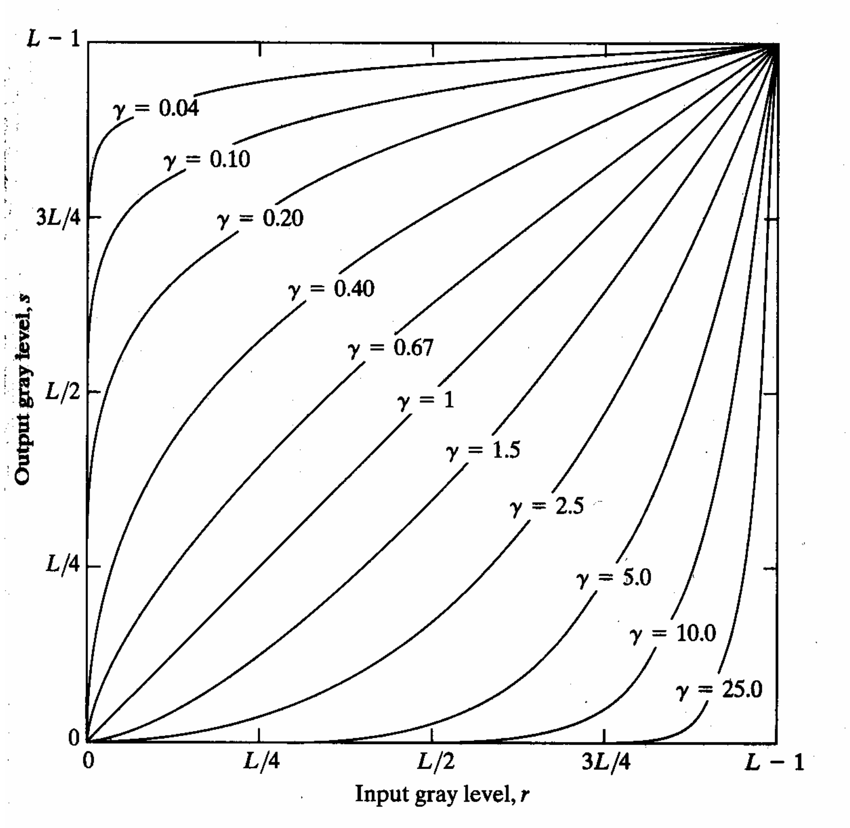
Eksponencijalne transformacije

- Eksponencijalne transformacije imaju oblik:

$$s = cr^{\gamma}$$

  gdje je *r* ulazni intenzitet, *s* izlazni, a *c* konstanta
- Ove transformacije se nekad zovu i gama transformacije zbog eksponenta u izrazu
- Mnogi uređaji za snimanje, ispis i prikaz imaju odziv prema eksponencijalnom izrazu
- Primjer: CRT monitori obično imaju eksponent od 1.8-2.5

Eksponencijalne transformacije



Gamma korekcija

- Kad je $\gamma > 1$ dobivamo tamniju izlaznu sliku
- Zbog toga je neophodno obaviti gama korekciju
- Primjer: Ako je $\gamma = 2.5$ onda je potrebna transformacija za korekciju

$$s = cr^{1/2.5} = r^{0.4}$$

- Korekcija se može obaviti tako da se slika transformira pomoću gornjeg izraza te inda pošalje na CRT monitor

Gamma korekcija

- Gama korekcija je važna uvijek kad je potrebno imati vjeran prikaz slike
- Primjeri takvih primjena su:
  - Prikaz medicinskih slika (dijagnostička radiologija)
  - Grafička industrija, priprema za tisak

Transformacije linearne po segmentima

- To su nelinearne transformacije koje imaju linearne segmente
- Takve transformacije koriste se za:
  - Rastezanje kontrasta
  - Ograničavanje

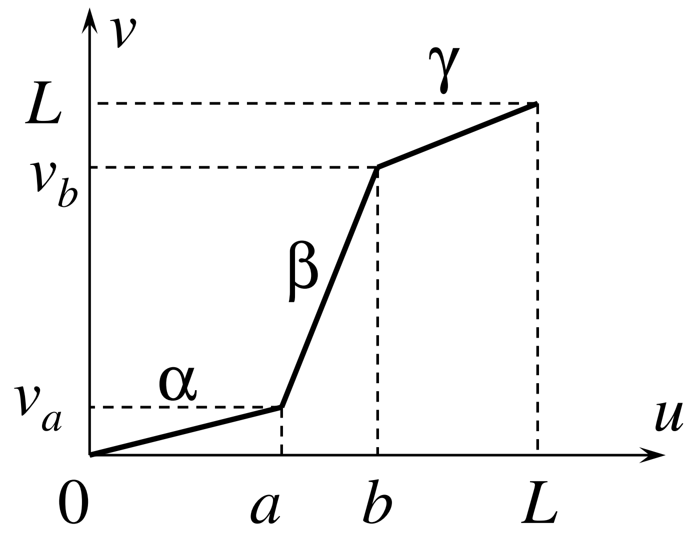
Rastezanje kontrasta

- Svrha ove operacije je povećanje kontrasta
- Niski kontrast može biti rezultat nejednolikog osvjetljenja scene ili slabog dinamičkog opsega senzora
- Niski kontrast znači da je mala razlika između svijetlih i tamnih dijelova slike što otežava interpretaciju sadržaja slike
- Za dobivanje bolje slike potrebno je uski pojas sivih tonova "razvući" na širi interval

Rastezanje kontrasta

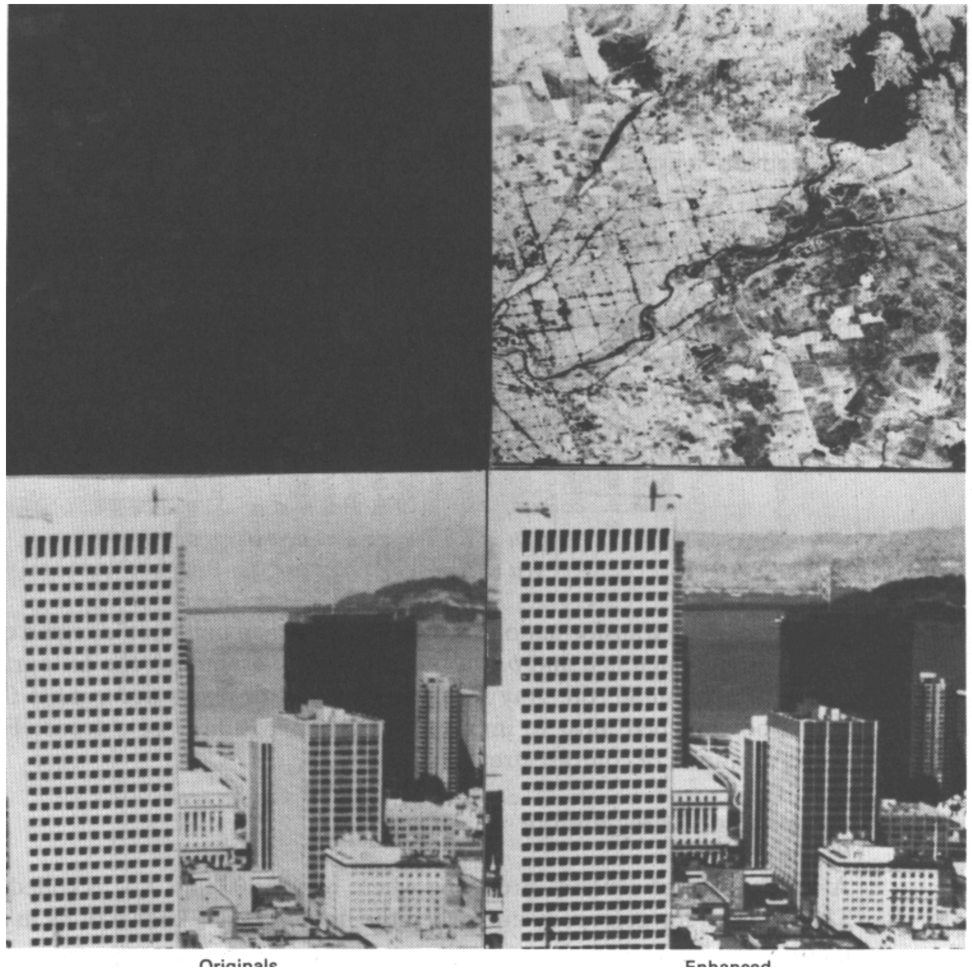
- Tipična transformacija je prikazana na slici
- Vrijednosti *a* i *b* se odrede na osnovi histograma slike tj. interval s najviše točaka se rastegne u svrhu dobivanja preglednije slike

$$v = \begin{cases} \alpha u, & 0 \le u < a \\ \beta(u-a)+v_a, & a \le u < b \\ \gamma(u-b)+v_b, & b \le u < L \end{cases}$$



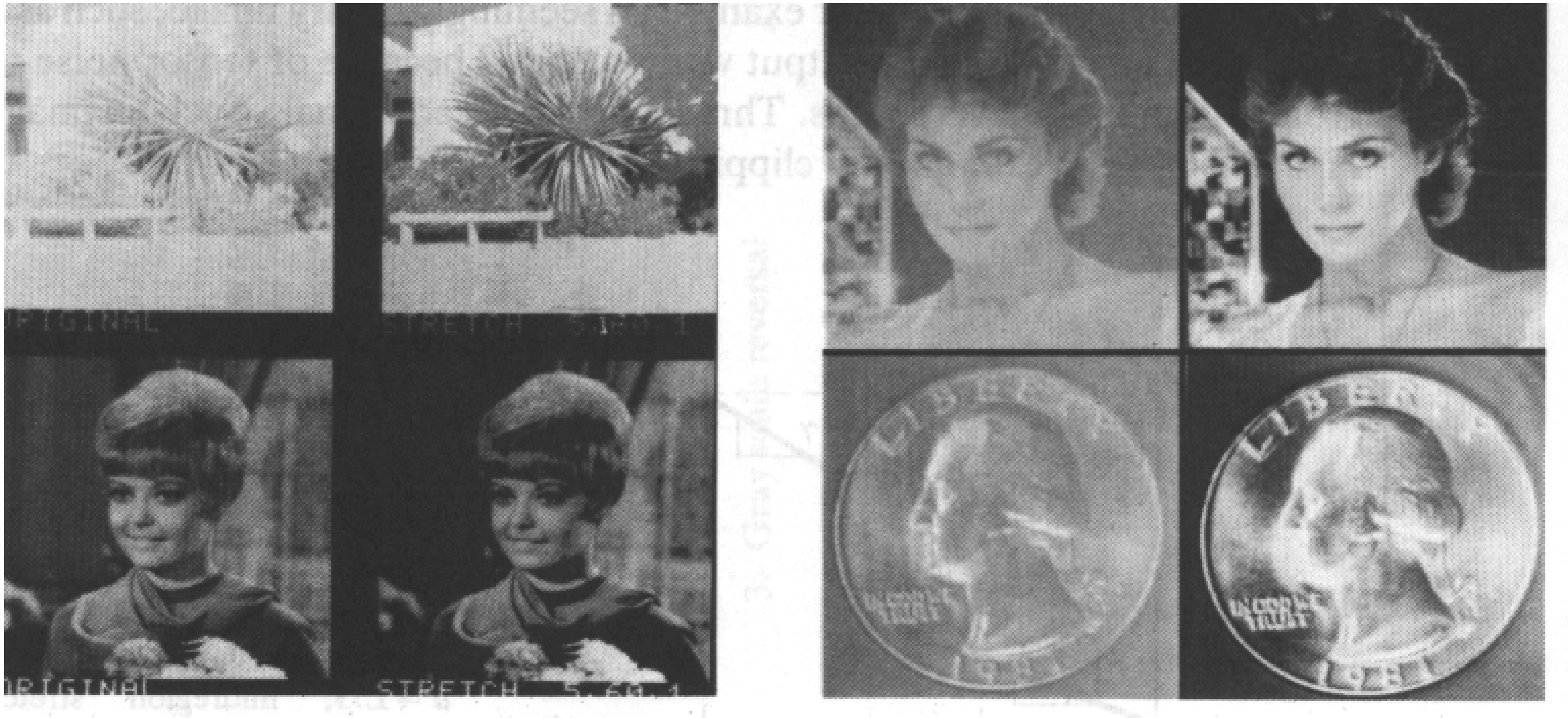
Primjer rastezanja kontrasta I

- Lijevo originalne slike, desno poboljšane



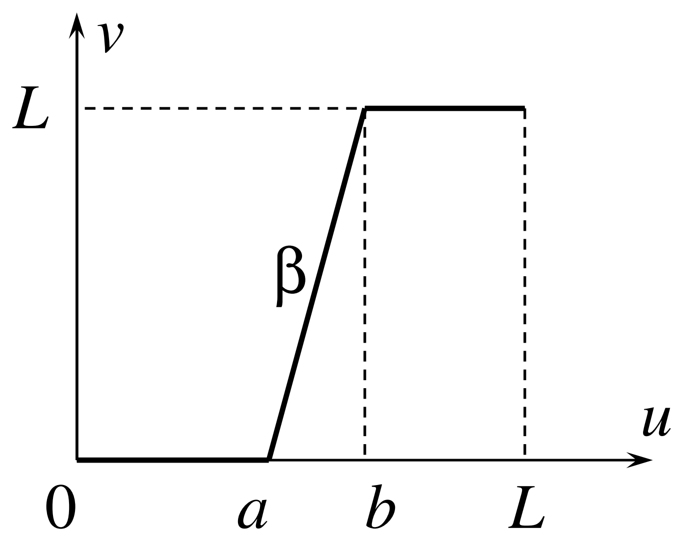
Primjer rastezanja kontrasta II

- Lijevo originali, desno poboljšane slike



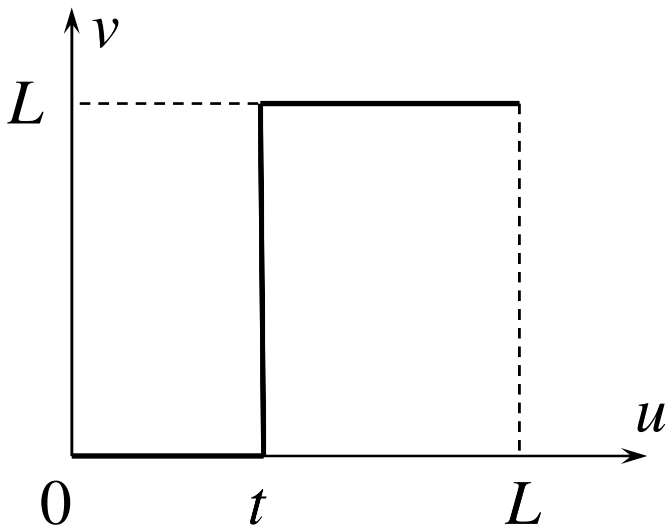
Ograničavanje

- Specijalni slučaj kada je $\alpha = \gamma = 0$ zove se ograničavanje (clipping)
- Ograničavanje je korisno za uklanjanje šuma kada se zna da vrijednosti signala leže u intervalu [*a*, *b*]



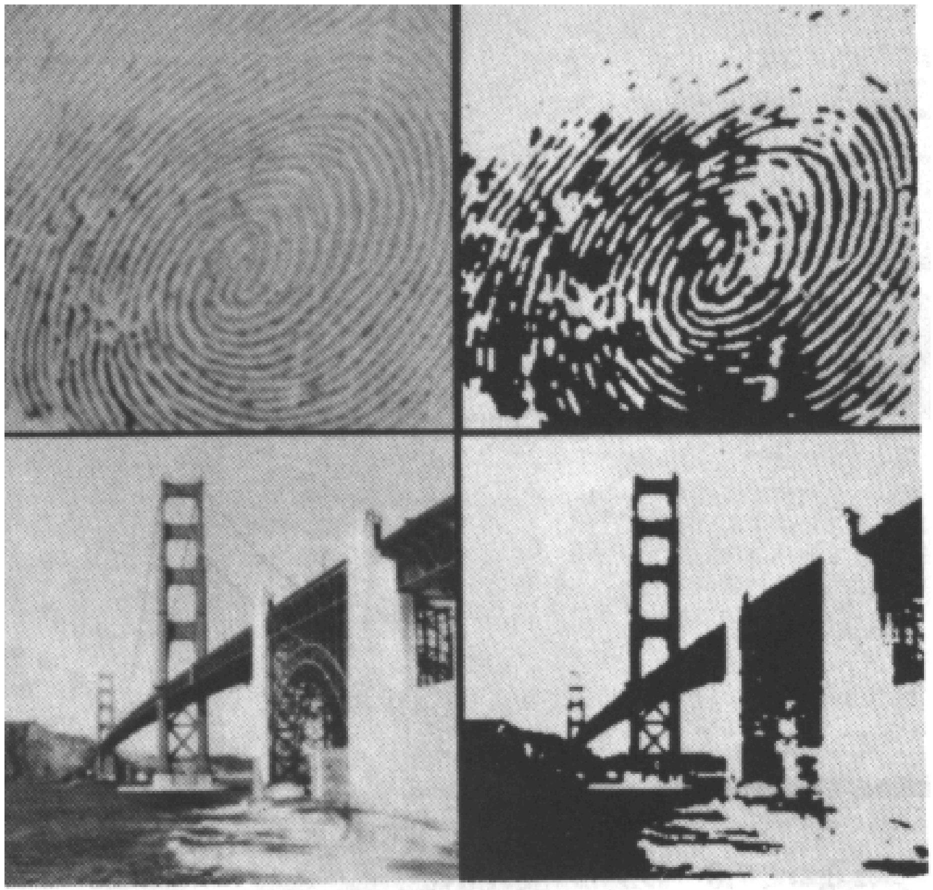
Binarno ograničavanje

- Binarno ograničavanje (thresholding) je specijalni slučaj ograničavanja kada je $a = b = t$ i izlazna slika postaje binarna (vrijednosti manje od t se preslikavaju u 0 a veće vrijednosti u 1)



Primjer ograničavanja

- Lijevo sive slike, desno binarne slike



Modeliranje histograma

- Histogram prvog reda neke slike predstavlja relativnu frekvenciju pojave različitih vrijednosti točaka u slici
- Tehnike modeliranja histograma mijenjaju sliku tako da se dobije histogram željenog oblika
- Modeliranje histograma je djelotvorna metoda za poboljšanje slike
- Pod modeliranjem histograma se podrazumijeva izjednačavanje ili specifikacija histograma

Matematička notacija I

- Neka $v = f(u)$ predstavlja transformaciju vrijednosti točaka i neka $0 <= u <= 1$ gdje $u = 0$ predstavlja crno, a $u = 1$ predstavlja bijelo
- Neka je $f(.)$ monotono rastuća na intervalu [0,1] tako da $0 <= f(u) <= 1$ za $0 <= u <= 1$
- Neka je $u = f^{-1}(v)$ inverzna funkcija koja je također monotona na intervalu [0,1]

Matematička notacija II

- Pretpostavimo da su originalne i transformirane vrijednosti točaka slike kontinuirane slučajne varijable *u* i *v* s vrijednostima na intervalu [0,1]
- Slučajne varijable *u* i *v* se mogu opisati funkcijama gustoće vjerojatnosti $p_u(u)$ i $p_v(v)$
- Iz teorije vjerojatnosti je poznato da je:

$$p_v(v) = \left[p_u(u) \frac{du}{dv} \right]_{u=f^{-1}(v)}$$

Izjednačavanje histograma I

- Pretpostavimo da je funkcija transformacije sivih vrijednosti definirana sa:

$$v = f(u) = \int_{o}^{u} p_u(w)\,dw = F_u(u)$$

- Derivacija *v* po *u* je tada dana sa:

$$\frac{dv}{du} = p_u(u)$$

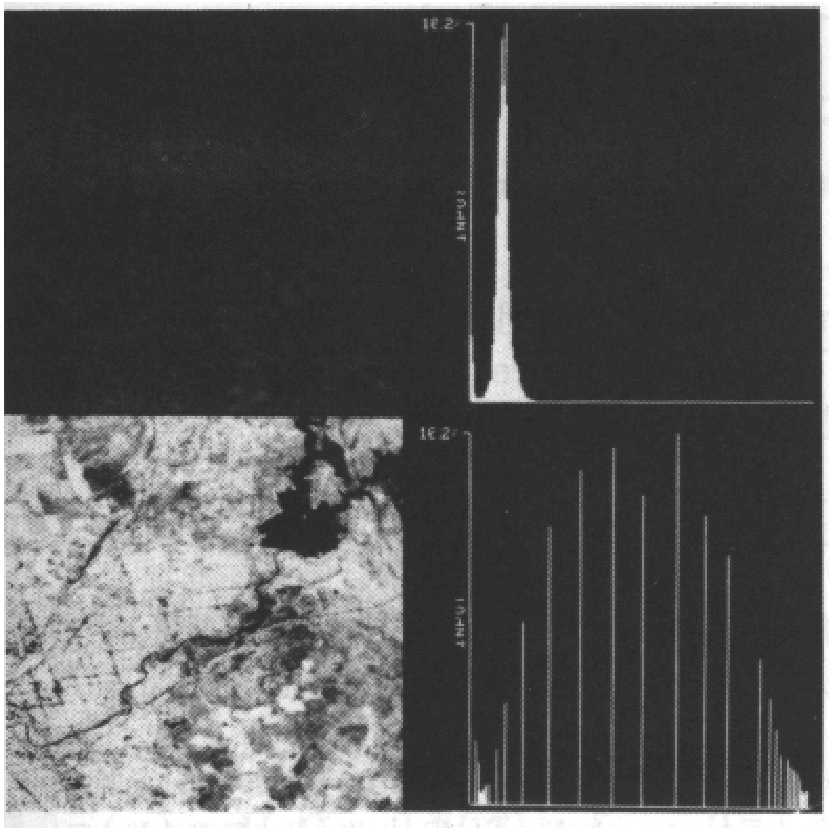
Izjednačavanje histograma II

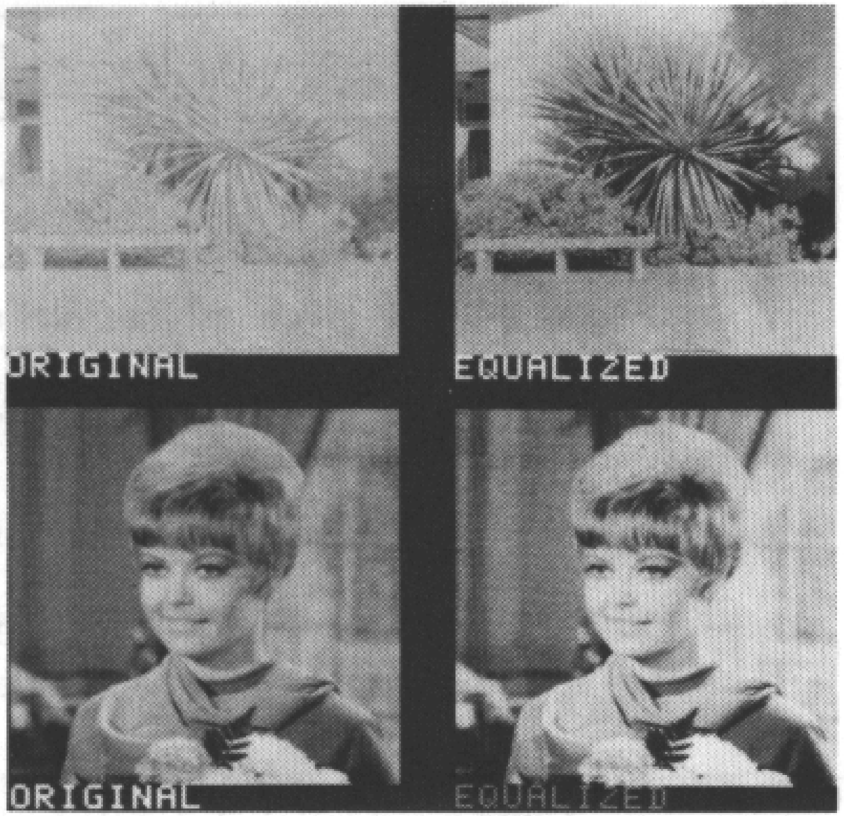
- Uz gornje pretpostavke slijedi da je funkcija gustoće transformirane slike $p_v(v)$ dana sa:

$$p_v(v) = \left[p_u(u) \frac{1}{p_u(u)} \right]_{u=f^{-1}(v)} = 1$$

- Gornji izvod pokazuje da ako se kao funkcija transformacije koristi funkcija distribucije slučajne varijable u dobivena slika ima uniformnu distribuciju (histogram) sivih tonova
- Uniformna distribucija popravlja izgled slike

Primjer izjednačavanja histograma





Aritmetičke i logičke operacije

- Aritmetičke i logičke operacije mogu se koristiti za poboljšanje slika
- Ove operacije primjenjuju se na slike tako da se primjenjuju na individualne piksele tih slika
- Najčešće korištene aritmetičke operacije su zbrajanje i oduzimanje
- Osnovne logičke operacije:
  - Unarne operacije (npr. NOT)
  - Binarne operacije (AND, OR)

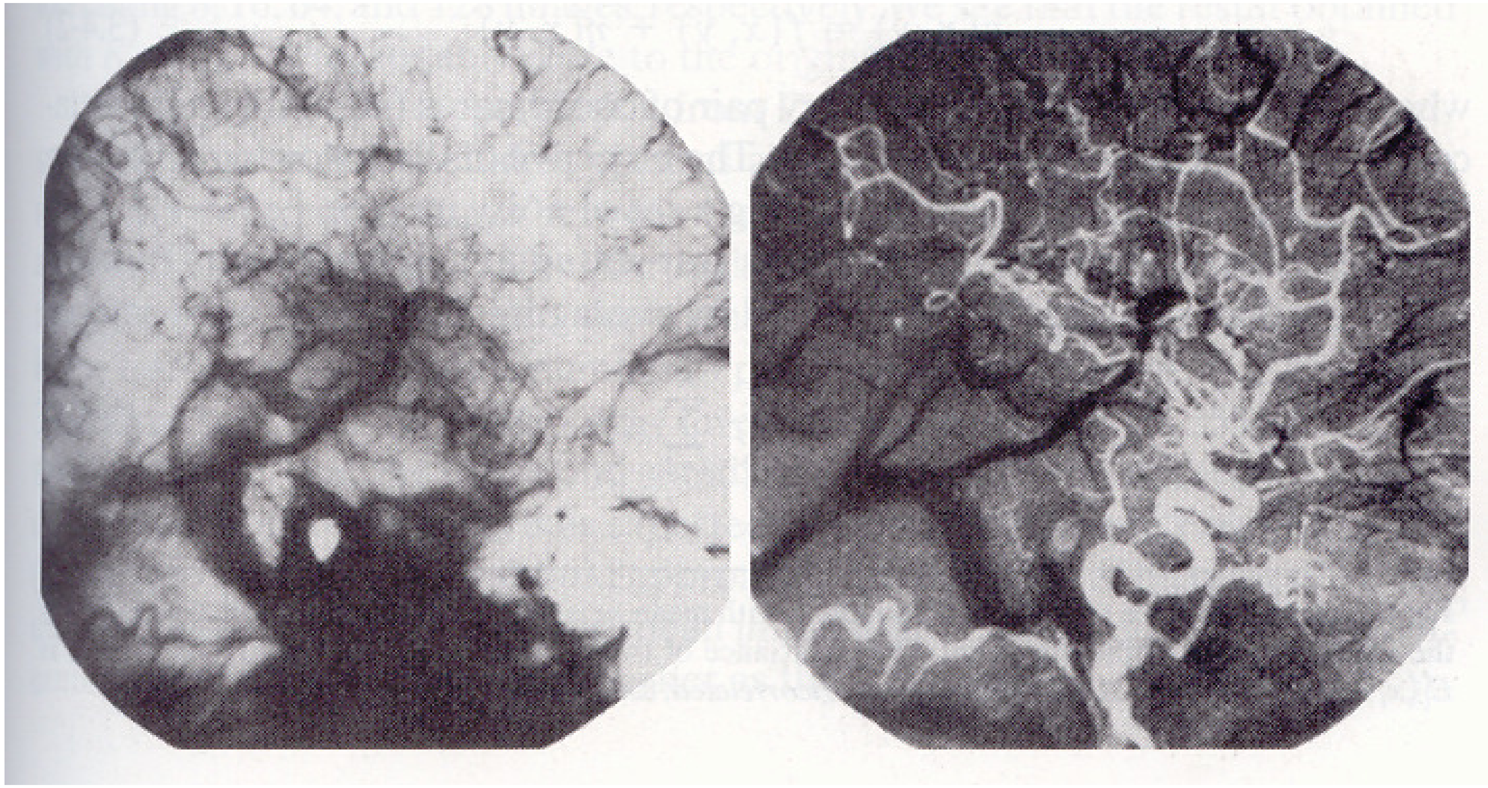
Oduzimanje slika

- Oduzimanje slika može korisno poslužiti za detektiranje razlike između dvaju slika
- Slike se međusobno podese (naravnaju, engl. match ili register) te oduzmu
- Primjeri: detekcija neispravnih štampanih ploča usporedbom s ispravnima, analiza prokrvljenosti krvnih žila, sigurnosni sustavi za nadzor

Digitalna subtrakcijska angiografija (DSA)

- DSA je primjer poboljšanja slike oduzimanjem
- Rabi se kod kardiovaskularnih snimanja
- Slika pacijenta se snimi prije nego što se u arterije ubrizga kontrast koji poboljšava vidljivost arterija u rendgenskoj snimci i ta slika se koristi kao predložak
- Ubrizga se kontrast i snimaju se nove slike
- Predložak se oduzme od svake snimljene slike tako da samo arterija ostane vidljiva u slici

Digitalna subtrakcijska angiografija (DSA)



Prostorne operacije

- engl. spatial operations
- Zajednička karakteristika prostornih operacija je da izlazna vrijednost točke ovisi o ulaznim vrijednostima u nekoj okolini (susjedstvu) te točke
- Prostorne operacije su memorijske operacije
- Često se ove operacije izvode računanjem konvolucije između slike i filtera s konačnim impulsnim odzivom (maska)

Podjela prostornih operacija

- Podjela prostornih operacija na:
  - prostorno usrednjavanje
  - median filtriranje
  - uklanjanje neoštrine (unsharp masking)
  - Filtriranje
  - interpolacija slika

Prostorno usrednjavanje I

- Odziv se računa kao:

$$v(m,n) = \sum_{(k,l)\in W}\sum a(k,l)\,y(m-k,n-l)$$

gdje je $y(m,n)$ ulaz, $v(m,n)$ izlaz, a $a(k,l)$ impulsni odziv filtra (težine filtra) s uzorcima različitim od nule unutar skupa W

Prostorno usrednjavanje II

- U najjednostavnijem slučaju usrednjavanja impulsni odziv filtra je konstantan:

$$a(k,l)=\frac{1}{N_W} \quad \text{za} \quad (k,l)\in W$$

gdje je N_w broj točaka sadržanih u prozoru W

- Izraz za konvoluciju se tada svodi na:

$$v(m,n)=\frac{1}{N_W}\sum_{(k,l)\in W}\sum y(m-k,n-l)$$

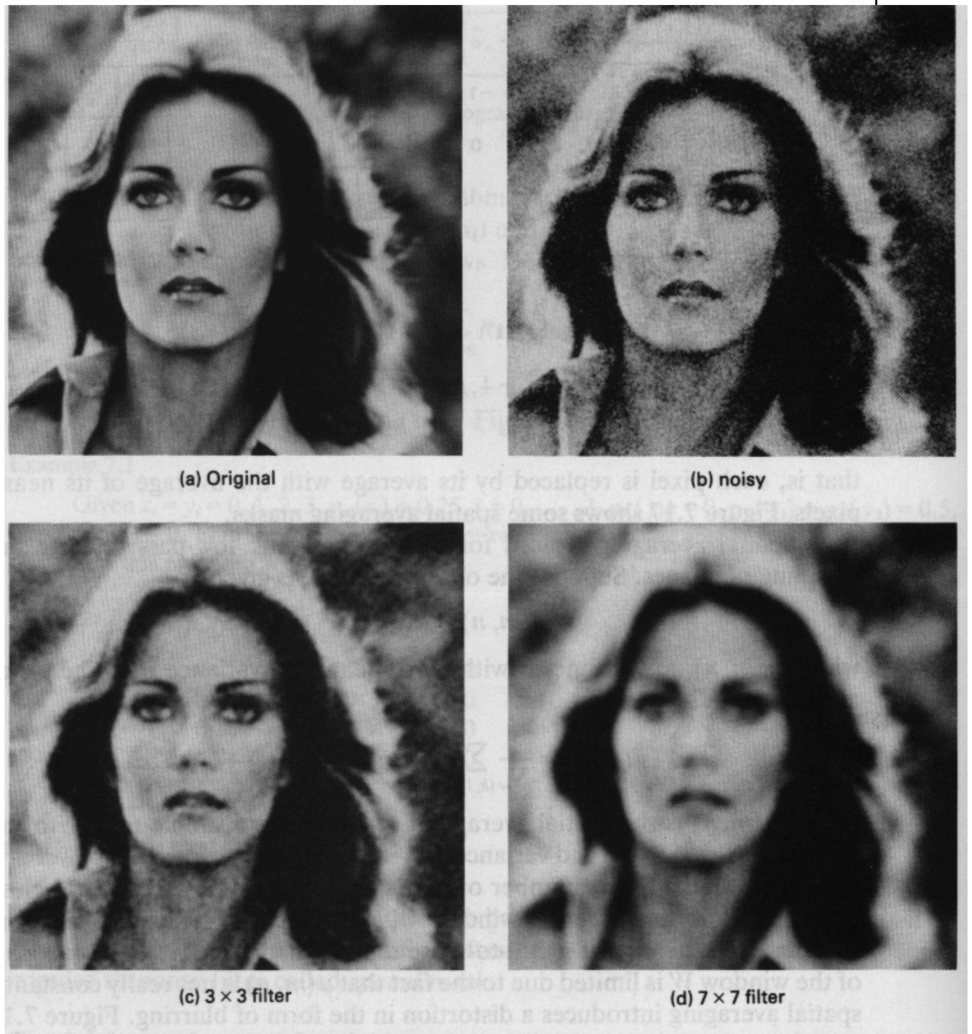
Primjeri maski za usrednjavanje

- Primjeri maski za usrednjavanje prikazani su na slikama
  - jednostavna maska 2×2
  - jednostavna maska 3×3
  - težinsko usrednjavanje u 5 točaka, maska 3×3

$$\begin{matrix} \frac{1}{4} & \frac{1}{4} \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{4} \end{matrix} \qquad \begin{matrix} \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} \\ \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} \\ \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} \end{matrix} \qquad \begin{matrix} 0 & \frac{1}{8} & 0 \\ \frac{1}{8} & \frac{1}{2} & \frac{1}{8} \\ 0 & \frac{1}{8} & 0 \end{matrix}$$

Primjer usrednjavanja

- Usrednjavanje slika koje sadrže Gaussov šum
- Originalna slika, slika sa šumom, 3×3 filter i 7×7 filter



Filtriranje šuma prostornim usrednjavanjem

- Pretpostavimo da je izmjerena slika dana kao

$$y(m,n) = u(m,n) + \eta(m,n)$$

gdje je $\eta(m,n)$ bijeli šum srednje vrijednosti jednake nuli i varijance σ^2_η

- Usrednjena slika je tada dana izrazom:

$$v(m,n) = \frac{1}{N_W} \sum_{(k,l)\in W}\sum u(m-k,n-l) + \eta_a(m,n)$$

gdje je $\eta_a(m,n)$ usrednjeni šum $\eta(m,n)$ s varijancom σ^2_η / N_w

Uklanjanje šuma prostornim usrednjavanjem: Diskusija

- Vidljivo je da se rezultat operacije prostornog usrednjavanja sastoji od dva dijela:
  - usrednjena originalna nezašumljena slika, plus
  - usrednjeni šum koji ima N_w puta manju varijancu
- Prednost: Što je maska veća, veći je N_w pa je manji usrednjeni šum
- Mana: originalna slika je zamućena zbog prostornog usrednjavanja

Median filtar

- Izlazna vrijednost točke je jednaka medianu točaka sadržanih unutar prozora W

$$v(m,n) = \mathrm{median}\{y(m\text{-}k,n\text{-}l),(k,l)\in W\}$$

- Median skupa brojeva se izračuna tako da se brojevi poredaju po veličini te se kao rezultat odabere onaj u sredini
- Prozor W se odabere tako da je N_w neparan

Svojstva median filtra

- Median filter je nelinearni filter
- Koristan je za uklanjanje izoliranih linija ili točaka bez mijenjanja ostalog dijela slike
- Dobar za binarni šum (salt and pepper noise)
- Loš za slike koje sadrže Gaussov šum
- Loše djeluje kada je broj točaka šuma veći od polovice ukupnog broja točaka

Primjer median filtriranja I

- Slika za binarnim šumom (salt and pepper noise)

Primjer median filtriranja II

- Slika sa Gaussovim šumom

Uklanjanje neoštrine I

- Za uklanjanje neoštrine treba ukloniti NF komponentu proporcionalnu neoštrom dijelu slike
- To je ekvivalentno dodavanju gradienta (VF komponente signala) slici

$$v(x,y) = f(x,y) + \lambda g(x,y)$$

gdje je $\lambda > 0$ faktor skaliranja, a $g(x,y)$ je gradient slike u točki (x,y)

Uklanjanje neoštrine II

- Ako je slika dana funkcijom *f*(*x,y*) gradient G funkcije *f* u točki (*x,y*) je definiran kao vektor

$$G[f(x,y)] = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix}_{(x,y)}$$

- Modul *g*(*x,y*) gradijenta G[*f*(*x,y*)] jednak je

$$g(x,y) = \left| G[f(x,y)] \right| = \left[(\partial f / \partial x)^2 + (\partial f / \partial y)^2 \right]^{1/2}$$

Estimacija gradijenta I

- Gradijent diskretne slike *f*(*x,y*) se može procjeniti izrazom:

$$g(x,y) \cong \left\{ \begin{matrix} [f(x,y) - f(x+1,y)]^2 \\ + [f(x,y) - f(x,y+1)]^2 \end{matrix} \right\}^{1/2}$$

ili pomoću apsolutnih vrijednosti:

$$g(x,y) \cong |f(x,y) - f(x+1,y)| + |f(x,y) - f(x,y+1)|$$

Estimacija gradijenta II

- Roberts gradijent (križane diferencije)

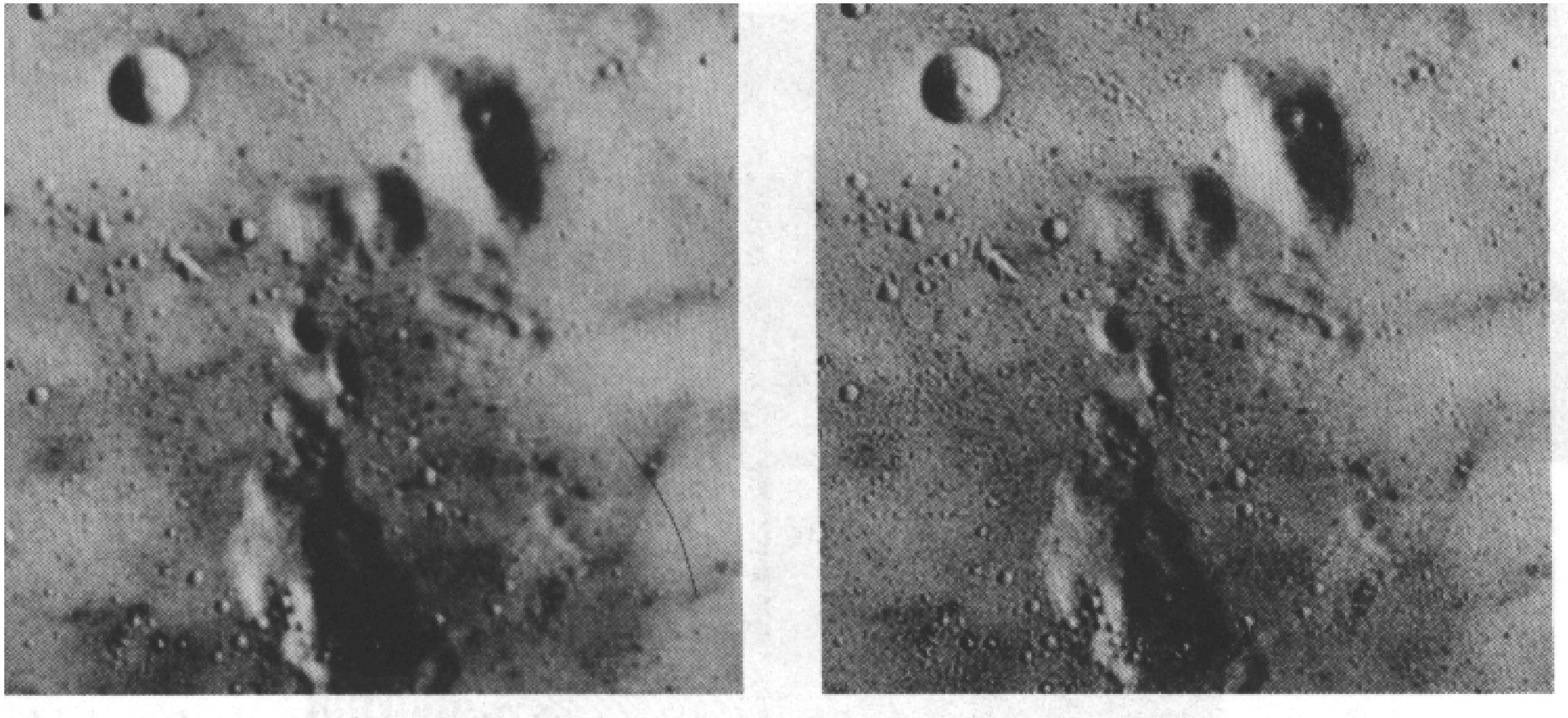
$$g(x,y) \cong \begin{Bmatrix} \left[f(x,y) - f(x+1,y+1)\right]^2 \\ + \left[f(x+1,y) - f(x,y+1)\right]^2 \end{Bmatrix}^{1/2}$$

ili pomoću apsolutnih vrijednosti

$$\begin{aligned} g(x,y) \cong \quad & \left|f(x,y) - f(x+1,y+1)\right| \\ & + \left|f(x+1,y) - f(x,y+1)\right| \end{aligned}$$

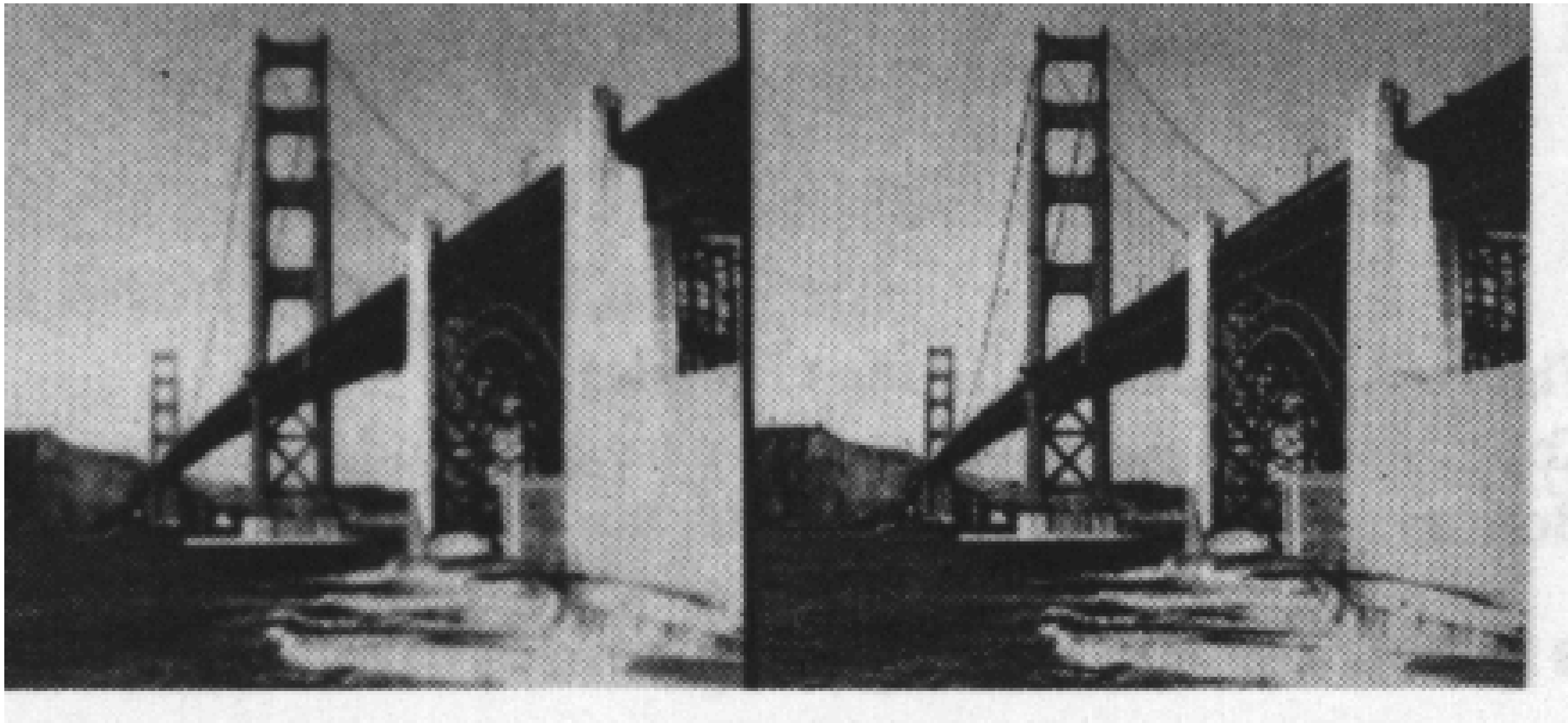
Primjer uklanjanja neoštrine I

- Lijevo originalna slika, desno poboljšana slika



Primjer uklanjanja neoštrine II

- Lijevo originalna slika, desno poboljšana slika

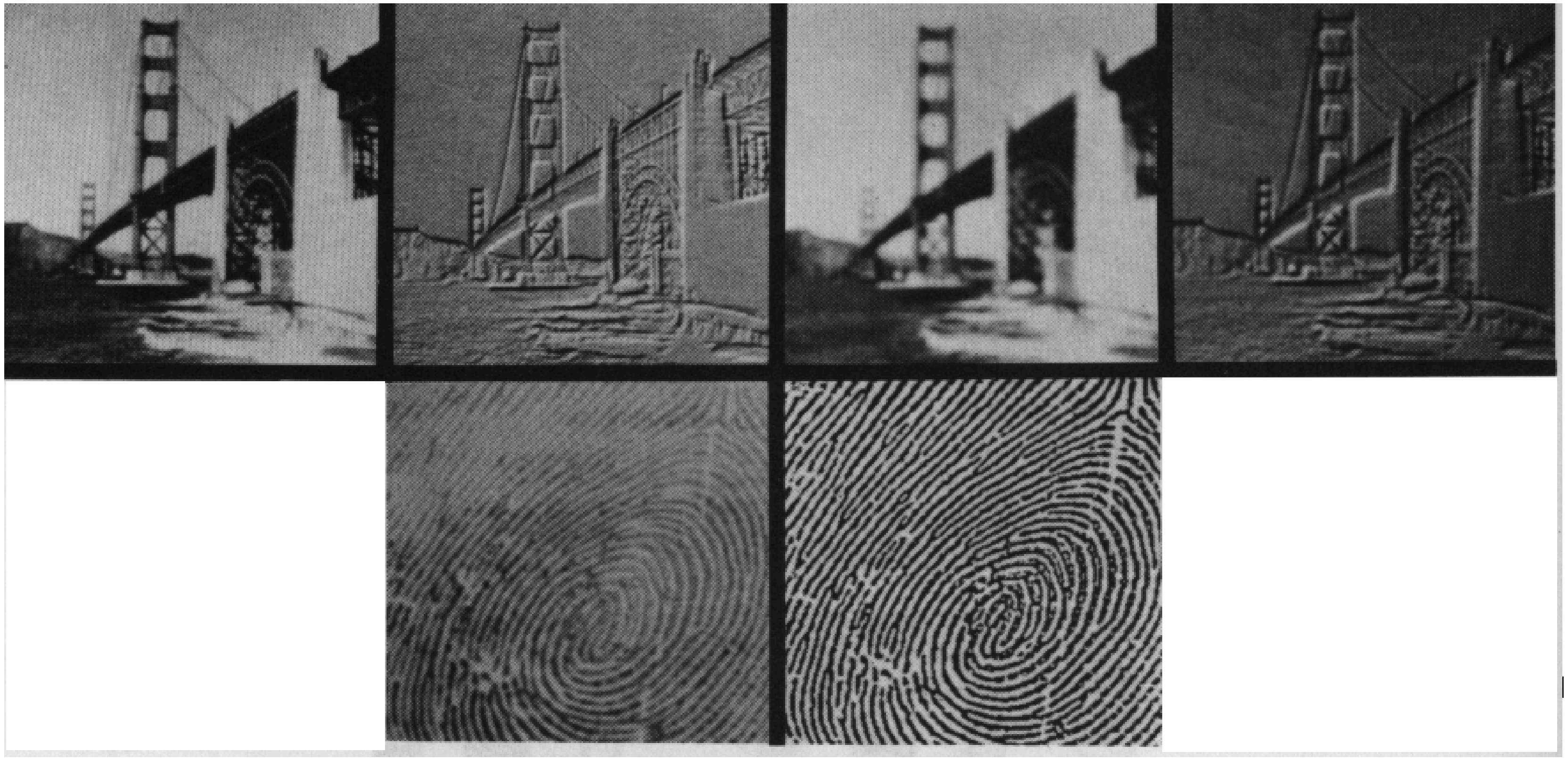


Linearno filtriranje u prostornoj domeni

- Upotreba filtera NP, VP, PP, PB
- NP filtri su korisni za uklanjanje šuma i interpolaciju
- VP filtri su korisni za ekstrakciju rubova i pooštravanje slike
- PP filtri se koriste za poboljšanje rubova uz prisutnost šuma

Primjer linearnog filtriranja

- Gornji red: original, VP, NP, PP filtrirano
- Donji red: original, VP filtrirano

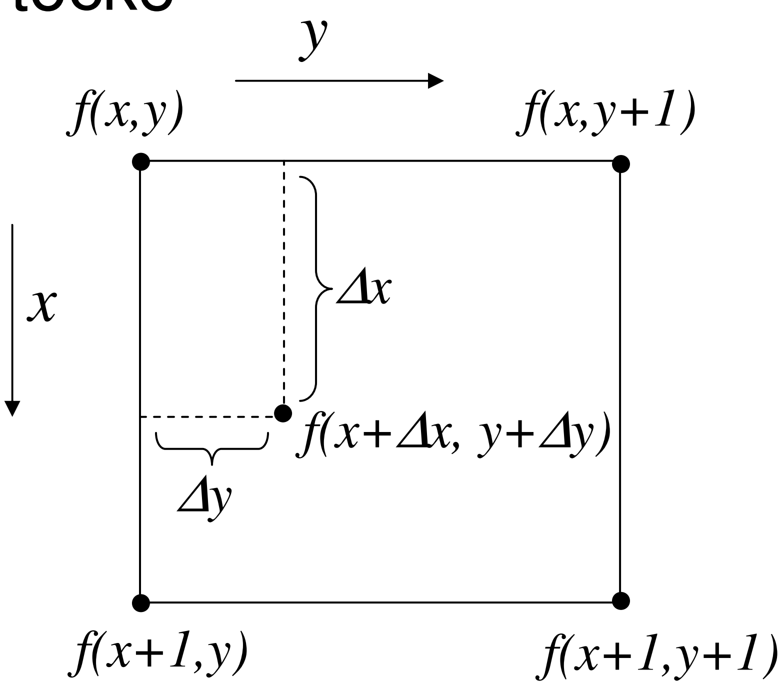


Interpolacija slike

- Da bi povećali rezoluciju slike treba interpolirati dodatne točke između postojećih točaka u slici
- Povećanje rezolucije slike je moguće postići slijedećim metodama:
  - Interpolacija ponavljanjem redova i stupaca slike
  - linearna interpolacija (prvo uzduž redova a zatim uzduž stupaca)
  - Bilinearna interpolacija
  - konvencionalna interpolacija (s očuvanjem spektra slike)

Bilinearna interpolacija

- Neka su *x* i *y* cjelobrojne koordinate točke i neka su $0 \leq \Delta x, \Delta y \leq 1$ konstante koje određuju lokaciju na čijem mjestu želimo interpolirati vrijednost nove točke



$$
\begin{aligned}
f(x+\Delta x, y+\Delta y) = \\
f(x,y)(1-\Delta x)(1-\Delta y) \\
+ f(x+1,y)\Delta x(1-\Delta y) \\
+ f(x,y+1)(1-\Delta x)\Delta y \\
+ f(x+1,y+1)\Delta x\Delta y
\end{aligned}
$$

Primjer interpolacije I

- Interpolacija ponavljanjem uzoraka

(b)

Figure 7.28 Zooming by replication from 128×128 to 256×256 and 512×512 images.

Primjer interpolacije II

- Povećanje linearnom interpolacijom

(b)

Figure 7.29 Zooming by linear interpolation from 128×128 to 256×256 and 512×512 images.

Zaključak

- Predstavljene su neke od osnovnih metoda za poboljšanje slike u prostornoj domeni:
  - operacije na pikselu
  - prostorne operacije