Video tehnologija

12. Digitalna obdelava slik

Digitalna obdelava slik

- Postopki digitalne obdelave slik:
  - zajem digitalne slike
  - izboljšava in restavracija slike
  - zgoščevanje podatkov
  - morfološke operacije
  - segmentacija
  - razpoznavanje

Kvantizacija slike

- Pri kvantizaciji slike zmanjšamo količino podatkov tako da odstranimo nekaj podrobnosti
  - zmanjšanje števila nivojev svetlosti
  - zmanjšanje števila točk
- Najbolj enostavna oblika je binarna kvantiz., kjer dobimo sliko s črnimi in belimi točkami
  - uporabna je za meritve lastnosti objektov na sliki (površina, premer ...)

Binarne slike

- Binarno sliko dobimo s pragovnim sitom

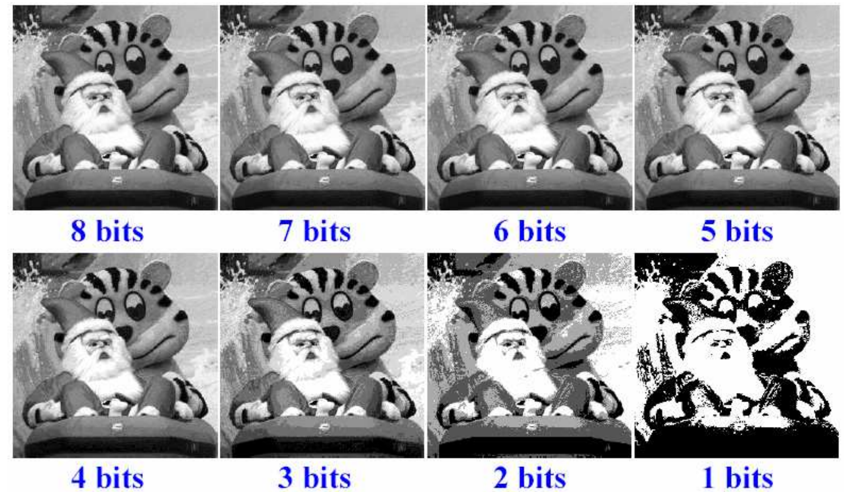
$$s = \begin{cases} 1 \text{ ali } 255, \text{ če je } r > P \\ 0, \text{ če je } r \leq P \end{cases}$$

  - s je točka na izhodni sliki
  - r je točka na vhodni sliki
  - P je vrednost praga

Zmanjšanje sivih nivojev

- Zmanjšamo število bitov za zapis točk
  - maskiranje nižjih bitov z IN operacijo
  - npr. 8 bitno točko spremenimo v 32 nivojev z masko 11111000
  - pri zmanjšanju števila bitov dobimo na sliki navidezne robove ali konture
  - učinek navideznih robov zmanjšamo, če pred kvantizacijo prištejemo k točki majhno naključno število

Kvantizacija sivih nivojev



Izboljšan postopek kvantizacije

- Kodo izhodne točke dobimo iz kontrolne vsote
- Če so zgornji 4 biti točke različni od 1111:
  - nova vsota = nivo + spodnji 4 biti vsote
- sicer: nova vsota = nivo

točka	nivo	vsota	koda
i	0110 1100	0110 1100	0110
$i+1$	1000 1011	1001 0111	1001
$i+2$	1000 0111	1000 1110	1000
$i+3$	1111 0100	1111 0100	1111

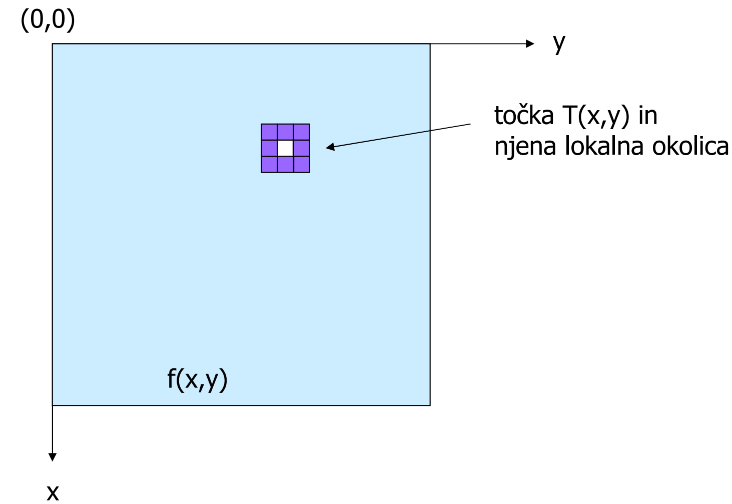
Kvantizacija sivih nivojev

- IN operacija izvede kvantizacijo na spodnji del območja
  - nivoje 0-7 v 0, 8-15 v 8...
- ALI operacijo izvede kvanti. na zgornji del
  - npr. ALI operacija z 0000111 prevede 0-7 v 7...
- S kombinacijo obeh operacij naredimo kvantizacijo v sredino območja
  - npr. ALI operacija z 00001111, nato pa IN operacija z 11111000

Izboljšava slike

- Operacije v prostoru slike
  - operacije manipulirajo s slikovnimi točkami
- Operacije v frekvenčnem prostoru
  - izvedemo transformacijo v drug prostor (npr. 2D Fourierjeva transformacija)
  - naredimo spremembo v tem prostoru
  - izvedemo inverzno transformacijo

Prostor slike

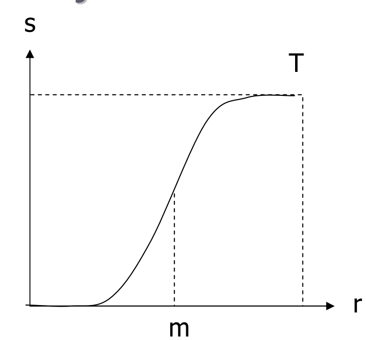


Operacije obdelave slik

- Točkovne operacije
  - vsaka izhodna točka je odvisna le od istoležne vhodne točke
  - npr. sprememba svetlosti, kontrasta ipd.
- Lokalne operacije
  - izhodna točka je odvisna od lokalne okolice točk
  - npr. filtriranje slike, rotacija slike ...
- Globalne operacije
  - izhodna točka je odvisna od celotne slike

Točkovne operacije

- Transformacija: $s = T(r)$
  - Primer 1: izdelava negativa ($s = 255 - r$)
  - Primer 2: sprememba kontrasta – zatemnimo nivoje pod nivojem m in osvetlimo nivoje nad njim



Izboljšava kontrasta

Ekspanzija in kompresija

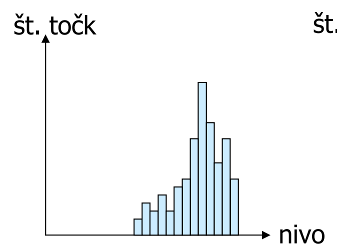
- Logaritemska transformacija
  - expanzija temnih in kompresija svetlih nivojev
  - npr. za prikaz slik z velikim dinamičnim območjem
- Potenčna transformacija
  - gama korekcija slike
  - naredi inverzen učinek kot logaritemska transformacija

Alfa maskiranje

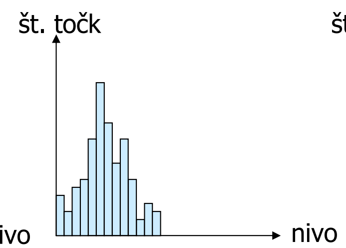
- Sestavljanje dveh slik s pomočjo binarne maske
- Npr. za sestavljanje prizora z napovedovalcem in ozadjem
- Algoritem: $s = \alpha\ r1 + (1 - \alpha)\ r2$

Operacije s histogramom

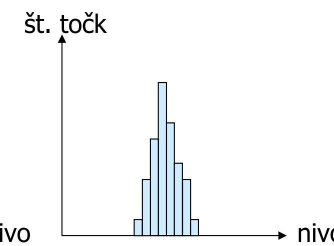
- Histogram slike je diagram, ki prikazuje porazdelitev svetlostnih nivojev na sliki



histogram svetle slike



histogram temne slike



histogram slike z majhnim kontrastom

Izenačitev histograma

- Točkovna operacija, po kateri dobimo sliko z bolj enakomerno porazdelitvijo nivojev

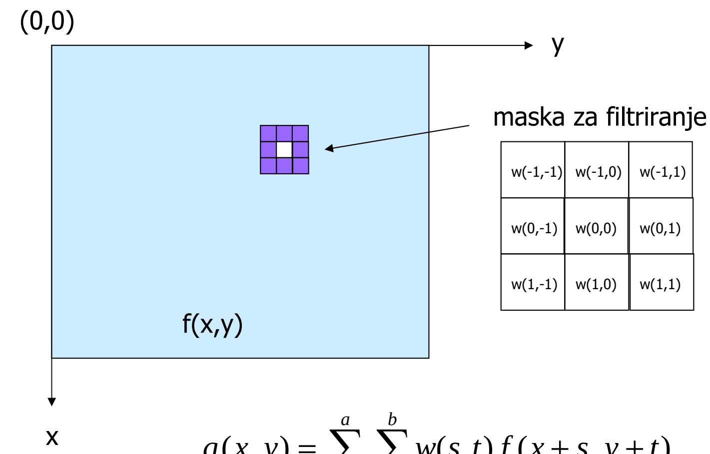
$$s_k = \sum_{j=0}^{k} \frac{n_j}{n}$$

št. točk z nivojem j

št. vseh točk

- Z izenačitvijo histograma izboljšamo kontrast slike

Filtriranje slike



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

Filtriranje slike

- Filtriranje izvajamo s konvolucijo v prostoru slike
- Maska ali konvolucijsko jedro določa način filtriranja
- Masko premikamo po vhodni sliki in v vsaki točki izračunamo konvolucijo
  - na robu slike maska pade izven prostora slike
  - točke na zunanjih robovih niso pravilno filtrirane

Glajenje slike

- Glajenje slike uporabljamo za odstranjevanje šuma na sliki
  - šumne točke odstranimo z linearnimi (konvolucijskimi) ali nelinearnimi siti
- Z glajenjem lahko odstranimo majhne detajle pred ekstrakcijo večjih objektov
  - v tem postopku odstranimo majhne vzorce in zapolnimo vrzeli
  - posledica glajenja je tudi zmehčanje robov

Sita za glajenje slike

- Povprečevalno sito
  - stopnja glajenja je odvisna od velikosti sita

3 x 3

1/9

1	1	1
1	1	1
1	1	1

5 x 5

1/25

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

Nizkopasovna sita

- Za odstranjevanje šuma in glajenje slike se uporabljajo nizkopasovna sita
  - imenujemo jih tudi povprečevalna sita
- Izhodna točka je uteženo povprečje vhodnih točk

1/16

1	2	1
2	4	2
1	2	1

Gaussovo sito

- Koeficiente konvolucijske matrike izračunamo z dvodimenzionalno Gaussovo f.

$$G[i, j] = e^{-\frac{(i^2+j^2)}{2\sigma^2}}$$

- Parameter σ določa širino Gaussove funkcije
  - pri večjem σ imamo večjo stopnjo filtriranja slike (odstranimo več šuma in bolj zmehčamo robove)

Gaussovo sito

- Velikost matrike je odvisna od parametra
  - dimenzije matrike: 4σ+1
- Koeficiente Gaussove funkcije moramo normirati
  - vsota koeficientov mora biti 1, da je izhoda slika v povprečju enako svetla kot vhodna
- Gaussovo sito da pri večjih matrikah boljši rezultat kot enostavno povprečevalno sito

Separabilnost Gaussove funkcije

- Gaussovo sito je rotacijsko simetrično
  - koeficienti matrike so simetrični, ker želimo doseči v vseh smereh enako stopnjo filtriranja
- Konvolucijo lahko izvajamo z vektorjem v x in nato še v y smeri
  - zmanjšamo potrebno število operacij

$$G[x,y] = G_x[x] \cdot G_y[y] \qquad G[i] = e^{-\frac{i^2}{2\sigma^2}}$$

Nelinearna sita

- Statistična sita – odziv sita dobimo tako da uredimo točke v neki lokalni okolici
- Median sito
  - izhodna točka je tista vhodna točka, ki se nahaja v sredini urejene množice točk
    - npr. 5. največja točka iz 3x3 okolice točk
  - median sita so zelo učinkovita pri odstranjevanju impulznega šuma

Nelinarna sita

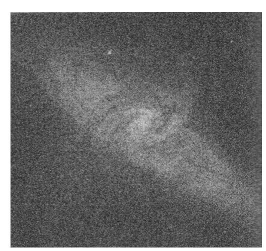
- Sito z operatorjema minimax in maximin
  - minimax: s = min (max(a,b,e), max(c,b,d))
  - maximin: s = max (min(a,b,e), min(c,b,d))

	a	
c	b	d
	e	

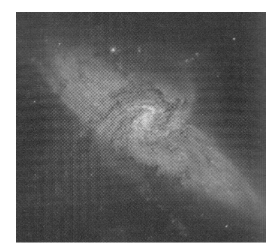
- zaporedoma odstranimo enkrat svetle in drugič temne šumne točke

Povprečenje slike

- Če imamo na voljo več zaporednih statičnih slik lahko s povprečenjem odstranimo naključni šum
  - npr. uporaba v astronomiji


ena slika


povprečje 16 slik


povprečje 128 slik

Sita za izostritev slike

- Konvolucijska sita za poudarjanje robov na sliki
- Poudarjanje ali detekcijo robov dosežemo z visokopasovnimi siti
  - konvolucijske matrike temeljijo na odvodih
  - prvi in drugi odvod v diskretnem prostoru

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

Gradientni operatorji

- Operatorji prvega reda
  - konvolucijske matrike za izračun gradienta v določeni smeri

-1	-1	-1
1	-2	1
1	1	1

Prewittov operator

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

Sobelov horizontalni operator

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

Sobelov vertikalni operator

Gradientni operatorji

- Operatorji drugega reda
  - izotropna sita – odziv je neodvisen od smeri
  - Laplaceov operator

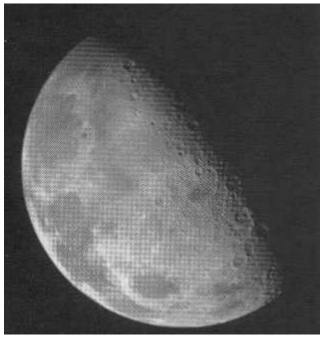
0	1	0
1	-4	1
0	1	0

Laplaceov operator

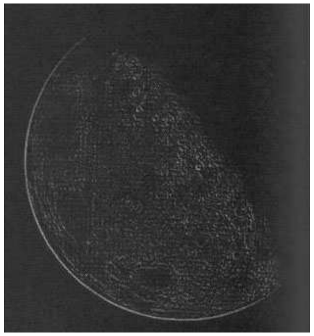
1	1	1
1	-8	1
1	1	1

Laplaceov operator z 8 sosednjimi točkami

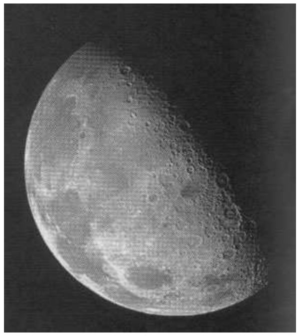
Izostritev slike



originalna slika



Laplaceov operator



vsota obeh slik

Nelinearna visoka sita

- Nelinearno Laplaceovo sito z operatorjema gradmax in gradmin
  - gradmax: s = max (3x3) - r
  - gradmin: s = min (3x3) - r
  - NL = gradmax + gradmin

LoG sito

- Povezava nizkopasovnega Gaussovega sita za odstranjevaje šuma in Laplaceovega sita
- Zaradi linearnosti konvolucije lahko izračunamo eno samo masko za izvajanje obeh operacij

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

Decimacija slike

- Z decimacijo zmanjšamo ločljivost slike in količino potrebnih podatkov
  - podvzorčenje – izpustimo odvečne točke
  - pred decimacijo moramo uporabiti nizko sito, sicer lahko dobimo vzorčevalne artefakte
- Če naredimo različno decimacijo v x in y smeri, dobimo geometrijsko popačeno sliko

Zoomiranje

- Zoomiranje za faktor 2,4,8...
- Algoritem ničtega reda
  - samo ponovimo sosednje točke
  - dobimo robato sliko
- Algoritem prvega reda
  - izvajamo linearno interpolacijo

$$\begin{matrix}8&4&8\\4&8&4\\8&2&8\end{matrix} \xrightarrow[\text{expansion}]{\text{row}} \begin{matrix}8&6&4&6&8\\4&6&8&6&4\\8&5&2&5&8\end{matrix} \xrightarrow[\text{expansion}]{\text{column}} \begin{matrix}8&6&4&6&8\\6&6&6&6&6\\4&6&8&6&4\\6&5.5&5&5.5&6\\8&5&2&5&8\end{matrix}$$

Zoomiranje s konvolucijo

- ▶ Sliko razširimo z dodajanjem ničel
- ▶ Naredimo konvolucijo z ustrezno masko

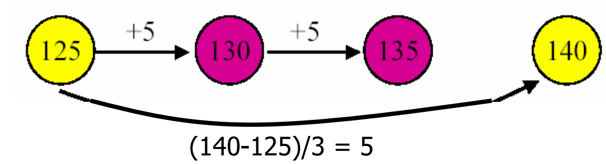
$$\begin{matrix} 3 & 5 & 7 \\ 2 & 7 & 6 \\ 3 & 4 & 9 \end{matrix} \xrightarrow[\text{expansion}]{\text{image}} \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 & 5 & 0 & 7 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 7 & 0 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 & 4 & 0 & 9 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix}$$

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & \frac{1}{4} \\ \frac{1}{2} & 1 & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & \frac{1}{4} \end{bmatrix}$$

konvolucijska maska

Zoomiranje

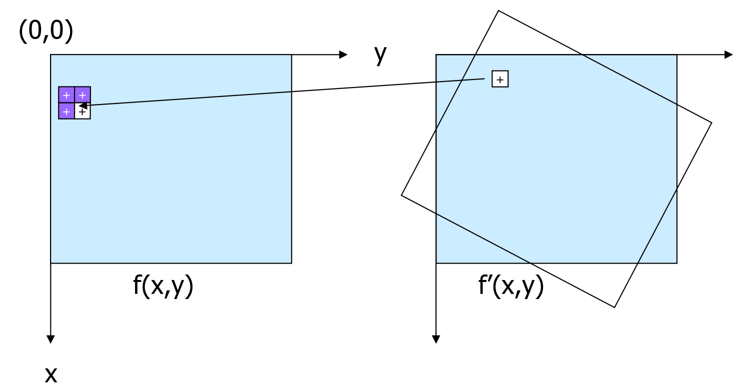
- ▶ Zoomiranje za faktor, ki ni potenca števila 2
- ▶ Naredimo linearno interpolacijo
- ▶ Npr. za faktor k
  - odštej dve sosednji točki
  - deli razliko s faktorjem k
  - rezultat dodajaj k manjši točki



Splošna geometrijska transformacija

- ▶ Translacija, rotacija, zoomiranje za poljuben faktor
- ▶ Transformacija koordinat točke [x,y] z množenjem z matriko
- ▶ Naredimo inverzno transformacijo
  - za vsako točko na izhodni sliki poiščemo ustrezno točko na vhodni sliki

Inverzna transformacija



- ▶ če pridemo na vhodni sliki med sosednje točke, naredimo bilinearno interpolacijo
  - ▶ vzamemo uteženo povprečje 4 sosednjih točk

Obdelava slik v frekvenčnem prostoru

- Pretvorba v frekvenčni prostor
  - filtriranje slike
  - restavracija slike
  - zgoščevanje (kompresija) slike

Fourierjeva transformacija

- Diskretna Fourierjeva transformacija funkcije f(x), x=0,1,... M-1

$$F(u) = \frac{1}{M} \sum_{x=0}^{M-1} f(x) e^{-j2\pi u x / M}$$

- Funkcija, ki je definirana v M točkah se preslika v M točk frekvenčnega spektra

Dvodimenzionalna DFT

$$F(u,v) = \frac{1}{M\,N} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x,y) e^{-j2\pi (u x / M + v y / n)}$$

- x,y: prostorske spremenljivke
- u,v: frekvenčne spremenljivke

- Inverzna transformacija:

$$f(x,y) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u,v) e^{j2\pi (u x / M + v y / n)}$$

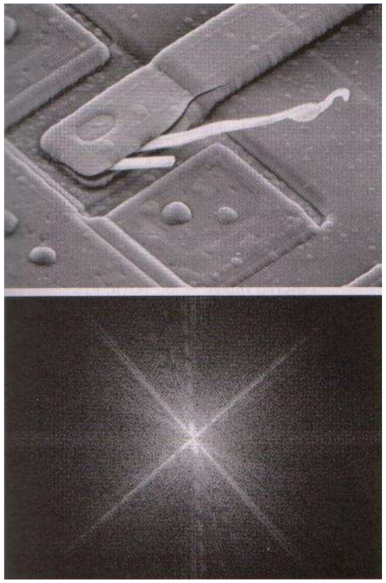
Frekvenčni spekter

- Spekter se nahaja v frekvenčnem pravokotniku dimenzij M x N
- Spekter centriramo, tako da vhodno funkcijo množimo z $(-1)^{x+y}$

$$\Im\left[f(x,y) \cdot (-1)^{x+y} \right] = F(u - M/2, v - N/2)$$

  - F(0,0) se nahaja v središču pravokotnika
  - F(0,0) je povprečje vrednosti vseh točk

Frekvenčni spekter



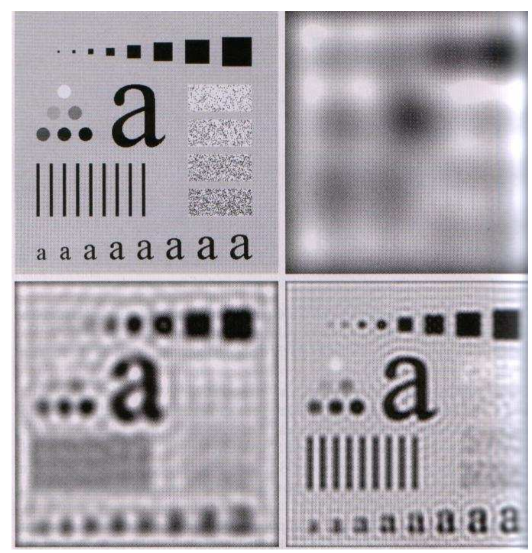
Filtriranje v frekvenčnem prostoru

- Koraki filtriranja:
  - množenje vhodne slike z $(-1)^{x+y}$
  - izračun transfomacije: $F(u,v)$
  - množenje s funkcijo sita: $H(u,v)\,F(u,v)$
  - izračun inverzne transformacije (vzamemo realni del)
  - množenje z $(-1)^{x+y}$

Idealno nizko sito

- Sito, ki odstrani vse frekvence, ki so oddaljene več kot D_0 od centra spektra
- Idealno sito ima oster prehod med propustnim in zapornim pasom
  - idealno sito ne moremo realizirati z elektronskm vezjem, lahko pa ga naredimo z računalnikom
- Posledica lastnosti idealnega sita je opazno "zvonenje" na filtrirani sliki

Idealno nizko sito



$D_0=5$

$D_0=15$

$D_0=30$

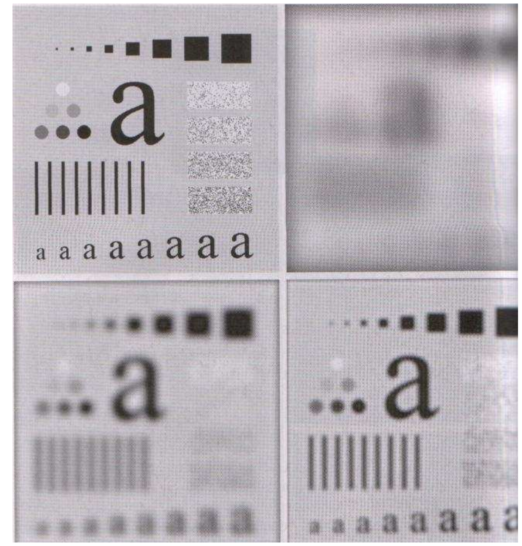
Butterworthovo sito

- Sito s prevajalno funkcijo, ki nima ostrega prehoda
- Butterworth. sito nizkega reda ne povzroča "zvonenja"

$$H(u,y) = \frac{1}{1 + \left(D(u,v)/D_0\right)^{2n}}$$

  - D(u,v): razdalja od točke (u,v) do centra
  - D_0: mejna frekvenca sita
  - n: red sita (1,2,3...)

Butterworthovo sito



D_0=5

D_0=15

D_0=30

Gaussovo sito

- Sito izračunano iz 2D Gaussove funkcije:

$$H(u,v) = e^{-D^2(u,v)/2D_0^2}$$

- Fourierjeva transf. je tudi Gaussova funkcija
  - konvolucijsko matriko dobimo neposredno iz Gaussove funkcije
- Gaussovo sito nima "zvonenja"
  - Butterwothovo sito 2 ali višjega reda je bolj ostro, vendar ima nekoliko zvonenja

Visoka sita

- Visokopasovno sito je v frekvenčnem prostoru inverzno nizkemu situ
  - $H_v(u,v) = 1 - H_n(u,v)$
- Visoka sita (idealno, Butterwoth. in Gaussovo) imajo podobne lastnosti kot nizka sita
- Visoka sita producirajo temne slike s poudarjenimi (svetlimi) robovi
  - za izostritev slike seštejemo filtrirano in originalno sliko