



Univerza v Ljubljani
Fakulteta za *elektrotehniko*

Obdelava in analiza slike I

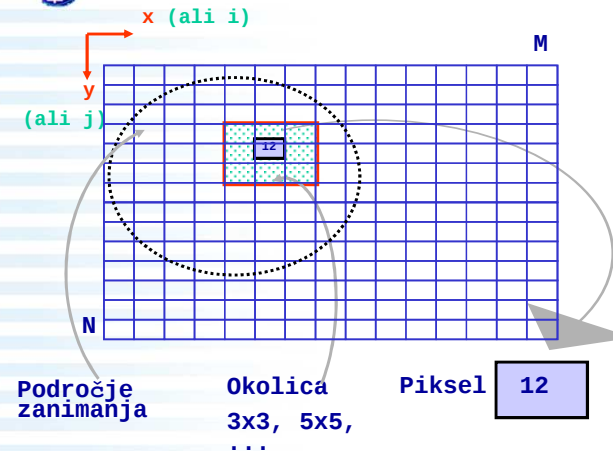
Stanislav Kovačič



<http://vision.fe.uni-lj.si/>



Digitalna slika $f(x,y)$



Iz vsebine

- Obdelava slike $\leftrightarrow$ analiza slike
- Točkovne operacije
- Histogrami
- Lokalne operacije, filtriranje
- Robovi, oglišča
- Hough transform



Obdelava slike

- (Pred)obdelava slike (Angl. Image Processing)
 - Izboljšanje slike (Angl. Image Enhancement)
Namen: napraviti sliko (še) boljšo - potrebujemo model izboljšanja.
 - Obnavljanje slike (Angl. Image Restoration)
Namen: napraviti sliko tako, kot je (naj bi) že bila - potrebujemo model poslabšanja.
 - Zgoščevanje slike (Angl. Image Compression)
Namen: na učinkovit - neredundanten način zapisati *vso* ali samo *bistveno* informacijsko vsebino slike.
- Področji obdelave slik (ter videa) in računalniški vid se znatno prepletati.
- Obdelava slik je sorodna obdelavi signalov (1D signali, 2D signali, ...)



Analiza slike

- Analiza slike (Angl. Image Analysis) je zelo široko področje, ki se prepleta in dopolnjuje z drugimi področji. Rezultat ni slika, ampak njena izpeljanka.
- Namen: opis slike z njenimi (bistvenimi) sestavnimi deli.
- Kvantitativna analiza (Npr. premer področja v sliki je 25mm)
- Kvalitativna analiza (Npr. Področje je večje od pričakovanega)
- Postopki analize:
 - Segmentacija slike (Angl. Image Segmentation)
 - Razčlenitev slike na področja (regije)
 - Odkrivanje/detekcija robov oz robnih točk (Angl. Edge detection)
 - Odkrivanje oglišč (Angl. Corner detection)
 - Odkrivanje ključnih točk (Angl. Key point detection)
 - Analiza teksture (Angl. Texture analysis)
 - Analiza barv
 -Skratka, odkrivanje in nadaljnja analiza "zanimivih" sestavin slike



Obdelava/analiza slike

- Točkovne operacije:
 - aritmetične in logične operacije: +, -, *, /, IN, ALI, ...
 - včasih nastopajo samostojno, še pogosteje pa so (sestavni) del sestavljenih operacij.
- Lokalne operacije:
 - linearno / nelinearno filtriranje "šuma".
- Globalne operacije:
 - take, ki so rezultat celotne vsebine slike (histogram)



(Pred)obdelava slike

Vhodna
slika

(Pre)dobdelava

Izhodna
slika

Naloga predobdelave:

- Napraviti sliko bolj primerno za nadaljnjo obdelavo
- V sistemih *strojnega vida* naj bi bilo *predobdelave* čim manj
- **Kakovost slike je potrebno zagotoviti že v času njenega nastanka**
- Čisto brez predobdelave običajno ne gre.
- V RV je namen predobdelave predvsem *zmanjšati nivo šuma* oz popraviti razmerje signal/šum.

Op.:

Ko govorimo o predobdelavi slike, mogoče preveč razmišljamo o tem, da bi bilo treba sliko popraviti.



Točkovne operacije

Vrednost slikovnega elementa (i,j) izhodne slike je odvisna (samo) od vrednosti slikovnega elementa (i,j) vhodne slike.

$$f_{izh}(i, j) = T(f_{vh}(i, j))$$

$f_{vh}(i, j)$... vhodna slika

$f_{izh}(i, j)$... izhodna slika

T ... transformacija

Na primer:

$$f_{izh}(i, j) = a f_{vh}(i, j) + b$$

a ... sprememba kontrasta

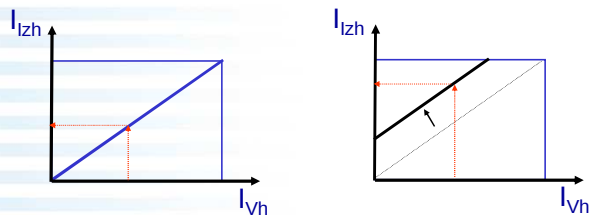
b ... sprememba svetlosti

Opomba: a in b bi se lahko od piksla do piksla spreminjala.



Točkovne operacije

(Linearno) Spreminjanje svetlosti: $I_{Izh} = I_{Vh} + k$



I_{Vh} - Vhodni nivoji (lestvica) svetlosti (sivosti)

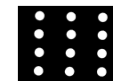
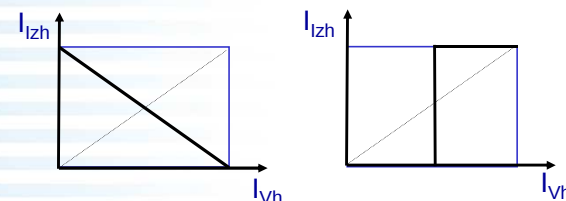
I_{Izh} - Izhodni nivoji svetlosti (sivosti)



Točkovne operacije

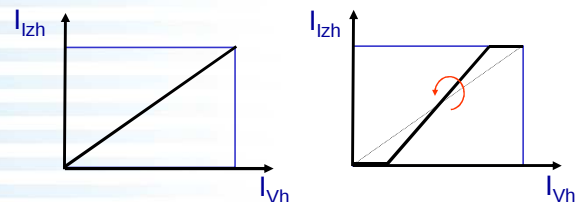
invertiranje

upravljanje



Točkovne operacije

(Linearno) Spreminjanje kontrasta: $I_{Izh} \approx k \cdot I_{Vh}$



Točkovne operacije

V splošnem:

$$I_{Izh} = (I_{Vh} - c) \frac{b - a}{d - c} + a$$

I_{Vh} - Vhodni nivoji svetlosti

I_{Izh} - Izhodni nivoji svetlosti

d - maksimalna vhodna vrednost, običajno manjša od 255

c - minimalna vhodna vrednost, običajno večja od 0

b - maksimalna izhodna vrednost, na primer 255

a - minimalna izhodna vrednost, na primer 0

Op.: predpostavljamo 8-bitne (nepredznačene) vrednosti

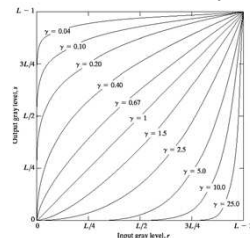


Točkovne operacije

"Gamma korekcija"

Ima korenine v nelinearni (eksponentni karakteristiki slikovnih senzorjev in prikazovalnikov, eksponentna odvisnost intenzitete od električnega toka). V resnici je tudi zaznavanje intenzitete človeškega očesa dokaj nelinearno.

$$s = cr^\gamma$$



Preslika ozko temno območje v širše (posvetli) ali obratno (potemni). c je navadno 1.



Točkovne operacije

Seštevanje slik:

popravimo razmerje signal / šum

Seštejemo N zaporednih slik (stacionarnega) prizora.

V primeru, da je šum aditiven, nekoreliran, Gaussov, s srednjo vrednostjo nič in enako porazdeljen, se da na ta način potlačiti šum za $\sqrt{N}$

$$I = \frac{I_1 + I_2 + \dots + I_N}{N}$$

Slika I je srednja vrednost slik

$$\sigma_I = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

Varianca šuma je zmanjšana N -krat

Standardni odklon je zmanjšan $\sqrt{N}$ -krat

Domača naloga:

Pokažite, da to res drži. To vam k izpitu „prinese“ 10 točk (od 100)



Točkovne operacije

• Seštevanje slik:

predvsem, da popravimo razmerje signal / šum
seveda tudi za kaj drugega...

• Odštevanje slik:

detekcija premika (spremembe)
odštevanje ozadja
(npr. zaradi nehomogenosti osvetlitve).



Histogramljenje

- Slikovni element obravnavamo kot naključno spremenljivko, npr. I .

- Naključna spremenljivka I ima zalogo vrednosti (npr. $[0..255]$),

- $I = \{i_1, i_2, \dots, i_k, \dots, i_N\}$, in

- porazdelitveni zakon (porazdelitev)

$$P(I) = P(I=i_k) = \{p_1, p_2, \dots, p_k, \dots, p_N\}; \sum_{i=1}^N p_i = 1.$$

- Vrednost slikovnega elementa $I(x,y)$ obravnavamo kot realizacijo oz eno opazovanje (opazovanje pod enakimi pogoji, neodvisno od ostalih opazovanj oz vrednosti pikslov) naključne spremenljivke I .
- Pogostost ponavljanja (pojavljanja) dane vrednosti piksla (število ponovitev piksla z enako vrednostjo) zabeležimo oz predočimo s histogramov, $h(I)$.

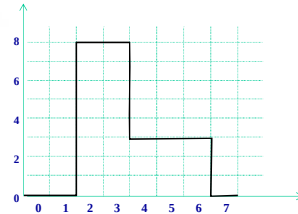
- Histogram (grafično) prikazuje frekvenco (ali relativno frekvenco) ponavljanja dane vrednosti iz zaloge n.s. I , in je kot tak pokazatelj oziroma „ocena“ (prave) porazdelitve dane n.s.

- Op.: histogram ni treba, da je normiran, lahko pa je.



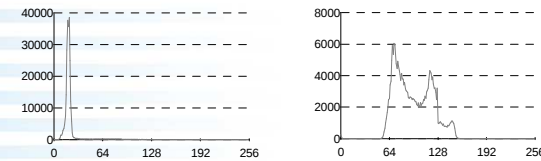
Histogram - primer

- Slikovni elementi („piksli“) zavzamejo vrednosti [0..7]
- Slikovnih elementov z vrednostmi 0, 1, 7 v sliki ni.
- Največ slikovnih elementov ima vrednost 2 ali 3.
- Njihova frekvenca je 8.
- Histogram ni normiran.
- V „sliki“ je 25 slikovnih elementov (0+0+8+8+3+3+0).
- Srednja vrednost $E(I) = ?$
- Varianca $E[(I - E(I))^2] = ?$



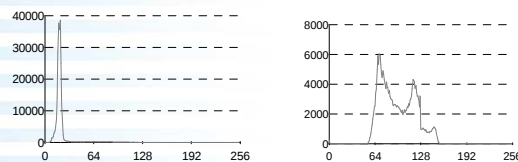
Histogrami - uporaba

- Popravljanje svetlosti, kontrasta, (u)pragovljenje, ...
- **Ravnanje histograma (Angl. Histogram equalization):**
Tiste svetlosti, ki so bolj prisotne, kvantiziraj bolj fino.
- **Določanje histograma (Angl. Histogram specification):**
Preslikaj svetlosti tako, da bodo ustrezno porazdeljene.
- **Upragovljenje (Angl. Thresholding)**
Loči predmet(e) od ozadja



Histogramljenje

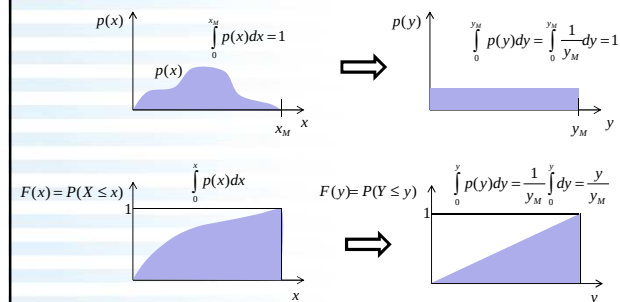
- Na podlagi histograma se da povedati marsikaj o kakovosti slike.
- Histogram slike (levo):
 - dinamično področje je slabo izkoriščeno
 - slika je temna
 - kontrast slike je majhen (oz slab)
 - prevladuje ena „sivina“ (en vrh)
- Histogram slike (desno):
 - dinamično področje je slabo izkoriščeno
 - slika je „v povprečju“ bolj svetla
 - prevladujeta dve sivini (dva vrhova)
 - kontrast je boljši kot v sliki s histogramom levo.



Ravnanje histograma

Ravnanje histograma, $X \rightarrow Y$; (Op.: zvezni n.s.)

T.j., iščemo preslikavo n.s. X v n.s. Y , ki nam naredi histogram raven.





Ravnanje histograma

Ravnanje histograma

$$X \mapsto Y$$

$$p(y)dy = p(x)dx$$

$$p(y) = c$$

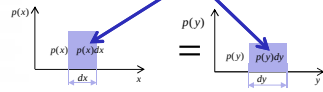
$$dy = \frac{1}{c} p(x)dx$$

$$\int_0^y dy = \frac{1}{c} \int_0^x p(x)dx \quad (\text{za zvezne n. spremenljivke})$$

$$y = \frac{1}{c} \int_0^x p(x)dx \quad (\text{kumulativna porazdelitev verjetnosti})$$

$$y_i = \frac{1}{c} \sum_{j=0}^i p(x_j) \quad (\text{v diskretnem primeru})$$

Enaki ploščini



Določanje histograma

Določanje histograma

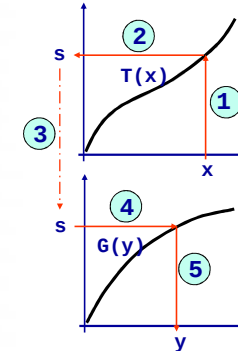
$$X \mapsto Y$$

$$p_x(x), p_y(y)$$

$$s = T(x) = \int_0^x p_x(x)dx$$

$$G(y) = \int_0^y p_y(y)dy = s$$

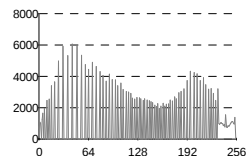
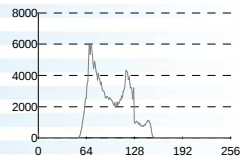
$$y = G^{-1}(s) = G^{-1}(T(x))$$



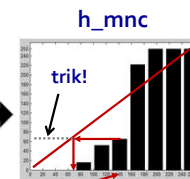
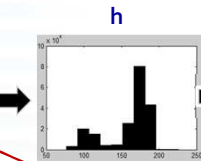
To se da realizirati v diskretnem primeru s pregledovalnimi tabelami.
Ravnanje histograma je poseben primer določanja histograma.



Ravnanje histograma - primer



Ravnanje histograma



1. Izračunaj histogram s 256 celicami iz slike "I" → "h"
2. Izračunaj kumulativni histogram "h_c"
3. Normiraj "h_c" z največjo vrednostjo "max(h_c)" → h_nc
4. Pomnoži "h_nc" z največjo izhodno intenziteto (npr. 255) → h_mnc
5. Uporabi "h_mnc" kot tabelo za intenzitete slikovnih elementov.



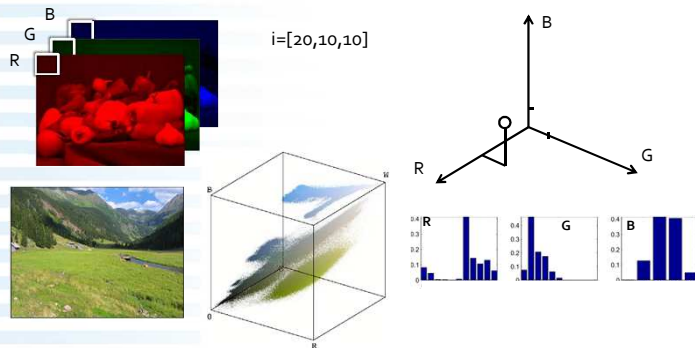
"Približno" enakomeren!



Barvni histogram

Sivinski histogram je 1D

Barvni histogram za barvno RGB sliko je 3D



Upragovljenje

Upragovljena - binarna slika loči "predmete od ozadja",
je podlaga za nadaljnjo analizo:

- "štetje" objektov (povezanih komponent)
- sledenje obroba
- analiza topolških lastnosti
- analiza velikosti, ploščine, dimenzij, usmeritve
- analiza oblike



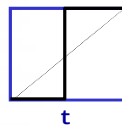
Upragovljenje

Iz sivinske slike dobimo "binarno" - dvovrednostno: predmet/ozadje

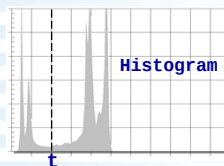
Vprašanje: kako določiti oz kam postaviti "prag"?



Vhod: Sivinska slika



Izhod: Binarna slika



Možnosti za prag:

V sredino med (dominantnima) vrhovoma

V dno sedla med vrhovoma

V najpoložnejši del sedla med vrhovoma

Entopijski kriterij (medsebojna informacija)

Minimizacija napake odločanja



Lokalne operacije

Operacije v "majhni okolici" slikovnega elementa, (3x3, 5x5,...)

- Zmanjšati nivo šuma
 - Gaussov šum
 - Impulzni šum ("poper in sol")

• Linarno filtriranje (Gaussov filter)

• Nelinearno filtriranje (medianin filter)

$$I_{Izh}(i, j) = \sum_k \sum_l h(k, l) \times I_{Vh}(i-k, j-l)$$

Konvolucijsko jedro (ali "maska")

• Opomba:

ker je h običajno simetričen (ali antisimetričen),
je konvolucija enakovredna korelaciji.



Lokalne operacije

Glajenje

- Povprečenje
("maska" 3x3, ipd.)

1	1	1
1	1	1
1	1	1

x 1/9

- Uteženo povprečenje

1	2	1
2	4	2
1	2	1

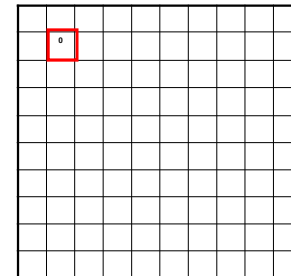
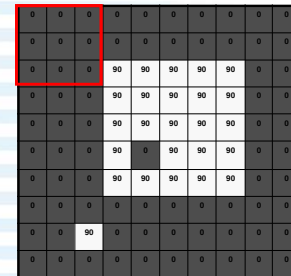
x 1/16



Primer konvolucije

$F[x, y]$

$G[x, y]$

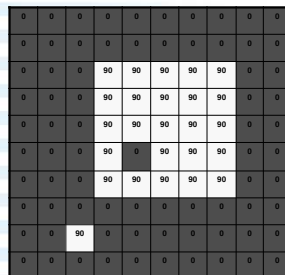


Source: S. Seitz



Primer konvolucije

$F[x, y]$



$g(x, y)$

1	1	1
1	1	1
1	1	1

$\frac{1}{9}$

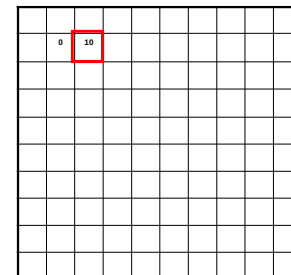
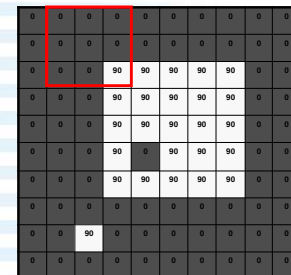
"box filter"



Primer konvolucije

$F[x, y]$

$G[x, y]$

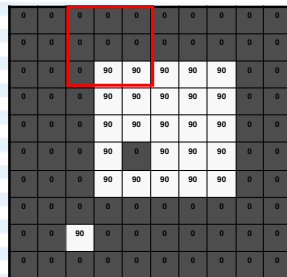


Source: S. Seitz

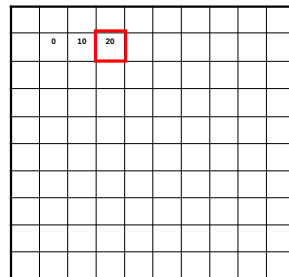


Primer konvolucije

$F[x, y]$



$G[x, y]$

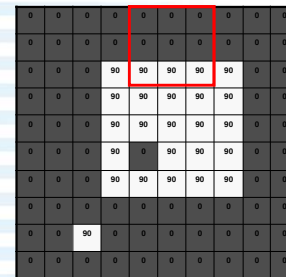


Source: S. Seitz

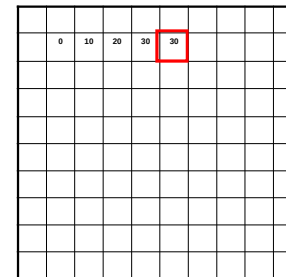


Primer konvolucije

$F[x, y]$



$G[x, y]$

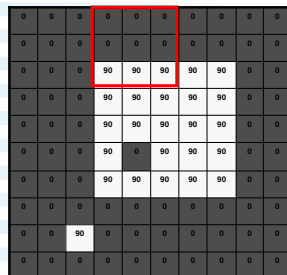


Source: S. Seitz

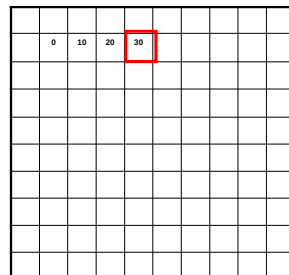


Primer konvolucije

$F[x, y]$



$G[x, y]$

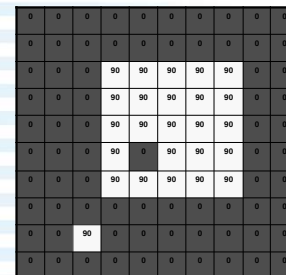


Source: S. Seitz

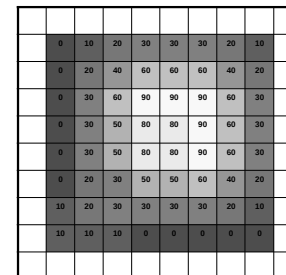


Primer konvolucije

$F[x, y]$



$G[x, y]$



Kako vsebina jedra vpliva na rezultat?

Source: S. Seitz

 **Primer filtra indentitete**



0	0	0
0	1	0
0	0	0

?

Original

Source: D. Lowe

 **Primer filtra: rezultat ?**



0	0	0
0	0	1
0	0	0

?

Original

Source: D. Lowe

 **Primer filtra indentitete**



0	0	0
0	1	0
0	0	0



Original

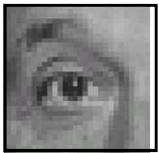
Filtrirana
(brez spremembe)

Source: D. Lowe

 **Primer filtra: rezultat ?**



0	0	0
0	0	1
0	0	0



Original

premik za en element

Source: D. Lowe



Primer filtra: rezultat ?



Original

$$\frac{1}{9}$$

1	1	1
1	1	1
1	1	1

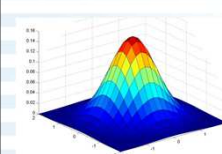
?

Source: D. Lowe



Gaussovo jedro

$$G_{\sigma} = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}}$$



0.003	0.013	0.022	0.013	0.003
0.013	0.059	0.097	0.059	0.013
0.022	0.097	0.159	0.097	0.022
0.013	0.059	0.097	0.059	0.013
0.003	0.013	0.022	0.013	0.003

5 x 5, $\sigma = 1$

- Konstantna vrednost pred eksponentom zagotavlja, da je vsota enaka 1 – vendar samo v zveznem prostoru. Ker ga diskretiziramo, ga moramo vedno posebej normirati!

Source: C. Rasmussen



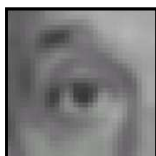
Primer filtra: rezultat ?



Original

$$\frac{1}{9}$$

1	1	1
1	1	1
1	1	1



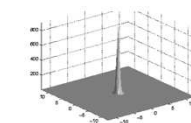
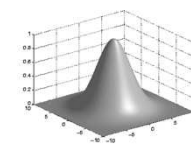
Megljenje - povprečenje s filtrom „box“

Source: D. Lowe



Lokalne operacije

- Gaussov filter oz Gaussovo jedro
- Smiselno je izkoristiti ločljivost jedra
 $g(x,y) * f(x,y) = g(x) * g(y) * f(x,y)$
- Najprej filtriramo po stolpcih
- Nato po vrsticah



1	4	6	4	1
---	---	---	---	---

x 1/16

Groba diskretna aproksimacija 1D Gausa
($\sigma = 1$)



Ponazoritev ločljivosti jedra

Košček slike

2D convolution
(center location only)

1	2	1
2	4	2
1	2	1

*

2	3	3
3	5	5
4	4	6

The filter factors
into a product of 1D
filters:

1	2	1
2	4	2
1	2	1

=

1
2
1

x

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

Perform convolution
along rows:

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

*

2	3	3
3	5	5
4	4	6

=

11		
18		
18		

Followed by convolution
along the remaining column:

Source: K. Grauman

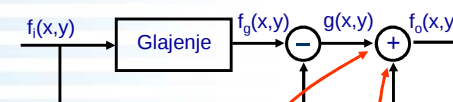


Lokalne operacije

• Ostrenje (angl. "unsharp masking")

Od originalne slike odštejemo njeno glajeno verzijo,

$$g(x,y) = f_i(x,y) - f_g(x,y)$$



K originalni sliki prištejemo določen delež $g(x,y)$

$$f_o(x,y) = (1-k) \cdot f_i(x,y) + k \cdot g(x,y)$$

Podoben rezultat dobimo s prištevanjem
ustreznega deleža Laplacea

1	1	1
1	-8	1
1	1	1



Lokalne operacije

- Glajenje zamegli robove
- Ostrenje (angl. "unsharp masking")
Zmanjšamo vpliv glajenja na robove
- Nelinearno filtriranje - mediana
- Zavedati se moramo, da filtriranje lahko zamakne robove



Lokalne operacije

• Filtriranje z mediano

vrednost slikovnega elementa nadomestimo z mediano
v izbrani okolici, npr. 3x3, 5x5, ipd.

1	5	5
4	1	4
4	5	4

okolica slikovnega elementa

- mediana: 1 1 4 4 4 5 5 5

1	5	5
4	4	4
4	5	4

dobro odstranjuje impulzni šum



Detekcija robov

Detekcija robnih točk

- spremembe svetlosti (vrednosti) slike

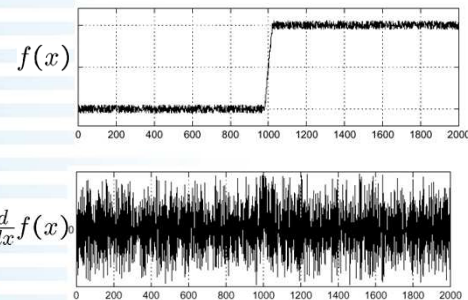


Robna točka

- robne točke še niso obris!



Šum



Odvajanje ojači visokofrekvenčni šum,
zato pred odvajanjem filtriramo

Source: S. Seitz



Detekcija robov

Robni operatorji

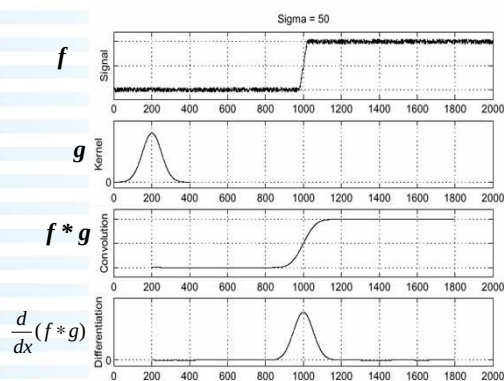
- Večina operatorjev deluje na podlagi (numeričnega) odvajanja
 - ✓ Računanje prvih odvodov (gradienta) slike
 - ✓ Računanje drugih odvodov (Laplace) slike (tudi LOG, ali njegova aproksimacija DOG)
- Model robov (Hueckel)

Splošen postopek

- 1) Filtriranje z Gaussovim filtrom primerne širine
- 2) Numerično odvajanje (npr. računanje gradienta)
- 3) Upragovljenje (po potrebi tanjšanje)



Zmanjšanje vpliva šuma



Source: S. Seitz



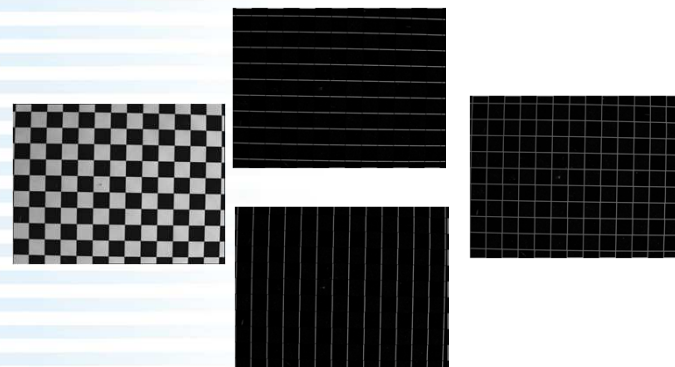
Iskanje robov

Nekateri najbolj znani robni operatorji

- Robertsov operator
- Prewittov operator
- **Sobelov operator**
- Cannyjev operator
- Iskanje prehodov skozi nič (Laplace Gaussa - LoG)
- Razlika Gaussov (DOG - Diff. of Gaussians)



Iskanje robov



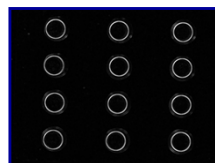
Sobelov operator



Vhod:
Sivinska slika

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

Sobel



Izhod:
Slika robnih točk

Op.: Sobelov operator je aproksimacija filtriranja s trikotnim filtrom in odvajanja.

1		
2	-1	+1
1		



Nekateri drugi operatorji

Roberts

+1	0
0	-1

G_x

0	+1
-1	0

G_y

Prewitt

-1	-1	-1
1	1	1

G_x

-1		1
-1		1
-1		1

G_y

Izbira robnega operatorja ne sme odločilno vplivati na delovanje sistema.



Canny-jev operator

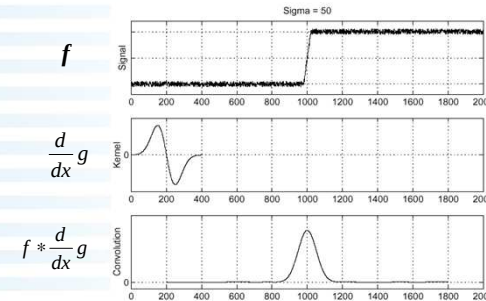
Kriteriji (J. Canny, 1983):

- Dober **odziv** na rob v prisotnosti šuma
ugodno razmerje **signal/šum**
- Dobra **lokalizacija** - maksimalen odziv na položaju
pravih robov
- En odziv na robno točko



Odvajanje in konvolucija

$$\frac{d}{dx}(f * g) = f * \frac{d}{dx}g$$



Source: S. Seitz



Canny-jev operator

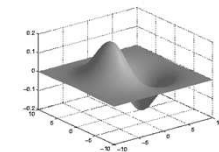
Postopek

- Filtriranje z Gaussovim filtrom **primerne širine**
- Odvajanje v smeri x in y
- Iskanje lokalnih maksimumov - NMS
(NMS, angl. Non-Maxima Suppression)
- Upragovljenje s histerezo - HT
(z dvema pragovima, zgornjim in spodnjim)

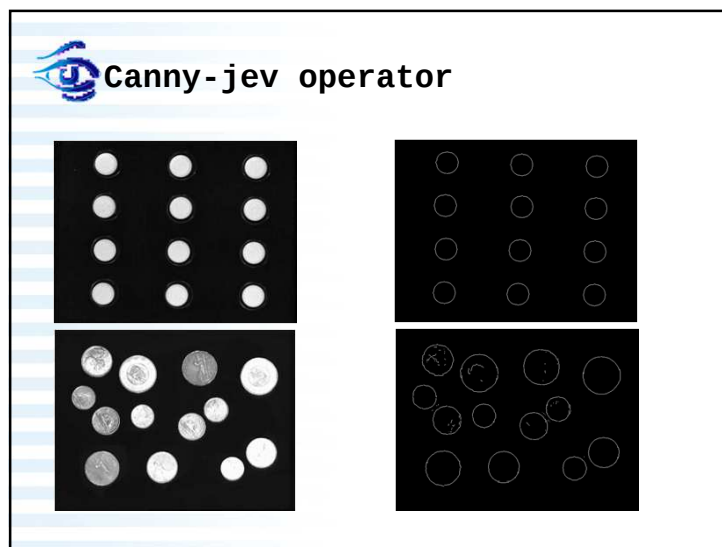
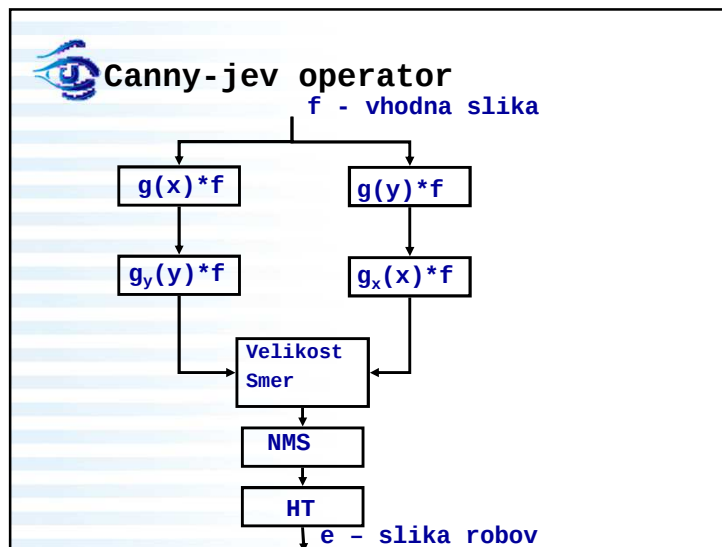


Canny-jev operator

- Namesto slike odvajamo filter
- Filtriramo z odvodom filtra
- Upoštevamo še lastnost ločljivosti filtra



$$\begin{aligned} e(x, y) &= \nabla(g(x, y) * f(x, y)) = \begin{bmatrix} \nabla_x g(x, y) * f(x, y) \\ \nabla_y g(x, y) * f(x, y) \end{bmatrix} = \\ &= \begin{bmatrix} g_x(x, y) * f(x, y) \\ g_y(x, y) * f(x, y) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_x(x) * g(y) * f(x, y) \\ g(x) * g_y(y) * f(x, y) \end{bmatrix} \end{aligned}$$



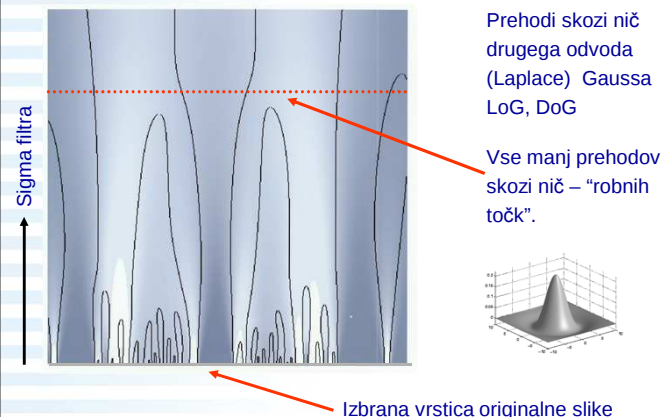


Večločljivostni pristop

- Filter kakšne širine naj vzamemo?
 - Sliko filtriramo z več Gaussovimi filtri različnih širin
- Dobimo isto sliko na različnih stopnjah ločljivosti
- Poiščemo robne točke na vseh stopnjah ločljivosti
- Združimo rezultate z vseh stopenj ločljivosti



Prostor ločljivosti



Prostor ločljivosti

- Ko postane širina (parameter) Gaussovega filtra zvezna spremenljivka, govorimo o prostoru ločljivosti.

$$L(x, y, \sigma) = g(x, y, \sigma) * f(x, y)$$
- Večločljivostni pristopi in prostor ločljivosti ("scale space") imajo številne primere uporabe v:
 - Kodiranju slik
 - Primerjanju slik
 - Razgradnji slik
- Tvorci teorije:

P. Burt, E. Adelson, A. Witkin, P. Perona, J. Malik, T. Lindeberg, J. Koenderink, J. Weickert, ...



Prostor ločljivosti

LoG

$$L(x, y, \sigma) = \Delta g(x, y, \sigma) * f(x, y)$$

- Ugotovitve:
 - prehodi skozi nič (v splošnem „strukture“) z naraščanjem sigma (manjšanjem ločljivosti) izginjajo
 - Novi prehodi skozi nič se ne pojavljajo
 - Pomembnejše strukture z večanjem sigma ostajajo
 - Pri večjih sigma je prehode lažje **detektirati** (jih je manj)
 - Pri manjših sigma je **lokalizacija** prehodov natančnejša.
- Namesto LoG lahko uporabimo razliko gaussov – DoG

$$\Delta g(x, y, \sigma) \approx g(x, y, \sigma) - g(x, y, k\sigma); \quad (k \text{ npr } 1.8)$$



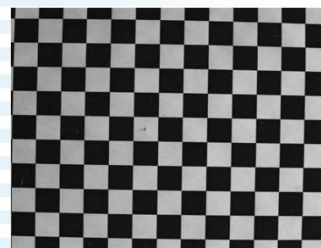
Iskanje oglišč (kotov)

$$C(x,y) = \begin{bmatrix} \sum e_x^2 & \sum e_x e_y \\ \sum e_x e_y & \sum e_y^2 \end{bmatrix}$$

- Izračunamo odvode (e) v smeri x in y
- Izračunamo matriko C v neki okolici točke
- Sedaj imamo matriko C
- Izračunamo lastni vrednosti matrike C
- Kaj nam lastni vrednosti povedo?



Iskanje oglišč (kotov)



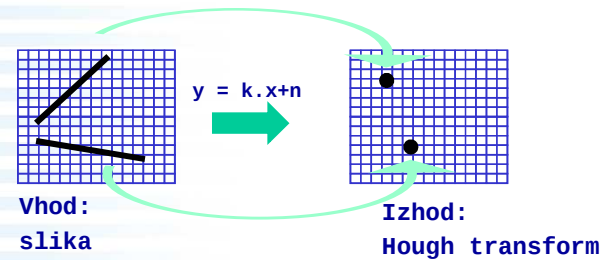
Iskanje oglišč (kotov)

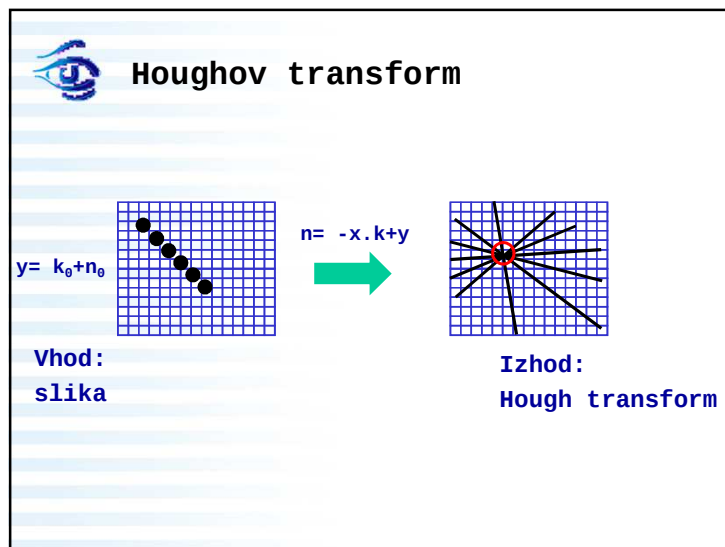
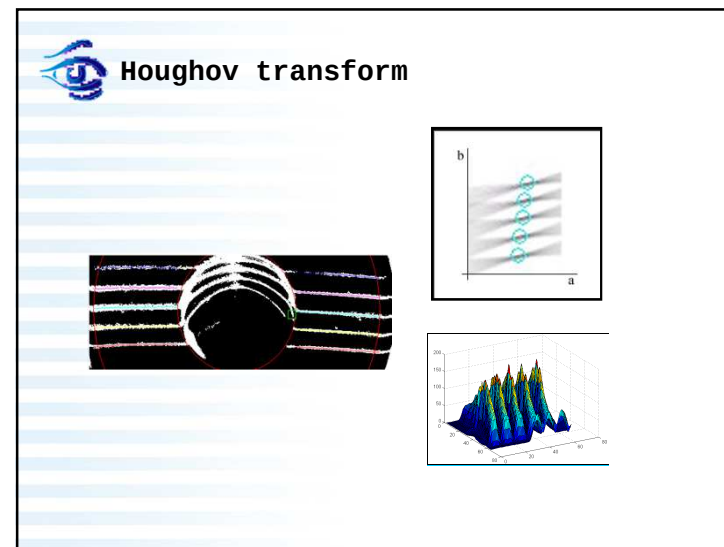
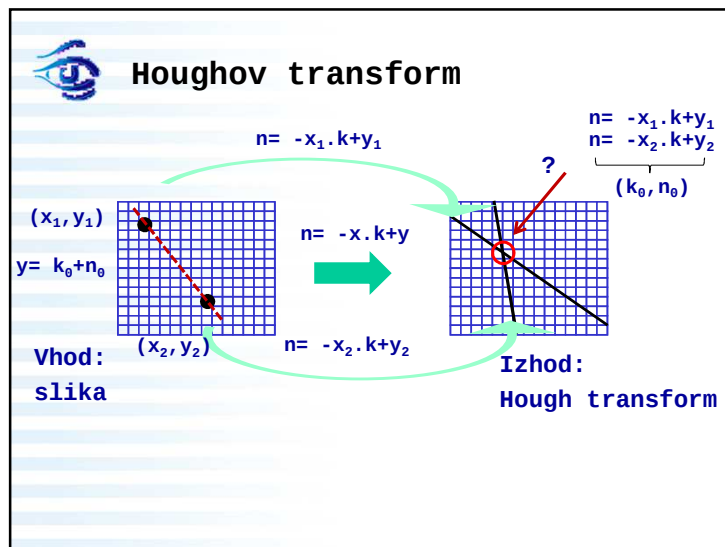
$$C(x,y) = M \Lambda M^T = M \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix} M^T$$

Točka (x,y) je oglišče, če sta obe lastni vrednosti dovolj veliki.
Zakaj?



Houghov transform





Houghov transform

Houghov tranform temelji na splošnem načelu „glasovanja“
H-tranform ni omejen zgolj na ravne strukture - premice
H-tranform deluje z vsako parametrično strukturo - krivuljo,
premise, krogi, ...

$$f(x, y) = f(x, y, k, n) = f(x, y, q) = k \cdot x + n - y = 0;$$

$$f(x, y) = f(x, y, x_0, y_0, r) = f(x, y, q) = (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 - r^2 = 0;$$

Algoritem:

- Postavi matriko H („akumulatorje“) na nič
- Za vsako točko slike (x, y)
 - povečaj akumulatorje H za katere velja $f(x, y, q) = 0$
- $H(q) = H(q) + 1$; //ali za Δ
- Poišči lokalne maksimume v H

Opomba: za iskanje premic je prikladnejša normalna oblika enačbe
 $\rho = x \cos(\theta) + y \sin(\theta)$



Literatura

- R. Gonzalez, R. Woods, Digital Image Processing, Prentice Hall, 2002.
- M. Sonka, V. Hlavac, R. Boyle, Image Processing, Analysis, and Machine Vision, PWS Publishing, 1999.
- E. Trucco, A. Verri, Introductory Techniques for 3D Computer Vision, Prentice Hall, 1998.
- HyperMedia Image Processing Reference
http://www.cee.hw.ac.uk/hipr/html/hipr_top.html
- Matrox Inspector
- MatLab