
Képfeldolgozás

4. előadás

Konvolúció, élkereső eljárások. Fotometriai alapok

Benedek Csaba és Szirányi Tamás

Ismétlés: konvolúciók

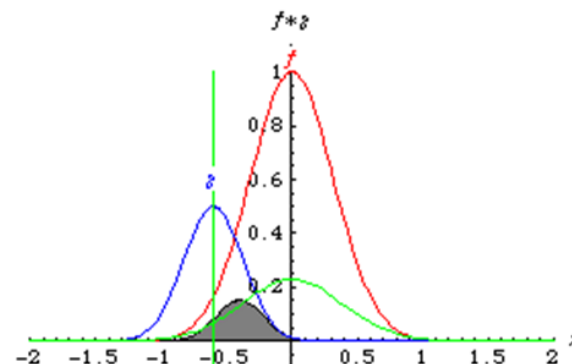
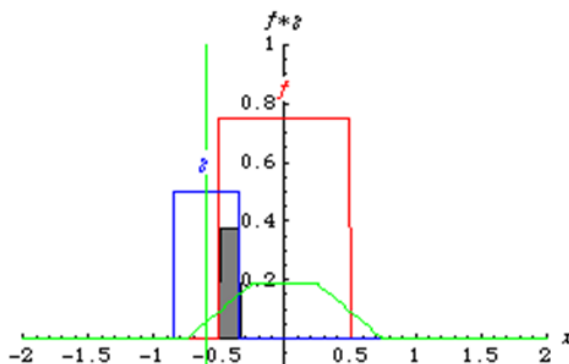
- <http://mathworld.wolfram.com/Convolution.html>
- Súlyozott összeg-képzés

$$(f * g)(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau)g(t - \tau)d\tau$$

$$f * g = F \cdot G$$

(Fourier térben szorzás)

$$G(m_1, m_2) = \sum_{n_1=-\infty}^{\infty} \sum_{n_2=-\infty}^{\infty} K(n_1, n_2)F(m_1 - n_1, m_2 - n_2)$$

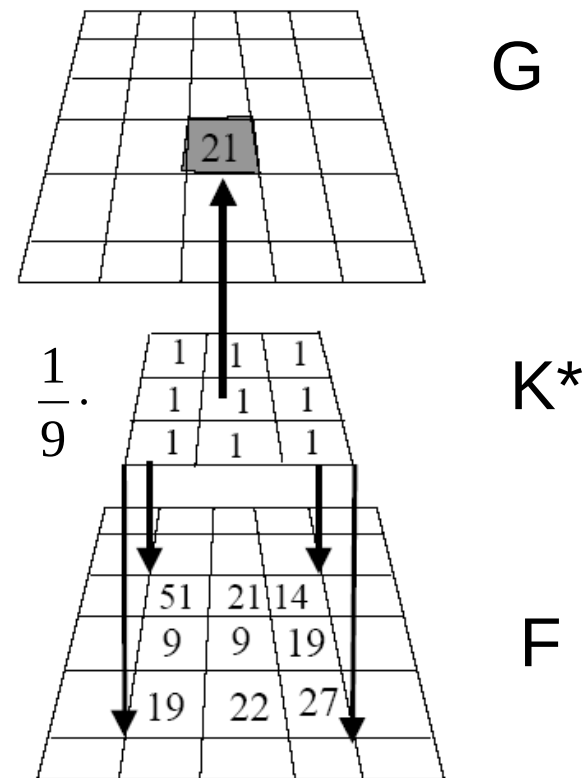


Konvolúciók

- Súlyok mátrixban, egyszerű tárolás, műveletek

$$\begin{aligned}
 G(m_1, m_2) &= \\
 &= \sum_{n_1=-r_1}^{r_1} \sum_{n_2=-r_2}^{r_2} K(n_1, n_2) F(m_1 - n_1, m_2 - n_2) = \\
 &= \sum_{n_1=-r_1}^{r_1} \sum_{n_2=-r_2}^{r_2} K^*(n_1, n_2) F(m_1 + n_1, m_2 + n_2)
 \end{aligned}$$

„Kernel” Eredeti kép



Itt K egy 3x3-as kernel: $r_1=r_2=1$

K^* a K kernel 180 fokos elforgatottja:

K:

a_{-1-1}	a_{0-1}	a_{1-1}
a_{-10}	a_{00}	a_{10}
a_{-11}	a_{01}	a_{11}

K^* :

a_{11}	a_{01}	a_{-11}
a_{10}	a_{00}	a_{-10}
a_{1-1}	a_{0-1}	a_{-1-1}

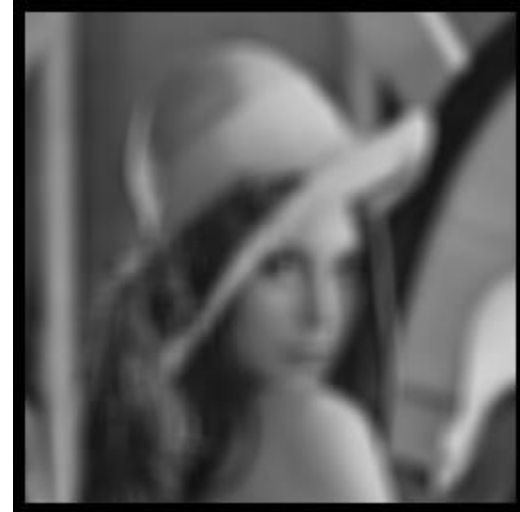
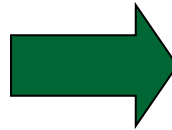
Konvolúciók

- Alkalmazás: szűrések
 - Elmosások - zajszűrések
 - élszűrések (gradiens), élkiemelések
- Konvolúciós mátrix együtthatóinak összege:
 - 1: átlagoló típus
 - 0: élszűrő típus

$$K=1/9 \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

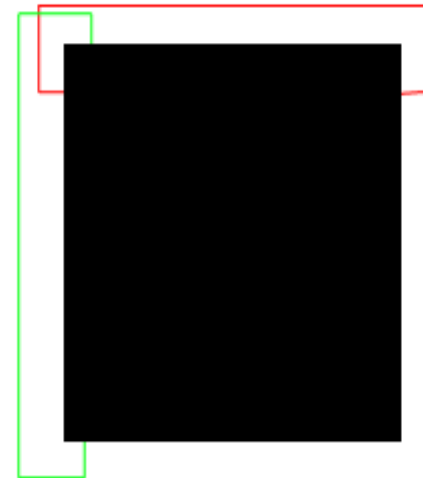
Egyszerű (átlagolós) elmosás



Konvolúciós kernel mérete: 11x11

Konvolúciók

- Kép szélein kicsúszás – különféle megoldások
 - oldal-tükrözés
 - körbejárás
 - konstanssal feltöltés
 - stb.



Konvolúció-tulajdonságok

- Felcserélhetőség, linearitás
 - $f * g = g * f$
 - $f * (g * h) = (f * g) * h$
 - $f * (g + h) = f * g + f * h$
 - $a(f * g) = (af) * g = f * (ag)$
 - $F(f * g) = F(f)F(g) \rightarrow$ Fourier térben szorzás

Műveleti igény:

- k_s kernelméret és P képméret (itt pixelben mért terület mindkettő) esetén általában $\sim k_s P$ db művelet kell.
- Nagy kernelméret esetén a művelet végrehajtása lassú lehet (lásd gyakorlat)

Konvolúciók – műveleti igény csökkentés közelítő megoldással

- Szeparálhatóság – műveleti igény csökkentése
 - $(2r_1+1) \times (2r_2+1)$ és $(2r_3+1) \times (2r_4+1)$ –es méretű kernellekkel végzett konvolúciók egymásutánja megfeleltethető egy $[2(r_1+r_3)+1] \times [2(r_2+r_4)+1]$
 - 5×7 és 7×13 konv = 11×19 konv
 - Műveleti igény 2 egymásután konvolúciónál:
 $(5 \times 7 + 7 \times 13)P = 126P$ (P a pixelek száma)
 - 1 „nagy” kernelű konvolúciónál: $(11 \times 19)P = 209P$
 - $7 \times 7 \rightarrow 49$, $3 \times 3 + 5 \times 5 \rightarrow 34$ (pl. Prewitt, blur, stb.)
- Kérdés: egy nagy kernel hogy dekomponálható két kisebb kernelre? (elmosásoknál közelítés is lehet elég)

Egyszerű (átlagoló) elmosás műveleti igényének csökkentése

- Integrálkép: köztes reprezentáció

$$f \rightarrow I_f$$

$$I_f(x, y) = \sum_{i=1}^x \sum_{j=1}^y f(i, j)$$

f

1	0	2	1
2	0	1	0
3	1	1	0
1	0	1	4

- Pl: $I_f(3,3) = a$ pixelek értékeinek összege: 11

1	0	2	1
2	0	1	0
3	1	1	0
1	0	1	4

I_f

1	1	3	4
3	3	6	7
6	7	11	12
7	8	13	18

I_f számítása: dinamikus programozással $\sim P$ időben:

Segéd-segédkép: $t(x, y) = \sum_{j=1}^y f(x, j)$

$$t(x, 1) := f(x, 1), \quad x = 1 \dots w \qquad t(x, y) = t(x, y-1) + f(x, y)$$

$$I_f(1, y) := t(1, y), \quad y = 1 \dots h$$

$$I_f(x, y) = I_f(x-1, y) + t(x, y)$$

$$4 + 7 = 11$$

f :	1	0	2	1
	2	0	1	0
	3	1	1	0
	1	0	1	4

t :	1	0	2	1
	3	0	3	1
	6	1	4	1
	7	1	5	5

I_f	1	1	3	4
	3	3	6	7
	6	7	11	12
	7	8	13	18

Integrálkép felhasználása

- Tetszőleges téglalap által lefedett pixelek értékeinek összege az integrálkép segítségével 3 db additív művelettel számítható:

$$\sum_{i=a}^c \sum_{j=b}^d f(i, j) = I_f(c, d) - I_f(a-1, d) - I_f(c, b-1) + I_f(a-1, b-1)$$

Megj: itt a definíció szerint $I_f(0, y) = 0$, és $I_f(x, 0) = 0$, minden x és y -ra

- Példa ($a=2$, $b=2$, $c=3$, $d=3$): $11-6-3+1=3$

f

1	0	2	1
2	0	1	0
3	1	1	0
1	0	1	4

I_f

1	1	3	4
3	3	6	7
6	7	11	12
7	8	13	18

Integrálkép felhasználása simításhoz (egyszerű átlagolás esetén)

$$\tilde{f}(x, y) = \frac{1}{(2r+1)^2} \sum_{i=-r}^r \sum_{j=-r}^r f(x+i, y+j) \quad \begin{array}{l} (2r+1)^2 \text{ összeadás} \\ + 1 \text{ osztás} \end{array}$$

Pl: $r=5 \rightarrow$ Teljes képre a műveleti igény $\sim 122P$

$$\tilde{f}(x, y) = \frac{1}{(2r+1)^2} (I_f(x+r, y+r) - I_f(x-r-1, y+r) - \\ - I_f(x+r, y-r-1) + I_f(x-r-1, y-r-1)) \quad \begin{array}{l} 3 \text{ összeadás} \\ + 1 \text{ osztás} \end{array}$$

Pl: $r=5 \rightarrow$ Teljes képre a műveleti igény $\sim 2P+4P=6P$

Szorgalmi feladat (ez most nem konvolúció)

- Írj hatékony lokális kontrasztszámító algoritmust az integrálkép felhasználásával! A kontraszt a $(2r+1)^2$ szomszédságban található pixelek szórásaként számítandó.



$$\sigma^2(x, y) = \frac{1}{(2r+1)^2} \sum_{i=-r}^r \sum_{j=-r}^r [f(x+i, y+j) - \tilde{f}(x, y)]^2$$

$$\text{ahol: } \tilde{f}(x, y) = \frac{1}{(2r+1)^2} \sum_{i=-r}^r \sum_{j=-r}^r f(x+i, y+j)$$

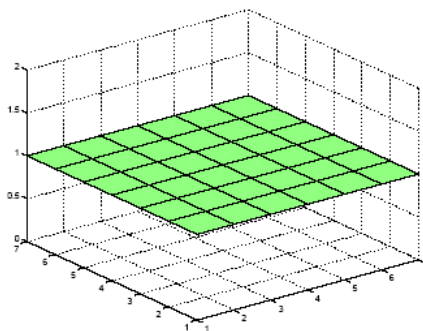
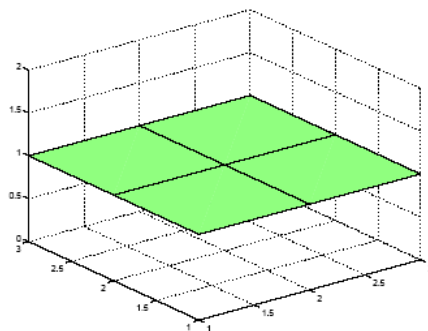
Segítség:

$$\sigma^2(x, y) = \left\{ \frac{1}{(2r+1)^2} \sum_{i=-r}^r \sum_{j=-r}^r [f(x+i, y+j)]^2 \right\} - [\tilde{f}(x, y)]^2$$

Konvolúció alkalmazásai

- Élszűrések (élkeresés)
- Élkiemelések (crispening, sharpening)
- Zajszűrések
 - egyenletes, Gauss (impulzusra nem jók)

Konv. példák - elmosás - blur



$$K=1/9 * \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

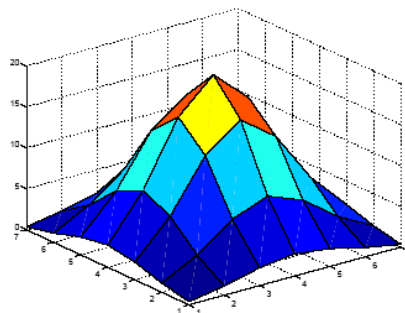
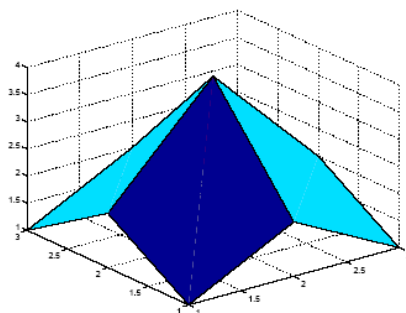


Input Image



Average blur

Konv. példák - elmosás – Gauss



$$K = \frac{1}{123} * \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 2 & 1 \\ 2 & 7 & 11 & 7 & 2 \\ 3 & 11 & 17 & 11 & 3 \\ 2 & 7 & 11 & 7 & 2 \\ 1 & 2 & 3 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$



Input Image



Gaussian blur

Elmosások

- Elmosásnak meg kell tartania az átlagot
 - a konvolúciós együtthatók összege 1
- Nem okozhat eltolódásokat
 - legyen szimmetrikus
- Izotróp
 - irány-érzéketlen, minden irányban ugyanolyan hatású

Elmosások

Átlagolás (box filter):

Erős élből lankás élt csinál(hat)

$$\begin{array}{ccccccc}
 & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & \\
 \dots & 0 & 0 & 1 & 1 & \dots & \\
 \dots & 0 & 0 & 1 & 1 & \dots & \\
 \dots & 0 & 0 & 1 & 1 & \dots & \\
 & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & &
 \end{array}
 * \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} =
 \begin{array}{ccccccc}
 & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & \\
 \dots & 0 & 1/3 & 2/3 & 1 & \dots & \\
 \dots & 0 & 1/3 & 2/3 & 1 & \dots & \\
 \dots & 0 & 1/3 & 2/3 & 1 & \dots & \\
 & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & &
 \end{array}$$

eltüntethet
azonos
frekv. mintát

$$\begin{array}{ccccccc}
 & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \\
 1 & -2 & 1 & 1 & -2 & 1 & \dots \\
 1 & -2 & 1 & 1 & -2 & 1 & \dots \\
 1 & -2 & 1 & 1 & -2 & 1 & \dots \\
 & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots &
 \end{array}
 * \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} =
 \begin{array}{ccccccc}
 & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\
 & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots &
 \end{array}$$

Minta erősségét
csökkenti

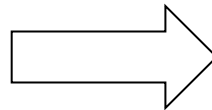
$$\begin{array}{ccccccc}
 & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & \\
 \dots & 1 & -1 & 1 & -1 & \dots & \\
 \dots & 1 & -1 & 1 & -1 & \dots & \\
 \dots & 1 & -1 & 1 & -1 & \dots & \\
 & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & &
 \end{array}
 * \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} =
 \begin{array}{ccccccc}
 & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & \\
 \dots & -1/3 & 1/3 & -1/3 & 1/3 & \dots & \\
 \dots & -1/3 & 1/3 & -1/3 & 1/3 & \dots & \\
 \dots & -1/3 & 1/3 & -1/3 & 1/3 & \dots & \\
 & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & &
 \end{array}$$

Zajszűrés

Zajos kép



5x5 blur



Élkeresés

Élkeresés - Tartalom

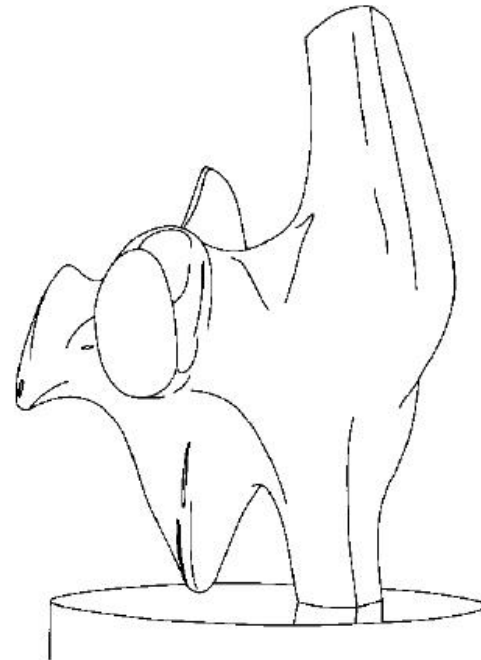
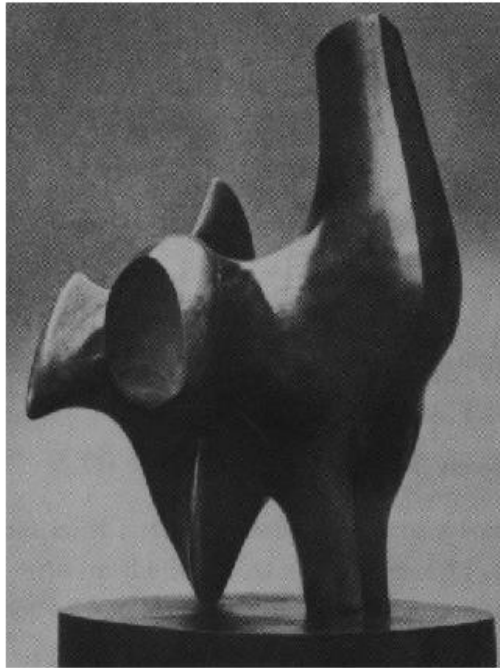
- Élkeresés – célok
- Módszerek áttekintése
- Elsőrendű módszerek
- Másodrendű módszerek
- Canny algoritmus

Élkeresés célok

- Cél: objektumok kontúrjainak meghatározása
- Él-pontok: a fényesség ugrásszerűen változik



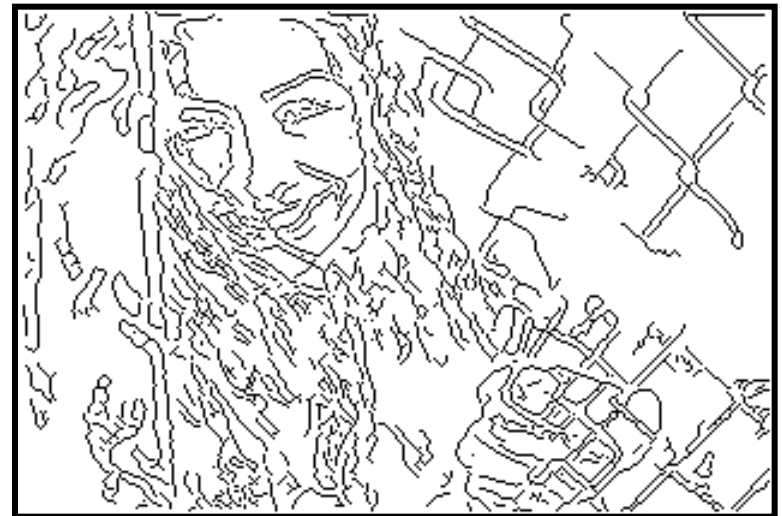
Éldetekció



- Cél: a 2D képből görbék kinyerése
 - Szegmentálás, karc-szűrés, felismerések
 - A pixeleknél kompaktabb reprezentálása a tartalomnak

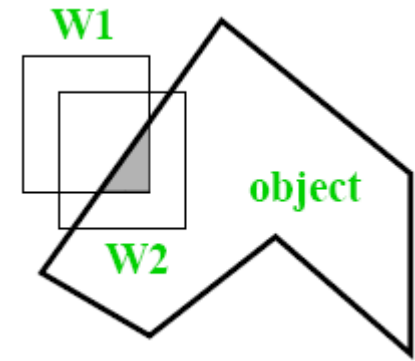
Élkeresés célja

- Képi információk, struktúra kinyerése
 - Sarkok, vonalak, határok
- Nem mindig egyszerű



Élkeresés

- „Jó” élszűrő filter tulajdonságai:
 - homogén területeken (konstans intenzitás) nem ad választ
 - izotróp: a szűrő válasza független az él irányától (~ minden élt megtalál)
 - jó detekció:
 - minél kevesebb zaj által okozott hamis élt találjon
 - minél kevesebb valódi élt hagyjon ki
 - jó lokalizáció: a detektált élek minél közelebb legyenek a valódi élekhez



Alapstruktúrák

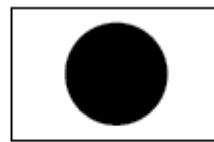
- Él: drasztikus intenzitás-váltás (ugrás-szerű, folyamatos)
- Vonal: vékony, hosszú, kb. azonos szélességű, azonos intenzitású tartomány
- Folt: zárt alakzatot képező azonos intenzitású régió
- Sarok: kontúrvonal/él törése/irányváltása



Edge



Line

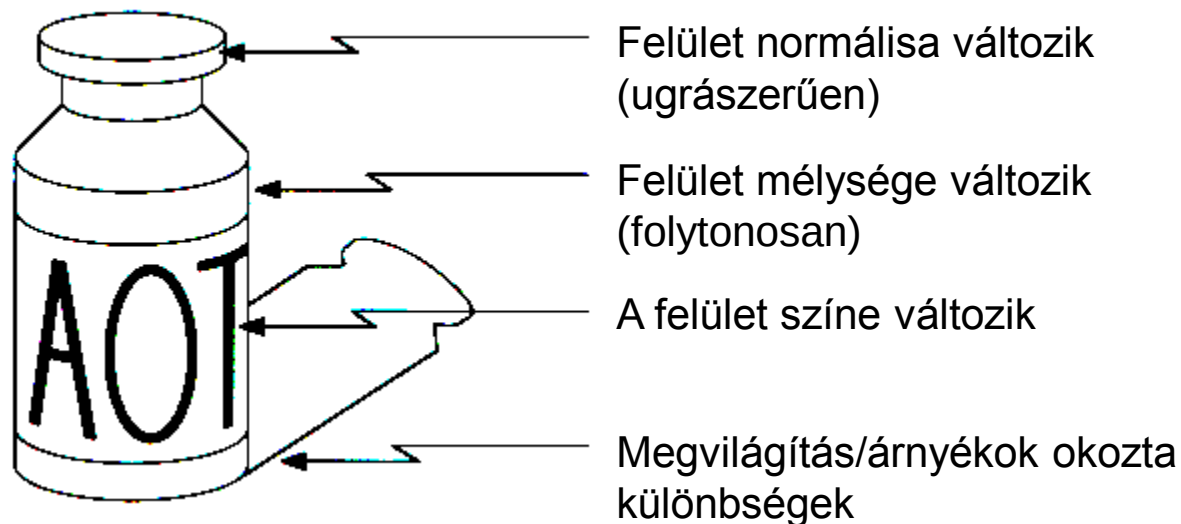


Blob



Corner

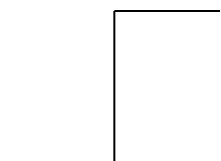
Élek eredete



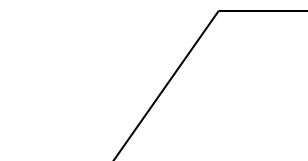
- Változatos jelenségek okozhatnak „éleket”

Élek típusai

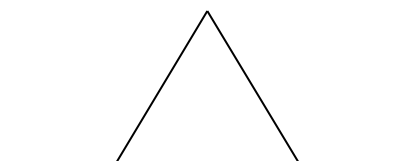
Intenzitásfüggvény a kép egy adott egyenes mentén:



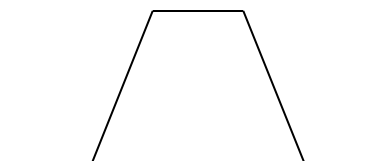
lépcső,



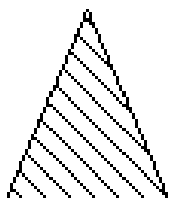
rámpa



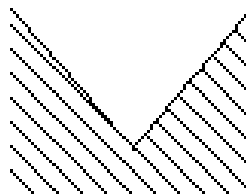
háztető



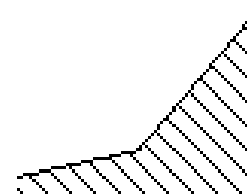
vonal



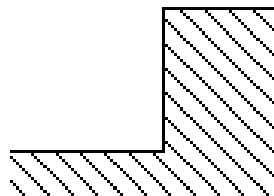
(a) Convex roof edge



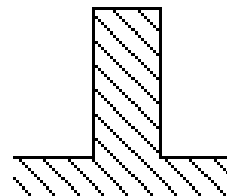
(b) Concave roof edge



(c) Concave ramp edge



(d) Step edge

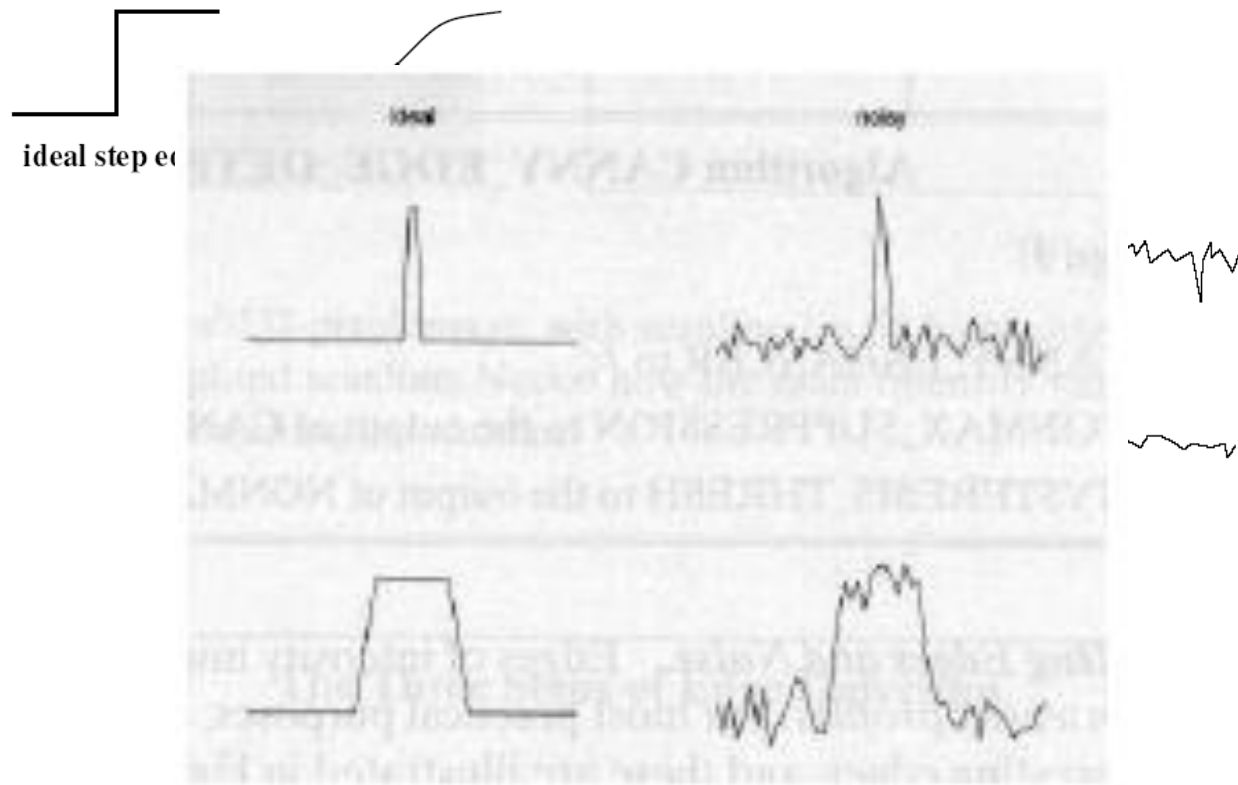


(e) Bar edge

Élek zajosságának jellemzése

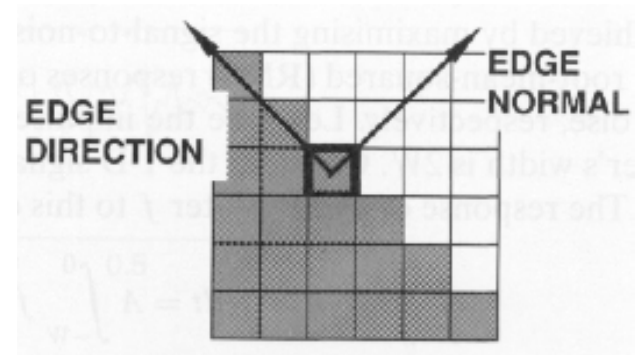
SNR: magasság/zajszórás

$$SNR_{edge} = \frac{h}{\sigma}$$



Élek jellemzői

- Normális: vektor ami merőleges az élre és a legnagyobb intenzitás-változás irányába mutat
- Irány: a vonal irányába mutató vektor
- Helyzet, középpont
- Erősség: intenzitásának aránya a környező kontraszttal



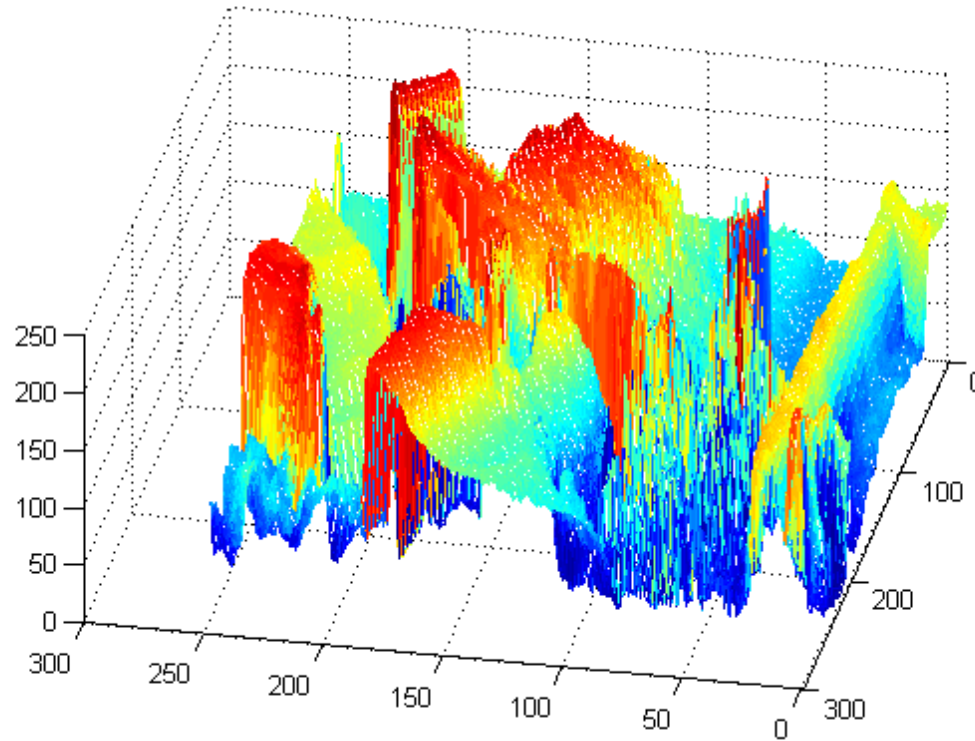
Élkeresés - módszerek

- Kép reprezentáció: szürkeségi érték az x és y koordináta függvénye (fényesség-függvény)

$$f(x, y)$$

- Élkeresési módszerek
 - Csak gradiens alapú:
 - Elsőrendű: a fényesség-függvény első deriváltját vizsgálja
 - Másodrendű: a fényesség-függvény második deriváltját vizsgálja
 - Összetett
 - Pl: Canny

Kép-kétváltozós függvény megfeleltetés



Elsőrendű módszerek/1

- Gradiensvektor

$$\nabla f = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} & \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix}^T$$

- A gradiensvektor hossza

$$\|\nabla f\| = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}$$

- x szerinti parciális derivált közelítése

$$\left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{i,j} \cong \frac{f(i+1, j) - f(i-1, j)}{2v}$$

v: két szomszédos pixel
középpontjának távolsága

Elsőrendű módszerek/2

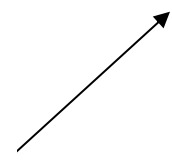
- x irányú „gradienskép”

$$d^x(i, j) = f(i+1, j) - f(i-1, j)$$

- Megfelelő konvolúciós kernel:

-1	0	1
----	---	---

- Zajérzékenység – y irányú szűrés

<table><tr><td>-1</td><td>0</td><td>1</td></tr></table>	-1	0	1	$\otimes$	<table><tr><td>1</td></tr><tr><td>1</td></tr><tr><td>1</td></tr></table>	1	1	1	=	<table><tr><td>-1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>-1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>-1</td><td>0</td><td>1</td></tr></table>	-1	0	1	-1	0	1	-1	0	1		X irányú PREWITT operátor
-1	0	1																			
1																					
1																					
1																					
-1	0	1																			
-1	0	1																			
-1	0	1																			

Elsőrendű módszerek/3

- y irányú gradiensképzés

$$d^y(i, j) = f(i, j+1) - f(i, j-1)$$

- y irányú PREWITT kernel

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

$$\partial/\partial y$$

Elsőrendű módszerek/4

- „Gradienskép”:

$$\|\nabla f\|_{ij} \propto d(i, j) = \sqrt{[d^x(i, j)]^2 + [d^y(i, j)]^2}$$

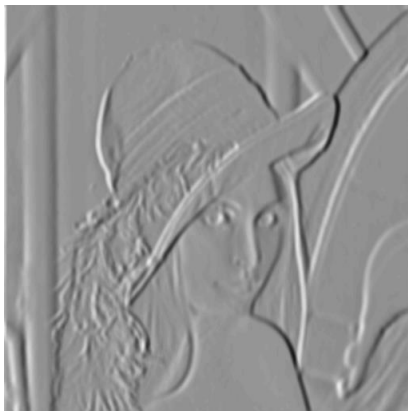
- Egyszerűsítés:

$$d(i, j) = |d^x(i, j)| + |d^y(i, j)|$$

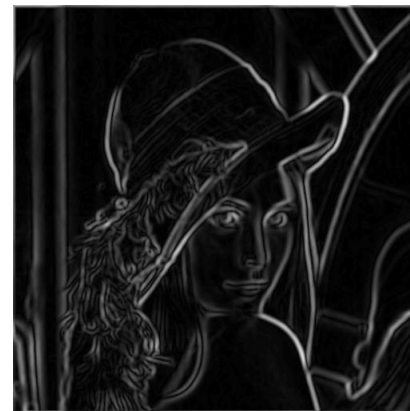
Eredmények – (elsőrendű) Prewitt gradiensképzés



y irányú gradiens



x irányú gradiens



Összesített gradiens
kép

További elsőrendű módszerek/1

- Sobel operátor

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

$\partial/\partial x$

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

$\partial/\partial y$

- Roberts operátor

+1	
	-1

g_1

	+1
-1	

g_2

45 fokos éleket emeli ki

Sobel eredmények



Sobel vízszintes:



Sobel függőleges:

Élkeresés – compass filter

- pl. Kirsch

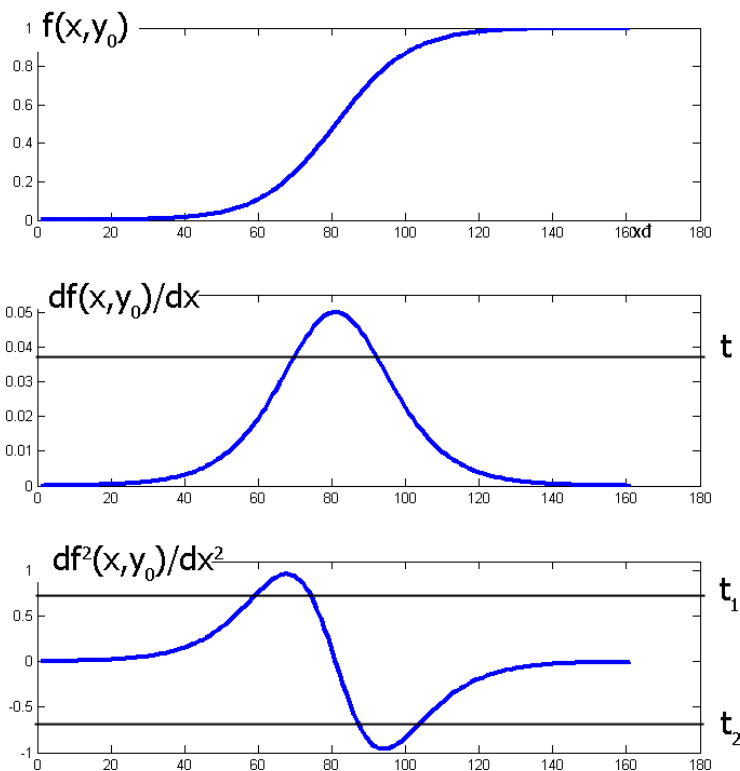


$$\begin{bmatrix} 5 & -3 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ 5 & -3 & -3 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -3 & -3 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ 5 & 5 & -3 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -3 & -3 & -3 \\ -3 & 0 & -3 \\ 5 & 5 & 5 \end{bmatrix} \quad \dots$$



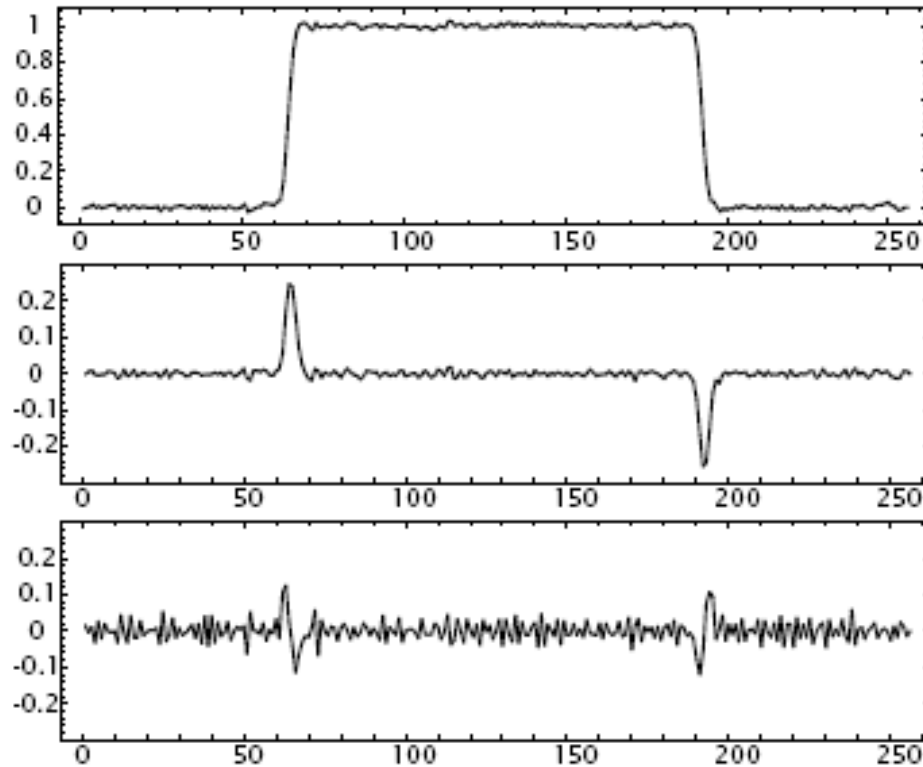
Másodrendű élkeresés: motiváció

Vízszintes élkeresés
az alábbi képen:



A fényességi függvény (fenn), valamint x szerint első (középen) és második (lenn) deriváltjának alakulása egy adott egyenes mentén.

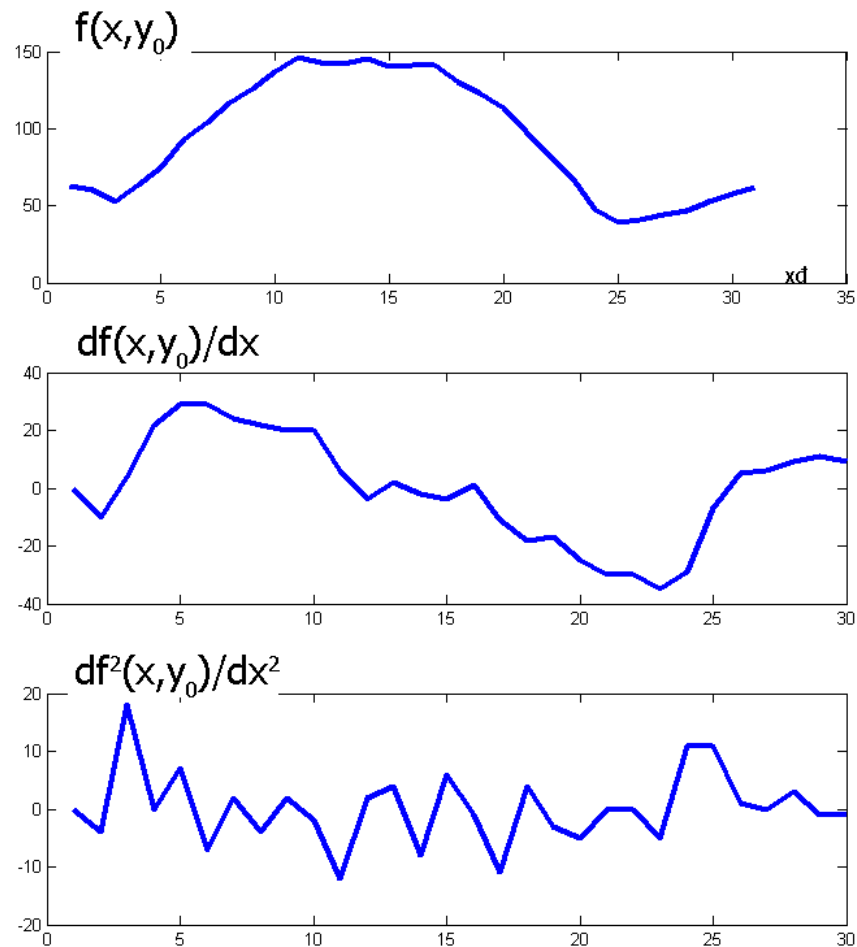
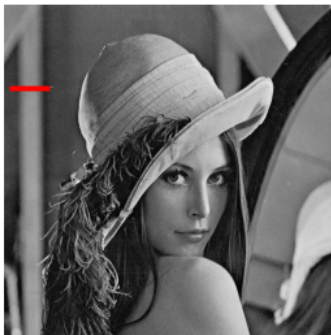
Másodrendű eset: szélsőérték helyett 0 átmenet keresése



szélsőérték

zero crossing

Valós kép: piros vonal alatti rész intenzitás függvénye



Másodrendű módszerek/1

- A gradiensvektor divergenciájának képzése

$$\begin{aligned}\nabla^2 f &= \left(\begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \\ \frac{\partial}{\partial y} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \\ \frac{\partial}{\partial y} \end{bmatrix} \right) f \\ &= \frac{\partial^2}{\partial x^2} f + \frac{\partial^2}{\partial y^2} f\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} &\cong \frac{\frac{f(x+1, y) - f(x, y)}{v} - \frac{f(x, y) - f(x-1, y)}{v}}{v} = \\ &= \frac{f(x+1, y) - 2f(x, y) + f(x-1, y)}{v^2}\end{aligned}$$

Másodrendű módszerek/2

- Az x irányú második derivált közelítése (y irány hasonló):

$$\begin{aligned}\frac{d^2 f}{dx^2} &\approx [f(x+1) - f(x)] - [f(x) - f(x-1)] \\ &= f(x+1) - 2f(x) + f(x-1)\end{aligned}$$

- A Laplace operátor konvolúciós mátrixa:

0	0	0
1	-2	1
0	0	0

+

0	1	0
0	-2	0
0	1	0

=

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

Variációk: másodrendű éldetekciós kernelek

- 1. változat: „Másodrendű Prewitt”

$$\begin{array}{|c|c|c|} \hline 0.5 & 0.0 & 0.5 \\ \hline 1.0 & -4.0 & 1.0 \\ \hline 0.5 & 0.0 & 0.5 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0.5 & 1.0 & 0.5 \\ \hline 0.0 & -4.0 & 0.0 \\ \hline 0.5 & 1.0 & 0.5 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & -8 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline \end{array}$$

- 2- változat

$$\begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & -2 & 1 \\ \hline 1 & -2 & 1 \\ \hline 1 & -2 & 1 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline -2 & -2 & -2 \\ \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 2 & -1 & 2 \\ \hline -1 & -4 & -1 \\ \hline 2 & -1 & 2 \\ \hline \end{array}$$

Első és másodrendű élkeresés eredmények összevetése



Laplace masodrendu:



Prewitt masodrendu:



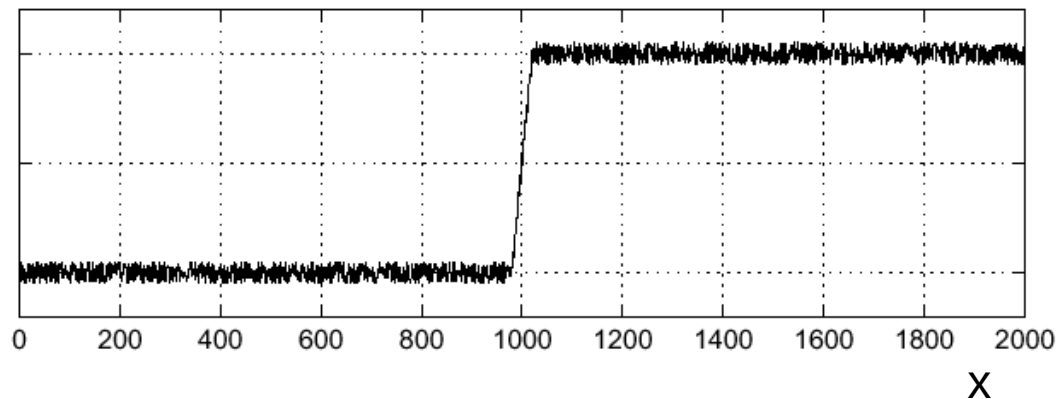
Sobel vizszintes:



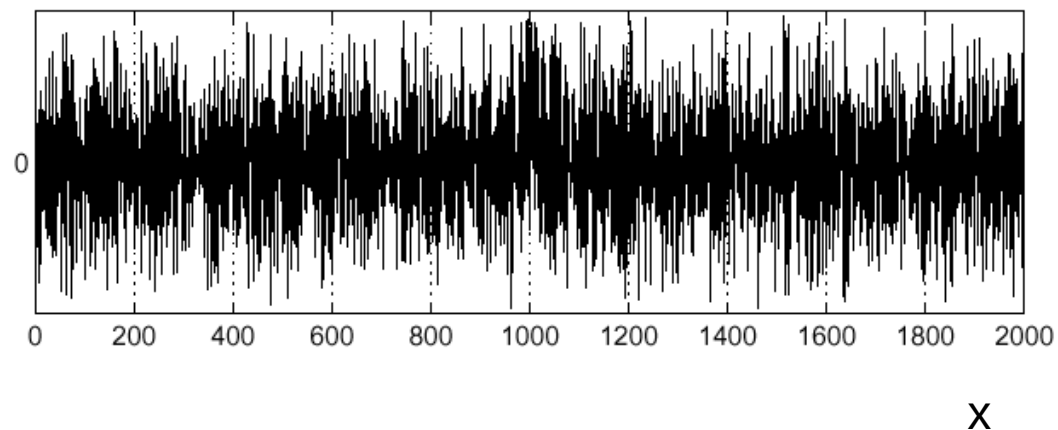
Sobel függoleges:

Zajhatások szűrése (1D szemléltetés)

$$f(x)$$

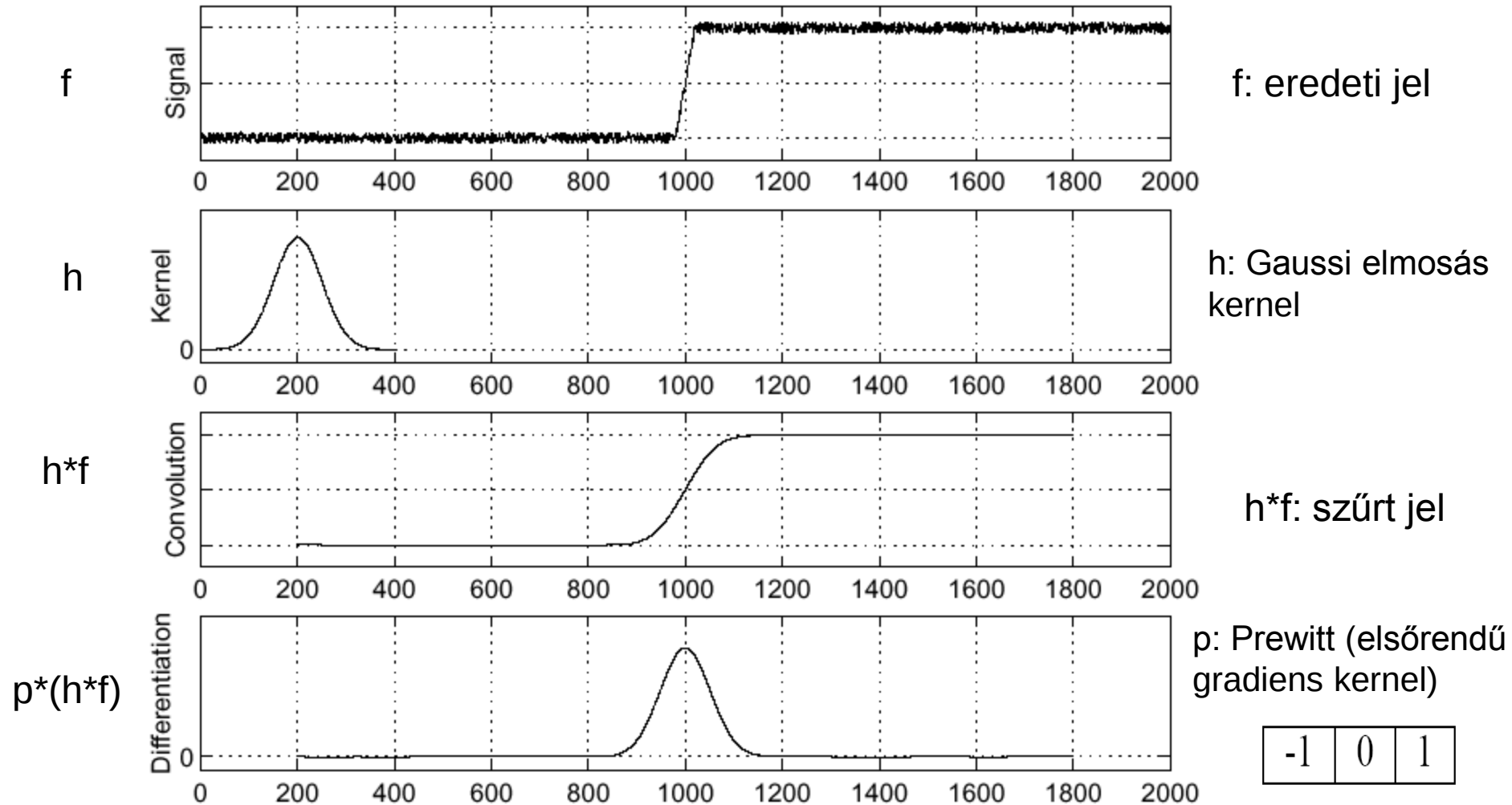


$$\frac{d}{dx}f(x)$$



- Hol az él?

Sigma = 50



A jel simítása Gaussi kernellel, majd elsőrendű Prewitt kernel használata

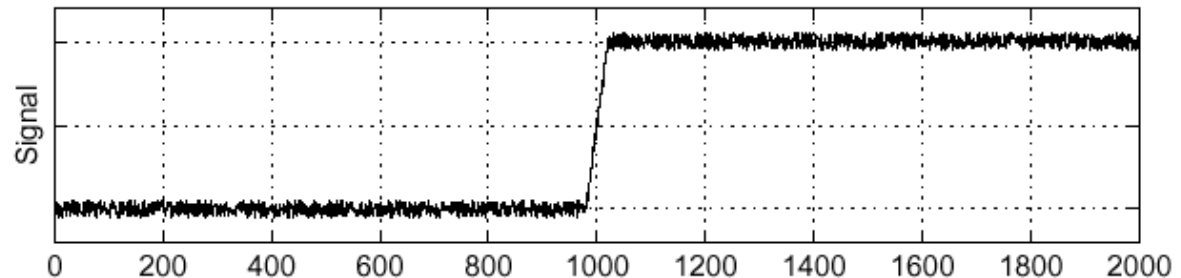
Konvolúció asszociatív: $p \star (h \star f) = (p \star h) \star f$

$$\frac{\partial}{\partial x}(h \star f) = \left(\frac{\partial}{\partial x}h\right) \star f$$

- Nem kell 2 konvolúciót használni csak 1-et a „Gauss deriváltja operátorral” (ami szintén egy kernel ami diszkretizálható)

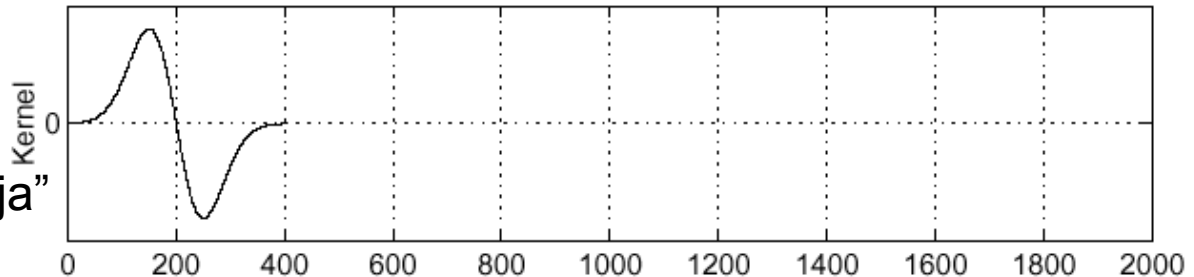
Sigma = 50

f

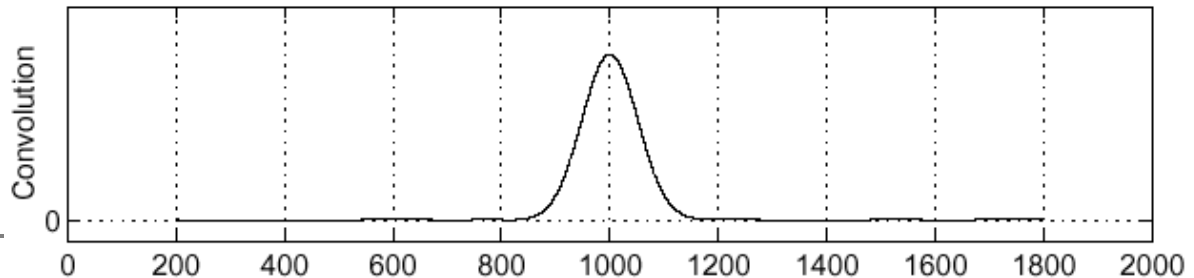


$$\frac{\partial}{\partial x}h \approx p \star h$$

Gauss kernel „deriváltja”



$$\left(\frac{\partial}{\partial x}h\right) \star f$$



Másodrendű eset: Laplacian of Gaussian (LoG)

- Simítás+ Laplace = konv. A LoG operátorral

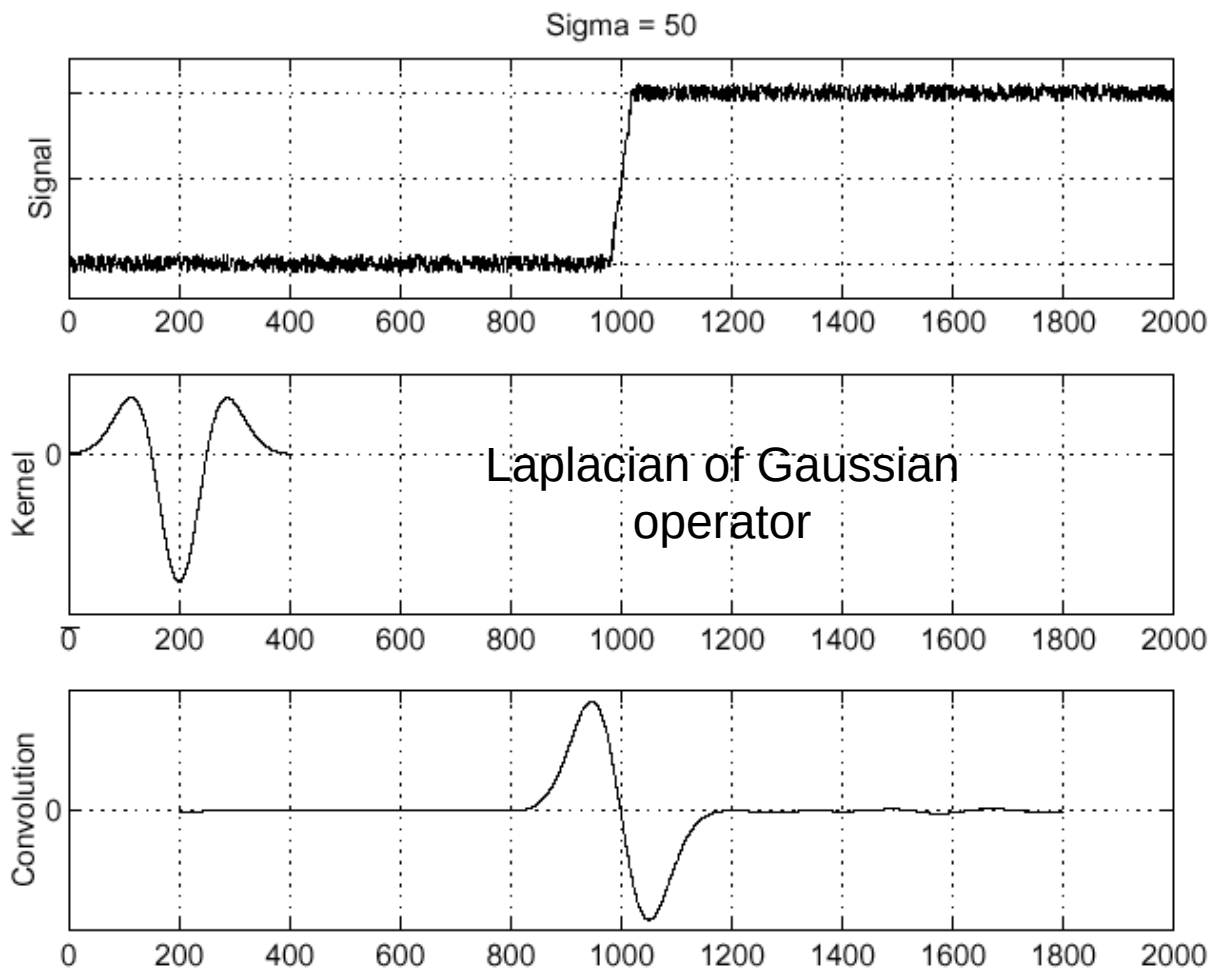
f

h: Gaussi simítás kernel

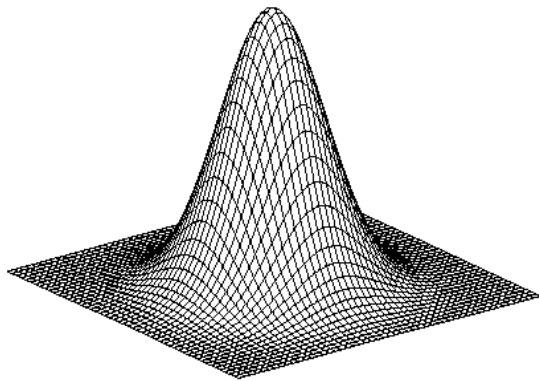
l: Laplace-kernel

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} h \approx l * h$$

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} h \right) \star f$$

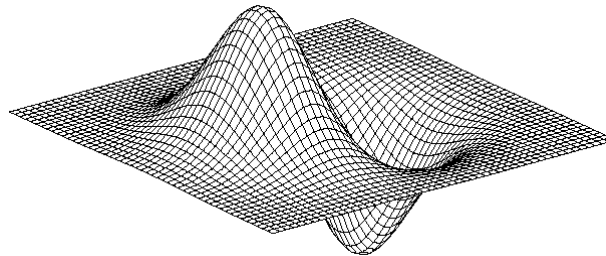


2D éldetekció szűréssel:



2D Gaussi simító kernel

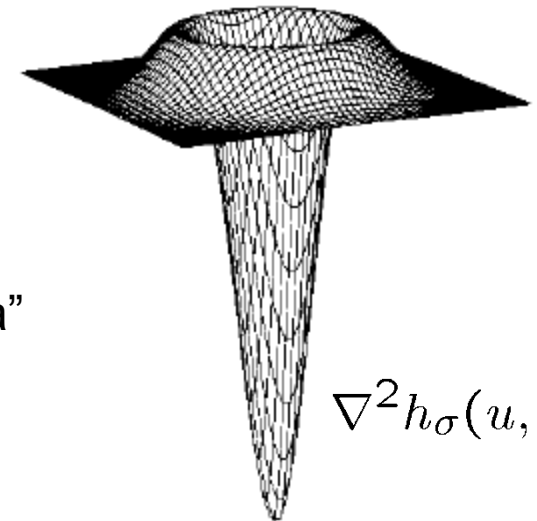
$$h_{\sigma}(u, v) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{u^2+v^2}{2\sigma^2}}$$



2D Gauss függvény „deriváltja”

$$\frac{\partial}{\partial x} h_{\sigma}(u, v)$$

Laplacian of Gaussian



$$\nabla^2 h_{\sigma}(u, v)$$

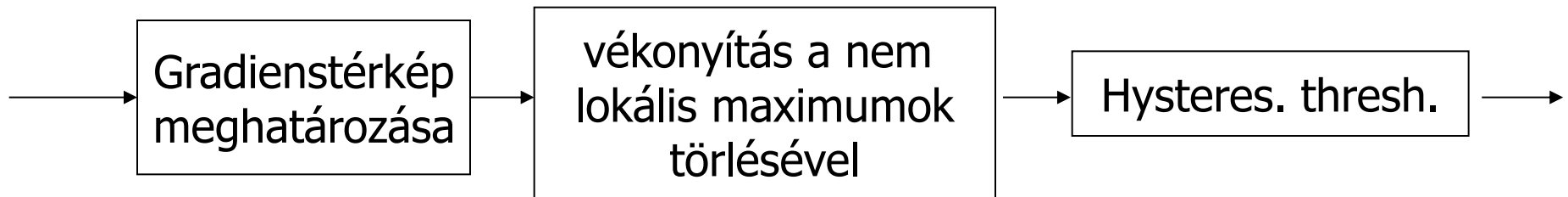
- fenn ∇^2 továbbra is a **Laplace** operátor:

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

- Kernelértékek meghatározása a függvény diszkrét helyeken történő approximációjával

Canny éldetektor

- Cél: összefüggő, egységnyi vastagságú élhálózat létrehozása
- Főleg lépcsős éleket talál meg
- Gaussi zaj szűrésére képes
- Három lépést tartalmaz:



Canny- 1. lépés

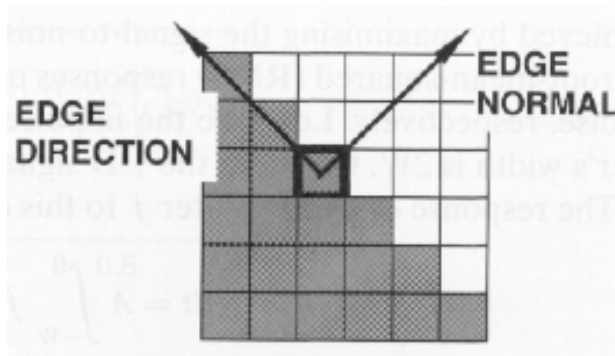
1. Konvolúció (mint eddig)
 - Simítás egy Gauss szűrővel
 - x és y irányú differenciaképzés
2. Az (i,j) pontokban a gradiens erőssége $[d(i,j)]$ mellett az irányát $[n(i,j)$ - élnormális] is meghatározzuk

$$\|\nabla f\|_{ij} \propto d(i, j) = \sqrt{[d^x(i, j)]^2 + [d^y(i, j)]^2}$$

$$n(i, j) = \arctan\left(\frac{d^x(i, j)}{d^y(i, j)}\right)$$

Canny- 1. lépés kimenete, pixelenként

- $d(i,j)$ = élerősség (milyen „erős” az él, a gradiens nagyságával arányos)
- $n(i,j)$ = élnormális (milyen irányba mutat)
 - A normálist tartalmazza



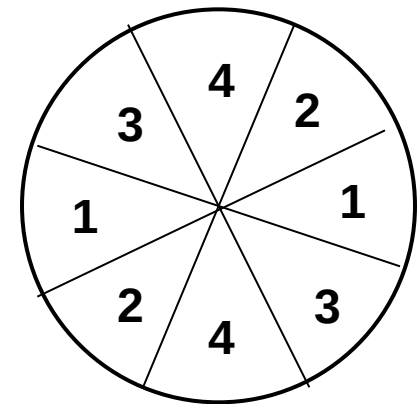
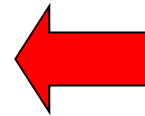
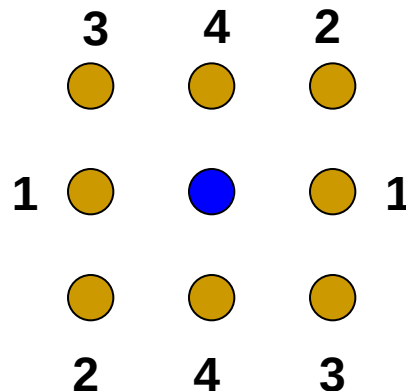
2. lépés: „Non-max Suppression”

- Fő cél az élek vékonyítása
- A gradiensképen „vastag” nagy gradiensű területek alakulhatnak ki. Ezeket a korábbi módszerek mind élpontnak definiálták.
- Az élekre merőleges (itt piros) vonalak mentén csak 1-1 pontot kellene potenciális élpontnak meghagyni: a lokálisan legvilágosabbat



2. Non-max Suppression-algoritmus

1. Meghatározzuk 4 főirányt: $(0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ)$
2. Minden (i, j) -re az $n(i, j)$ lokális élnormális irányhoz a hozzá legközelebb eső főirány valamelyikét rendeljük
3. Ha $d(i, j)$ élerősség kisebb, mint (i, j) bármelyik $n(i, j)$ irányú szomszédjában, akkor $G(i, j) := 0$. Egyébként (lokális maximum): $G(i, j) := d(i, j)$
4. Eredmény: „G” kép a „d” gradiens-erősség kép megfelelője, ám az él-kandidáns régiók elvékonyodnak



3. Thresholding

- Naív megoldás: „G” képet egy „t” threshold küszöbvel vágjuk el
 - Ha a küszöb túl kicsi akkor sok hamis élpont keletkezik. Ha túl nagy: igazi élek is eltűnnek
 - Ha az élek gradiens-értéke a küszöb körül ingadozik, akkor sok szakadás lehet
- Megoldás: **hysteresis küszöbölés**
 - 2 küszöbérték használata, t_1 és t_2 ($t_1 < t_2$):
 - Ha $G(x,y)$ értéke a felső küszöbnél nagyobb akkor (x,y) biztos él
 - Ha $G(x,y)$ érték az alsó küszöbnél kisebb akkor (x,y) biztosan nem él
 - Ha a két küszöb között van, akkor vegyük fel élnek, ha az **élnormálisokra** merőleges irányban (tehát az élek futásával azonos irányban) az egyik szomszédja élpont

Canny éldetektor: eredmény



- eredeti kép

Canny éldetektor: eredmény



- Gradiens normája: „d”

Canny éldetektor: eredmény



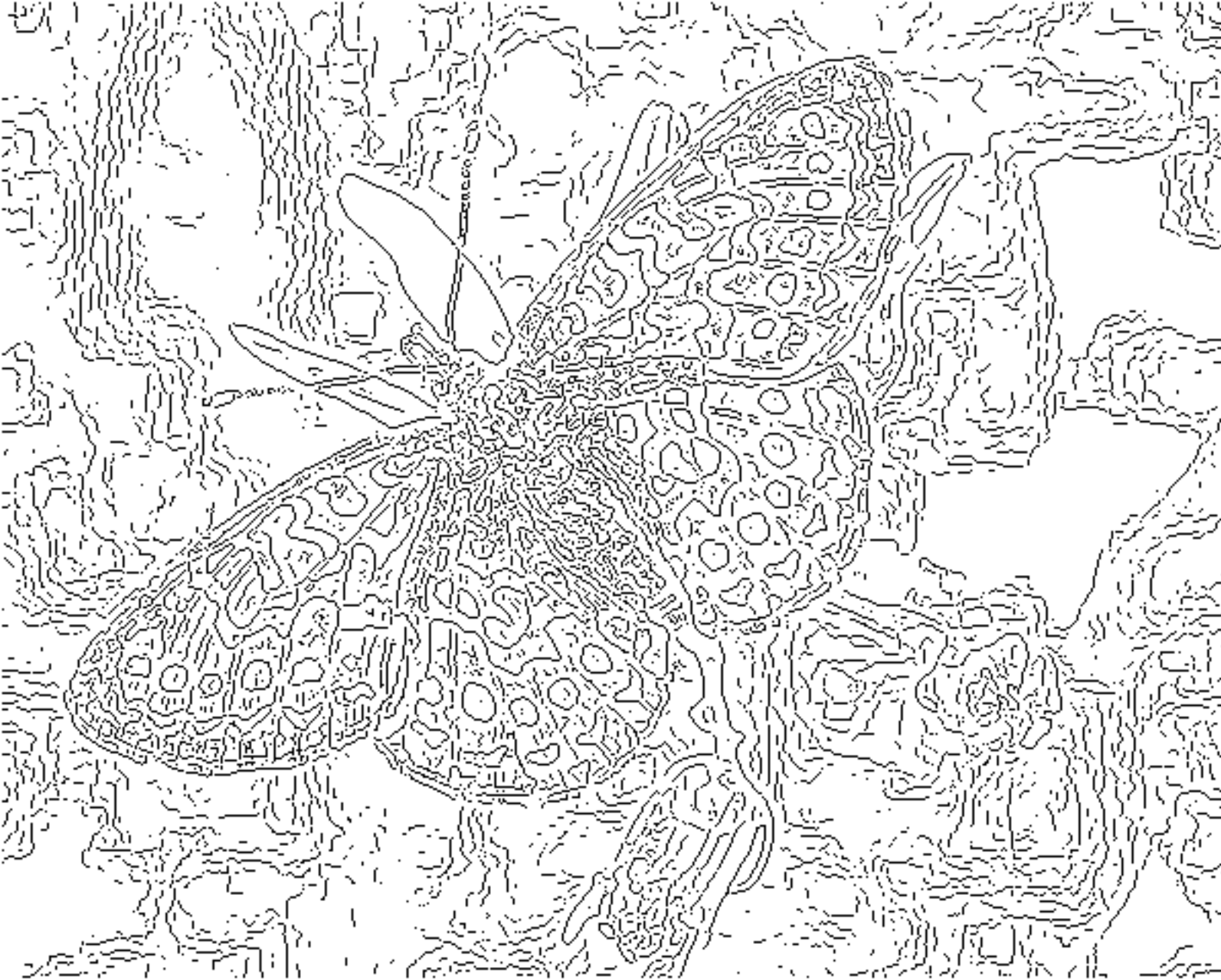
- Vékonyítás után (E) (non-maximum suppression)

Canny éldetektor: eredmény



hysteresis küszöbölés



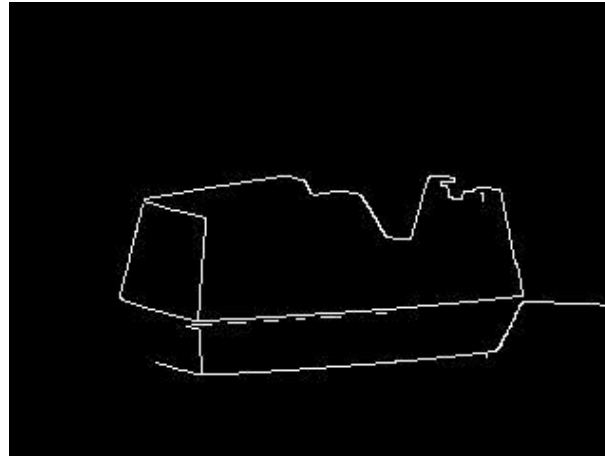
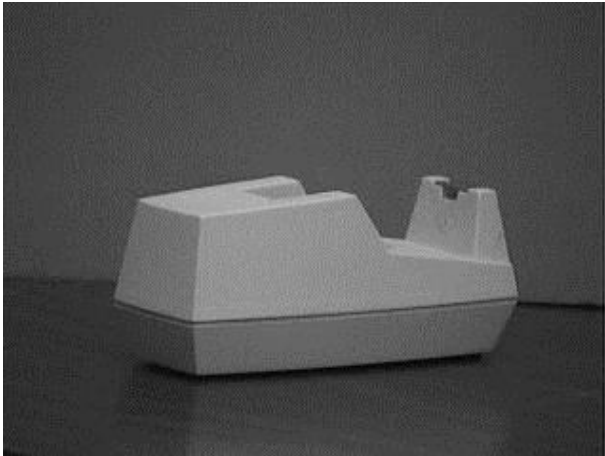


fine scale
high
threshold

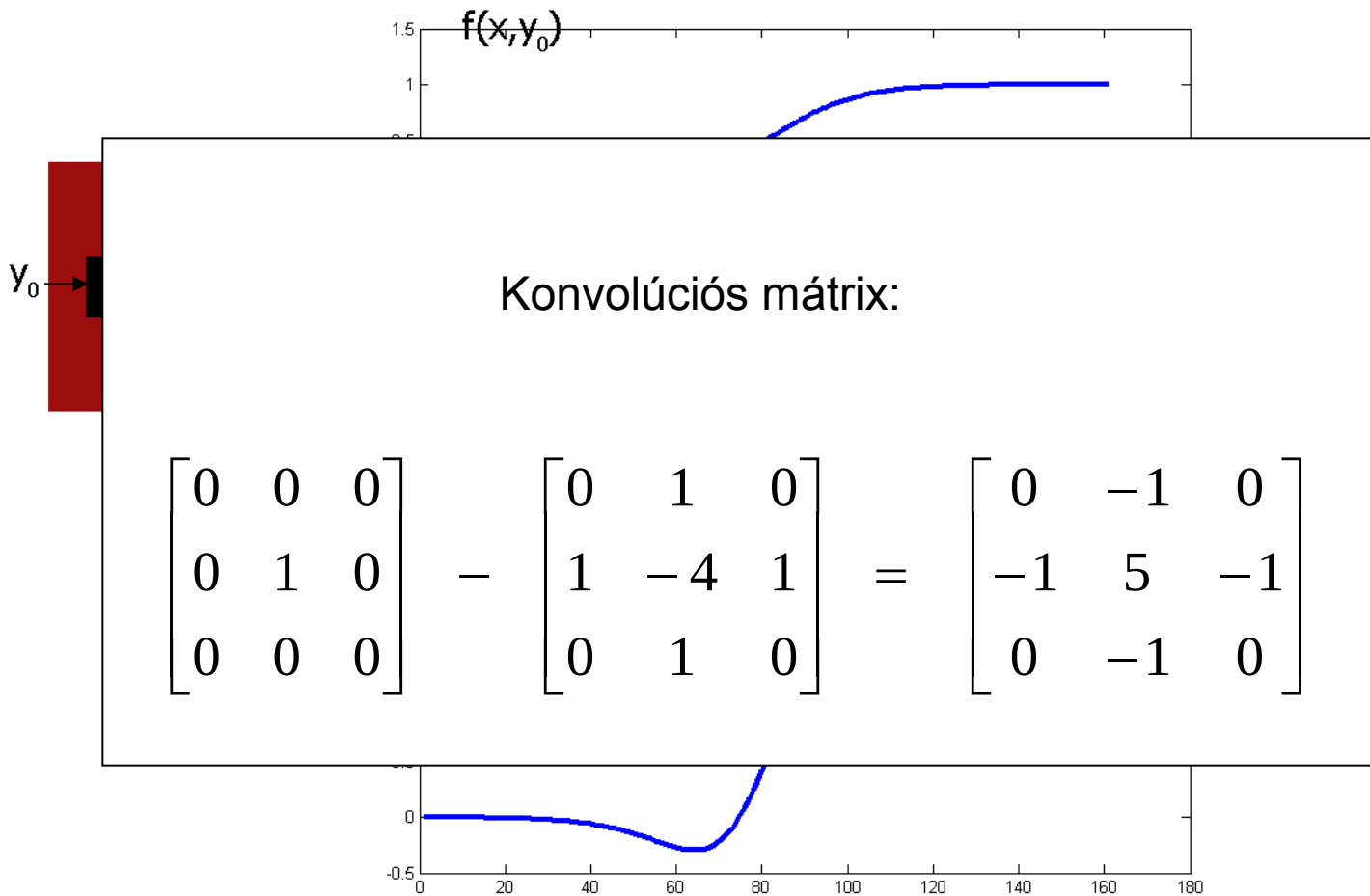


coarse
scale,
high
threshold

Canny éldetekció - eredmények



Edge crispening - élerősítések

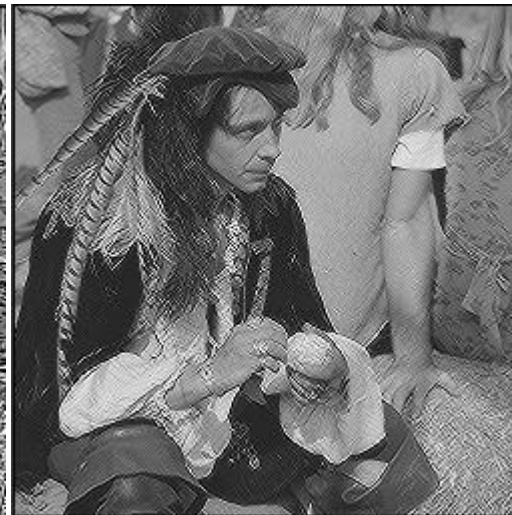


Edge crispening - élerősítések

- gyakran „jobbá” teszi a képet



$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 9 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 5 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix}$$



-
- Fotometriai alapok

Fotometriai alapok: spektrális eloszlás

- Fényforrás jellemzője: spektrális energia eloszlás

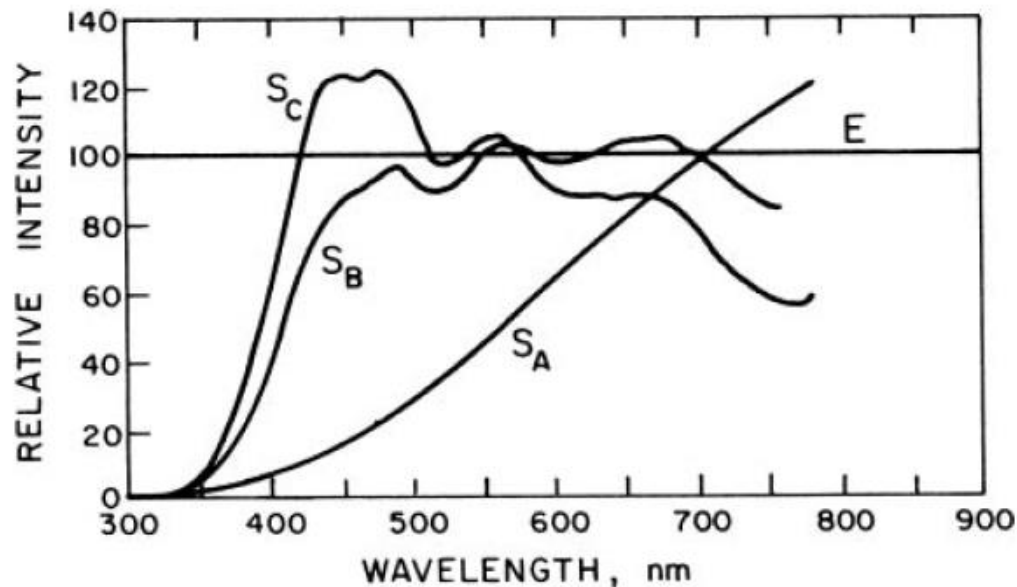
$$C(\lambda)$$

- időegységre eső kibocsátott energia (tehát: teljesítmény) „sűrűsége” az adott hullámhosszon (analógia: folytonos valószínűségi változó sűrűségfüggvénye)
- A fényforrás által kibocsátott össz teljesítmény:

$$P = \int_0^{\infty} C(\lambda) d\lambda$$

Spektrális eloszlás

- CIE (Comission Internationale de l'Eclairage): fény és színnel kapcsolatos nemzetközi szabványokért felelős szervezet
 - Pár standard fényforrás spektrális energia eloszlása
 - S_A : wolframszálas izzólámpa,
 - S_B : napfény,
 - S_C : borult égbolt



Érzékelt fényesség

- Függ a szenzor $V(\lambda)$ érzékenységi karakterisztikájától is

$$F = K_m \int_0^{\infty} C(\lambda) V(\lambda) d\lambda$$

Trikromatikus színillesztés

- Tetszőleges szín megfeleltethető három megfelelő erősségű elemi színtelepítés egymásra illesztésével.
 - Additív reprodukció (színes tv) a három (R,G,B) fényforrás ugyanarra a területre vetít.
 - Szubtraktív reprodukció (fényképészet, nyomtatás)

Additív színillesztés

Adott C fény és W referencia fehér fény, valamint R,G,B „keverő” fények. Cél: R,G,B-ből állítsuk össze C-t illetve W-t!

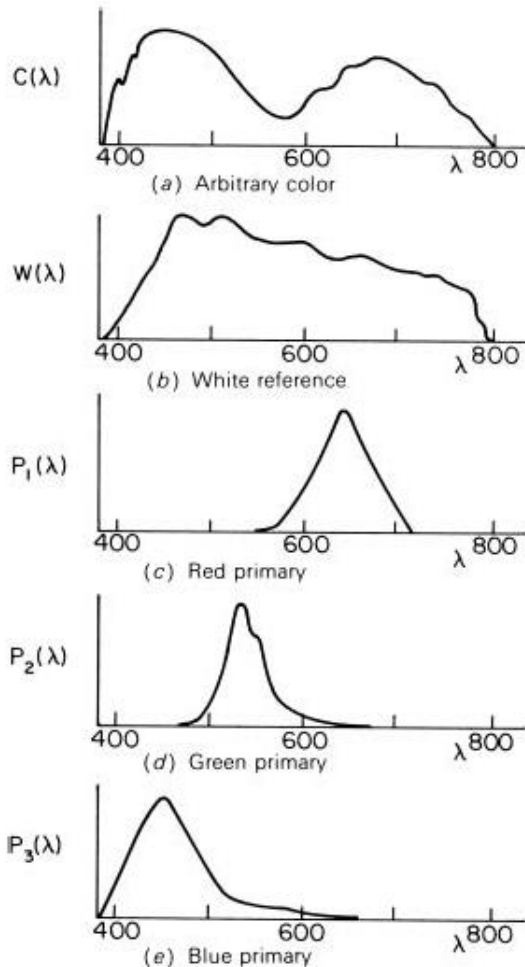
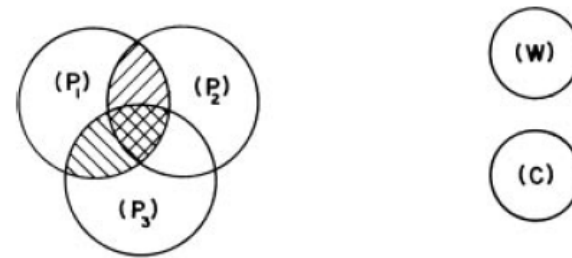


FIGURE 3.2-2. Spectral energy distributions.

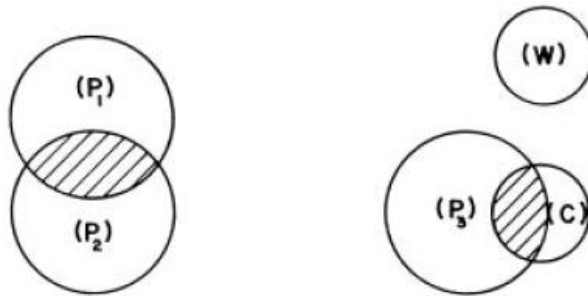


Tristimulus értékek C-hez: $T_1(C)$, $T_2(C)$, $T_3(C)$

$$T_1(C) = \frac{A_1(C)}{A_1(W)} \quad T_2(C) = \frac{A_2(C)}{A_2(W)} \quad T_3(C) = \frac{A_3(C)}{A_3(W)}$$

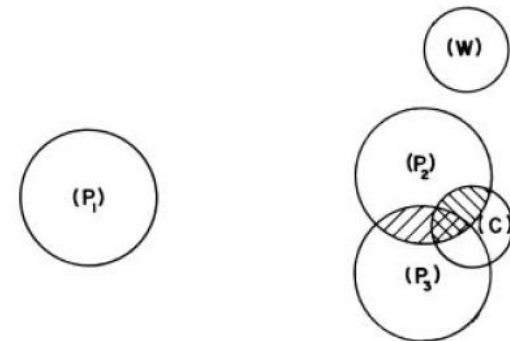
pl. $A_1(C)$ = az első keverő komponens erőssége a C szín összeállításakor

Additív színillesztés



(b) Two primary match

$$T_1(C) = \frac{A_1(C)}{A_1(W)} \quad T_2(C) = \frac{A_2(C)}{A_2(W)} \quad T_3(C) = \frac{-A_3(C)}{A_3(W)}$$



(c) One primary match

$$T_1(C) = \frac{A_1(C)}{A_1(W)} \quad T_2(C) = \frac{-A_2(C)}{A_2(W)} \quad T_3(C) = \frac{-A_3(C)}{A_3(W)}$$

A színillesztés axiómái (1/2) (Grassman)

1. Any color can be matched by a mixture of no more than three colored lights.
2. A color match at one radiance level holds over a wide range of levels.
3. Components of a mixture of colored lights cannot be resolved by the human eye.
4. The luminance of a color mixture is equal to the sum of the luminance of its components.
5. *Law of addition.* If color (M) matches color (N) and color (P) matches color (Q), then color (M) mixed with color (P) matches color (N) mixed with color (Q):

$$(M) \diamond (N) \cap (P) \diamond (Q) \Rightarrow [(M) \oplus (P)] \diamond [(N) \oplus (Q)] \quad (3.2-4)$$

6. *Law of subtraction.* If the mixture of (M) plus (P) matches the mixture of (N) plus (Q) and if (P) matches (Q), then (M) matches (N):

$$[(M) \oplus (P)] \diamond [(N) \oplus (Q)] \cap [(P) \diamond (Q)] \Rightarrow (M) \diamond (N) \quad (3.2-5)$$

7. *Transitive law.* If (M) matches (N) and if (N) matches (P), then (M) matches (P):

$$[(M) \diamond (N)] \cap [(N) \diamond (P)] \Rightarrow (M) \diamond (P)$$

A színillesztés axiómái (2/2)

8. *Color matching.* (a) c units of (C) matches the mixture of m units of (M) plus n units of (N) plus p units of (P) :

$$c \bullet C \diamond [m \bullet (M)] \oplus [n \bullet (N)] \oplus [p \bullet (P)] \quad (3.2-7)$$

or (b) a mixture of c units of C plus m units of M matches the mixture of n units of N plus p units of P :

$$[c \bullet (C)] \oplus [m \bullet (M)] \diamond [n \bullet (N)] \oplus [p \bullet (P)] \quad (3.2-8)$$

or (c) a mixture of c units of (C) plus m units of (M) plus n units of (N) matches p units of P :

$$[c \bullet (C)] \oplus [m \bullet (M)] \oplus [n \bullet (N)] \diamond [p \bullet (P)] \quad (3.2-9)$$

Érzékelt (mért) szín modellje

$s_j(\lambda)$: receptor érzékenysége

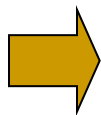
$e_j(C)$: receptor válasza

$$e_1(C) = \int C(\lambda) s_1(\lambda) d\lambda$$

$$e_2(C) = \int C(\lambda) s_2(\lambda) d\lambda$$

$$e_3(C) = \int C(\lambda) s_3(\lambda) d\lambda$$

$$T_j(C) = \frac{A_j(C)}{A_j(W)}$$



$$e_1(C) = \sum_{j=1}^3 T_j(C) A_j(W) \int P_j(\lambda) s_1(\lambda) d\lambda$$

$$e_2(C) = \sum_{j=1}^3 T_j(C) A_j(W) \int P_j(\lambda) s_2(\lambda) d\lambda$$

$$e_3(C) = \sum_{j=1}^3 T_j(C) A_j(W) \int P_j(\lambda) s_3(\lambda) d\lambda$$

$$C(\lambda) \diamond \sum_{j=1}^3 T_j(C) A_j(W) P_j(\lambda)$$

$$k_{ij} = \int P_j(\lambda) s_i(\lambda) d\lambda$$

Kapcsolat egy adott bázissal mért tristimulus hármas (színkeverés!) és egy adott receptor-hármas (színmérés!) válaszai között

$$k_{ij} = \int P_j(\lambda) s_i(\lambda) d\lambda$$

$$\begin{bmatrix} e_1(C) \\ e_2(C) \\ e_3(C) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_1(W) & 0 & 0 \\ 0 & A_2(W) & 0 \\ 0 & 0 & A_3(W) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1(C) \\ T_2(C) \\ T_3(C) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{e}(C) = \mathbf{KAt}(C)$$

R,G,B alapszínek

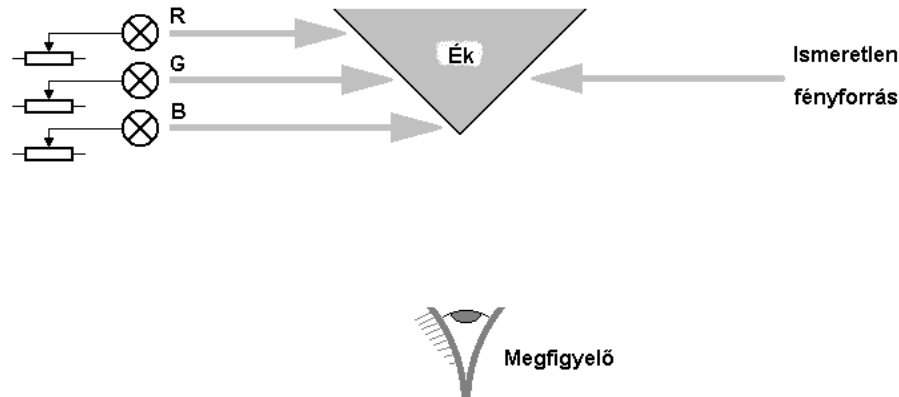
Az alapszínek megválasztása részben önkényes, a könnyű előállíthatóság is szempont volt. Higanygőzlámpa spektrumvonalalaiból szűrőkkel elkülöníthető az alábbi három szín:

	R	G	B
Hullámhossz [nm]	700,?	546,1	435,8
Intenzitás [rel]	1	4,59	0,06

Az intenzitás azt a relatív intenzitás arányt adja, amely mellett a három alapszín összege azonos színűnek látszik a látható tartományban egyenletes spektrumú, fehér fénnel.

CIE (Commission Internationale d'Éclairage) szabvány, 1931.

R,G,B alapszínek

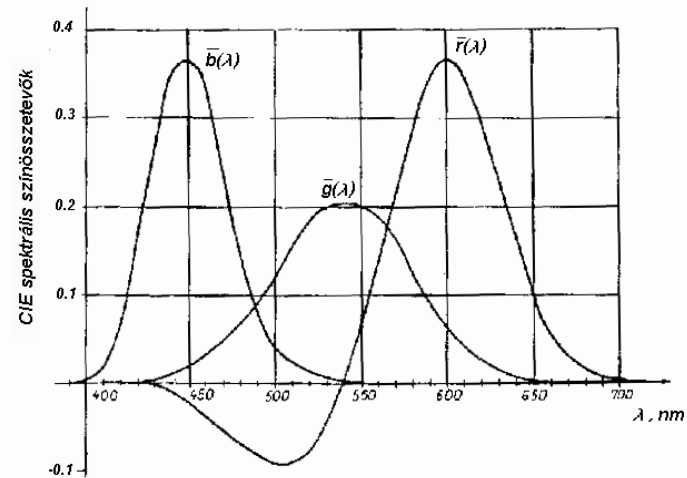


Spektrumszínek:

$$C(\lambda) = C_0 \delta(\lambda - \lambda_0)$$

(azaz olyan hullámok, melyek spektruma Dirac-delta)

R, G és B értékei λ_0 függvényében



Tetszőleges $\varphi(\lambda)$ spektrum-eloszlással rendelkező szín kikeverése

$$R = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(\lambda) \bar{r}(\lambda) d\lambda$$

$$G = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(\lambda) \bar{g}(\lambda) d\lambda$$

$$B = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(\lambda) \bar{b}(\lambda) d\lambda$$

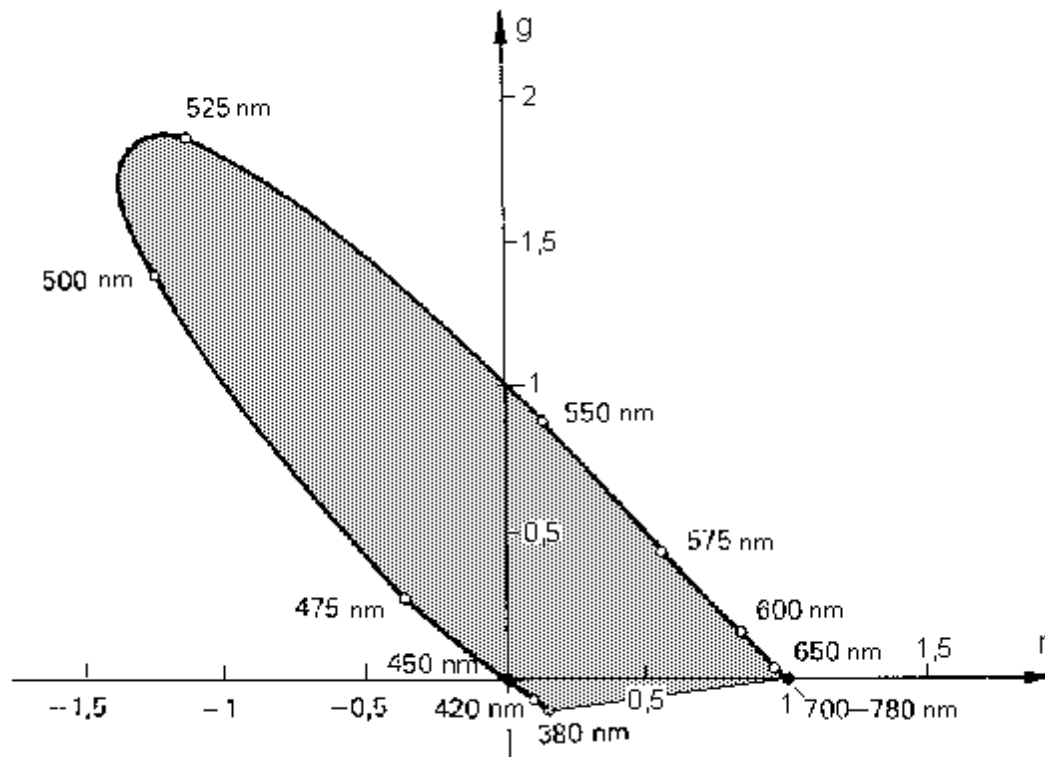
r,g koordináták

$$r = \frac{R}{R + G + B} \quad g = \frac{G}{R + G + B} \quad b = \frac{B}{R + G + B}$$

- $r + g + b = 1$ miatt elég két koordinátát megadni (pl r és g). Ezek a koordináták nem tartalmazzák az intenzitás információt.

r-g sík:

(A valóságos színek tartományát a diagramon árnyalás jelzi)



Forrás: Székely V, BME

CIE x-y koordináta rendszer

- Affin transzformáció: az R, G, B koordináta-rendszer leképezése le egy újabb, szintén lineáris X, Y, Z koordinátarendszerre, úgy, hogy
 - minden valós színingernek pozitív színösszetevők feleljenek meg,
 - az $R=G=B$ fehérnek $X=Y=Z$ feleljen meg,
 - az Y összetevő egyúttal adja ki a fénysűrűséget.

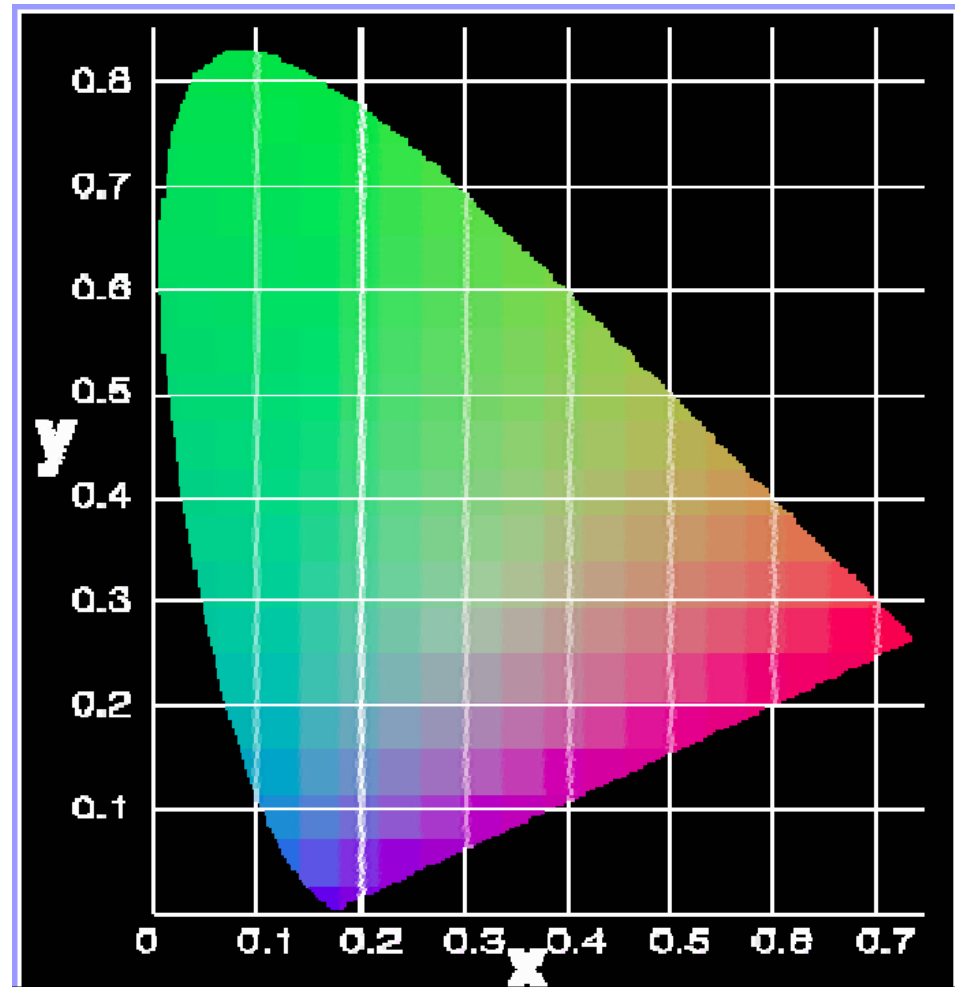
$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2,769 & 1,752 & 1,130 \\ 1,000 & 4,590 & 0,060 \\ 0 & 0,057 & 5,599 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

CIE x-y koordináta rendszer

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$



Forrás: Székely V, BME

Színterek

- Csak „krominancia” (luminancia-független) színterkepek: rg , $C_1C_2C_3$
- Minden komponens függ a luminanciától: RGB, XYZ
- Vegyesen luminancia függő és krominancia komponensek: HSV, HSI, CIE L^*a^*b , CIE $L^*u^*v^*$

2 Colour

HSI színtér

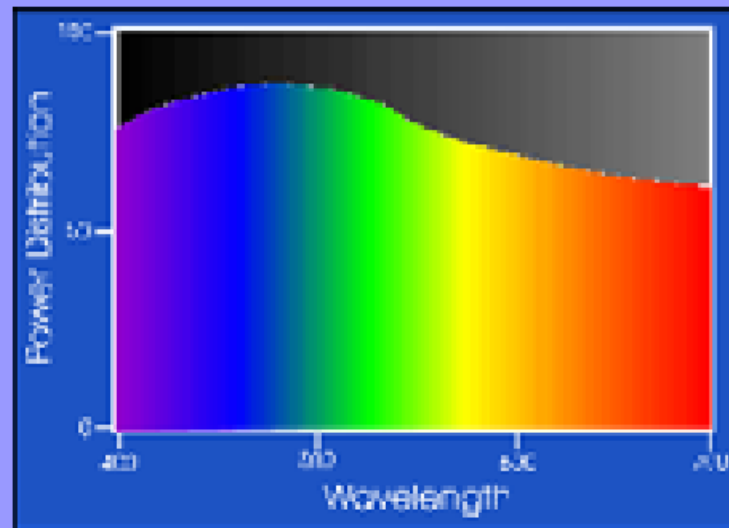
Fundamentals of colour science

Spectral power distribution

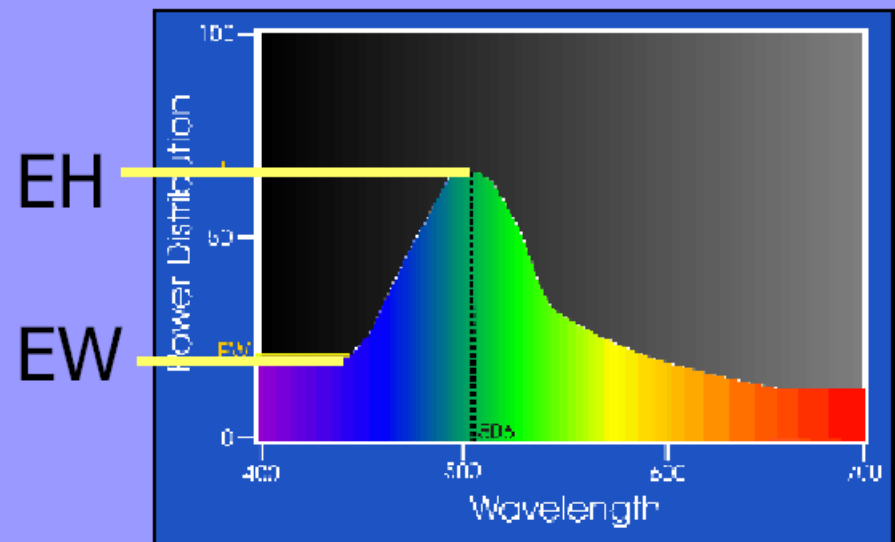
Hue: dominant wavelength of the Spectral Power Distribution: EH

Saturation: purity of the colour: EH-EW

Intensity: brightness of the colour: EW



White light



Green light

2 Colour

HSI színtér

The measurement of colour

Colour camera: H,S,I definitions

Intensity:

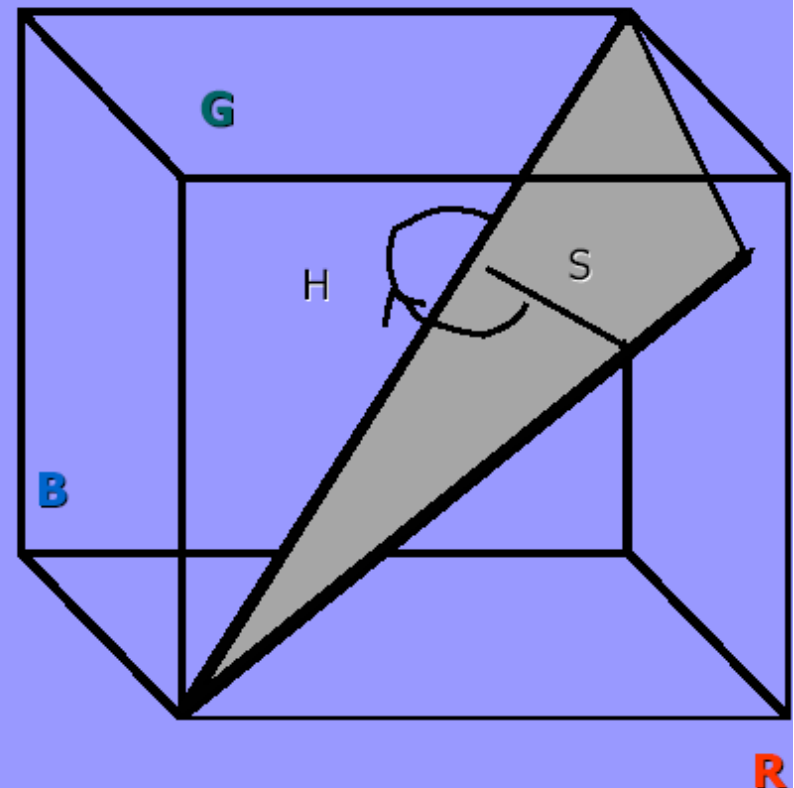
$$I(R, G, B) = R + G + B$$

Saturation:

$$S(R, G, B) = 1 - \frac{\min(R, G, B)}{R + G + B}$$

Hue:

$$H(R, G, B) = \arctan\left(\frac{\sqrt{3}(G - B)}{(R - G) + (R - B)}\right)$$



CIE L*a*b*

- Színek
euklideszi
távolsággal
összehasonlí-
thatók

$$L^* = \begin{cases} 116 \left(\frac{Y}{Y_o} \right)^{1/3} - 16 & \text{for } \frac{Y}{Y_o} > 0.008856 \\ 903.3 \frac{Y}{Y_o} & \text{for } 0.0 \leq \frac{Y}{Y_o} \leq 0.008856 \end{cases}$$

$$a^* = 500 \left[f \left\{ \frac{X}{X_o} \right\} - f \left\{ \frac{Y}{Y_o} \right\} \right]$$

$$b^* = 200 \left[f \left\{ \frac{X}{X_o} \right\} - f \left\{ \frac{Z}{Z_o} \right\} \right]$$

X_o, Y_o, Z_o :
referencia
fehér pont

where

$$f(w) = \begin{cases} w^{1/3} & \text{for } w > 0.008856 \\ 7.787(w) + 0.1379 & \text{for } 0.0 \leq w \leq 0.008856 \end{cases}$$

CIE L*u*v*

- Színek
euklideszi
távolsággal
összehasonlí-
thatók

$$L^* = \begin{cases} 25 \left(100 \frac{Y}{Y_o} \right)^{1/3} - 16 & \text{for } \frac{Y}{Y_o} \geq 0.008856 \\ 903.3 \frac{Y}{Y_o} & \text{for } \frac{Y}{Y_o} < 0.008856 \end{cases}$$

$$u^* = 13L^*(u' - u'_o)$$

$$v^* = 13L^*(v' - v'_o)$$

where

$$u' = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z}$$

$$v' = \frac{9Y}{X + 15Y + 3Z}$$

C1C2C3 színtér (bezárt szögeket mér RGB-ben, luminancia-független)

2 Colour



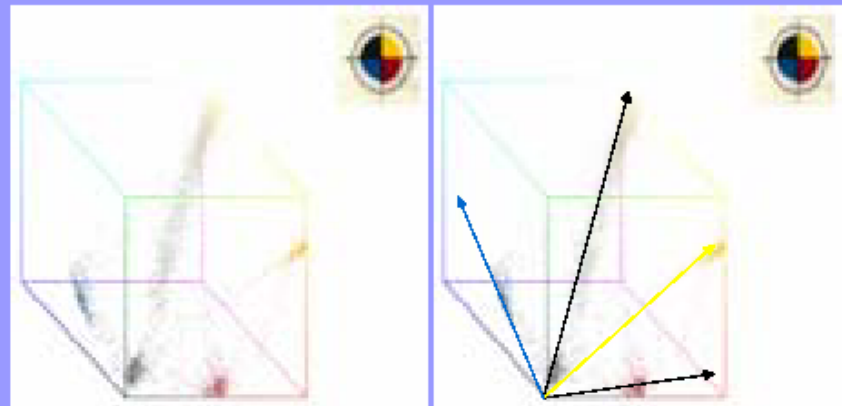
Colour invariance
c1c2c3 space



$$c_1(R, G, B) = \arctan \frac{R}{\max\{G, B\}}$$

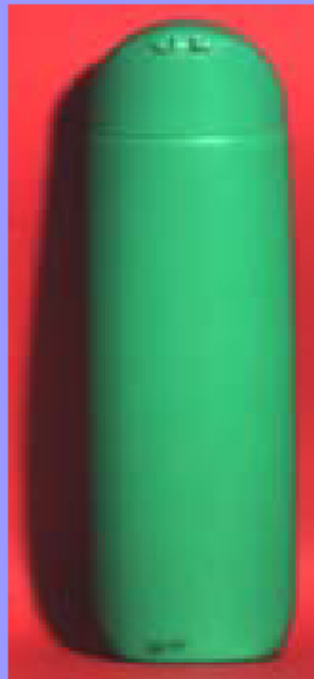
$$c_2(R, G, B) = \arctan \frac{G}{\max\{R, B\}}$$

$$c_3(R, G, B) = \arctan \frac{B}{\max\{R, G\}}$$

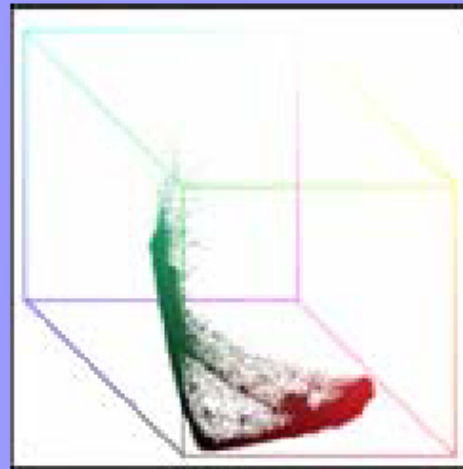


2 Colour

Colour invariance c1c2c3 space



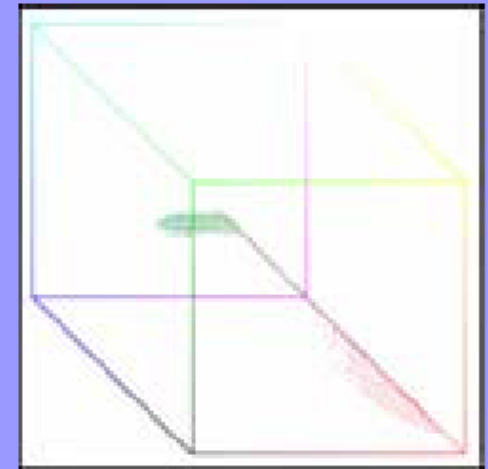
Original RGB
image



3D plot of
RGB image



c1c2c3 image



3D plot of c1c2c3
image

2 Colour

Colour invariance

Shiny objects: $|I_1 I_2 I_3|$ - space

$$I_1(R, G, B) = \frac{(R - G)^2}{(R - G)^2 + (R - B)^2 + (G - B)^2}$$

$$I_2(R, G, B) = \frac{(R - B)^2}{(R - G)^2 + (R - B)^2 + (G - B)^2}$$

$$I_3(R, G, B) = \frac{(G - B)^2}{(R - G)^2 + (R - B)^2 + (G - B)^2}$$

2 Colour

Colour invariance

Shiny objects: $|l1l2l3|$ - space



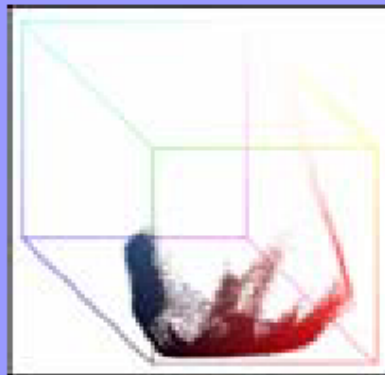
Original colour image



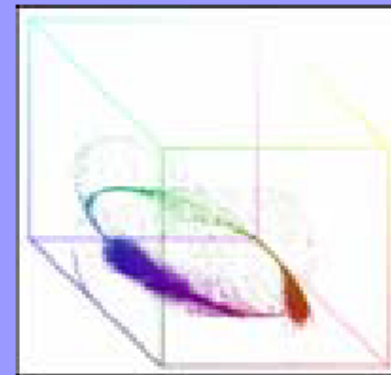
$L1l2l3$ transformation



$L1l2l3$ image



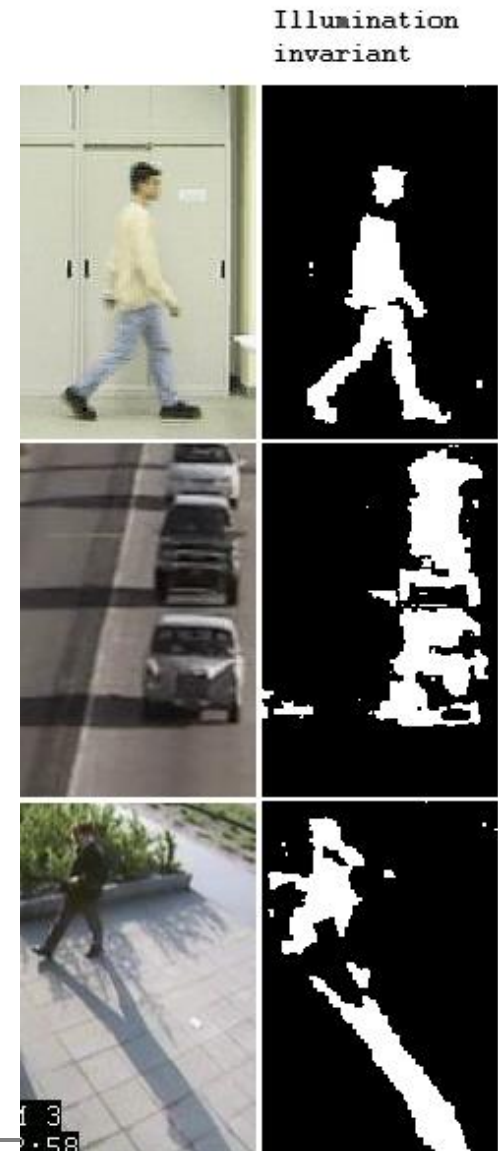
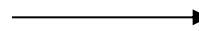
3D plot of colour image



3D plot of $L1l2l3$ image

A módszerek határai

- Az invariáns tulajdonságok csak meghatározott megvilágítási körülmények között, megfelelő minőségű képeken, és megfelelő fényvisszaverő felületek jelenlétével érvényesek.
- PI: $C_1C_2C_3$ szintér használata
- Árnyékszűrésre nem elég hatékonyvideofelügyeleti környezetben



Felhasznált irodalom, anyagok

- Kovács Levente, Császár Gergely, Képfeldolgozás kurzus, VENK
- Vámosy Zoltán, BMF képfeldolgozás anyag
- Nicu Sebe, előadás: in Joint Delos-Muscle Summer School on Multimedia Digital Libraries, Machine Learning and Cross-modal Technologies for Access and Retrieval, San Vincenzo, Italy, 12-17 June, 2006.
- Bryan S. Morse: Edge Detection, (Brigham Young University)
- Székely Vladimír: Képfeldolgozás (Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem)
- Kató Zoltán: Képfeldolgozás előadás anyag (Szegedi Egyetem)
- William K. Pratt: Digital Image Processing