

Ipari képfeldolgozás Éldetektlálás

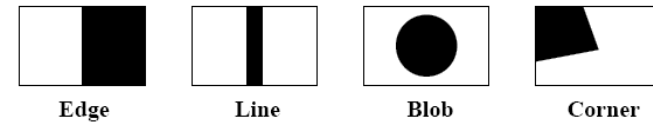
Megyesi Zoltán

megyesi.zoltan@gamf.kefo.hu

KF GAMF Kar AAI Szakcsoport



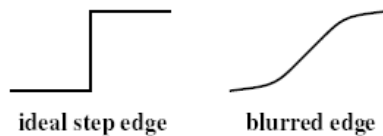
Jellegzetes kép elemek – képi jellemzők (image features)



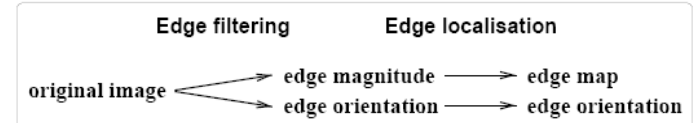
- Él
 - Drasztikus változás az intenzitásfüggvényben
- Vonal
 - Keskeny, hosszúkás, azonos szélességgel és intenzitással rendelkező képrész
- Folt
 - Kompakt képrész azonos intenzitásértékkel
- Sarok
 - Éles kontúr törés

Képi élek

- Képi élek és fizikai élek kapcsolata
 - Képi él: drasztikus változás az intenzitásfüggvényben
 - Fizikai él: drasztikus változás a térbeli felületen
 - Képi él nem feltétlenül azonos a fizikai objektum élekkel!
 - P1: árnyék
- Éldetektlálás és az emberi látás:
 - A látási folyamat legelső rétegei között végez éldetektlálást is
 - Különbségeket érzékelünk, nem abszolút értékeket (adaptivitás)
- Él profilok:



Éldetektlálás elemei



- Zajsűrés
 - Előkészület a szűrésre (simítás), élszűrés általában zajérzékeny
- Él szűrés
 - Speciális szűrőcsoport, amely az élekre reagál
 - Kapott értékek:
 - Él erősség (edge magnitude): az intenzitás változásának nagysága
 - Él irány (edge orientation): az él normálisának iránya (szög/radián érték 0.. π)
- Él lokalizálás
 - Zajos élek kiszűrése
 - „Fantom” élek eltávolítása, vékony élkontúr
 - Éltérkép meghatározása (edge map): bináris kép megadja hol vannak élek

Éldetektálás példa (Prewitt operator)



original image edge magnitude edge orientation edge map

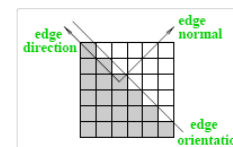
- Él irány (edge orientation): az él normálisának iránya (szög érték $0..pi$) intenzitássá konvertálva
- Intenzitás profil vízszintes metszet mentén:



upper line

lower line

Éldetektálás - fogalmak



- Él **normális**: A legnagyobb intenzitás változás iránya
 - Az élre merőleges egységvektor,
- Él **irány, tangenciális**: az él kontúr iránya
 - Az éllel párhuzamos egységvektor
 - Egyértelműség kedvéért konvenció: Sötét rész a baloldalon
- Él **orientáció**: az él kontúr dőlésszöge szögben/radiánban kifejezve

Éldetektáló szűrők

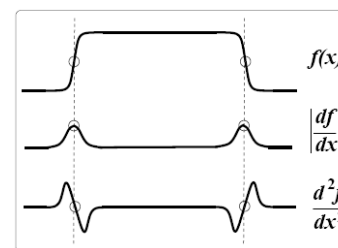
- Általában felüláteresztő szűrők, melyek a képtérbeli deriváltakat használják
 - Érzékenyek az élre merőleges intenzitás változásra
 - Elnyomják a homogén részeket
- Használt operátorok
 - **Gradiens operátor**: a kép gradiens az intenzitás függvény elsőrendű parciális deriváltjaiból áll (vektor érték):

$$\nabla f(x, y) \doteq \left(\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right)$$

- **Laplace operátor**: a kép másodrendű parciális deriváltjainak összege (skalár érték):

$$\Delta f(x, y) \doteq \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

Kapcsolat az első és másodfokú deriváltak között

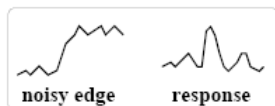
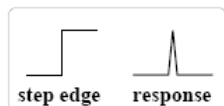


- Él pozíciók:
 - A derivált szélsőértékeinél (abszolútérték maximumoknál)
 - A másodfokú derivált zérus átmeneteinél (előjelváltásainál)

Éldetektáló szűrők feltételei

- Ne reagáljon sima képrészen
 - Szükséges: a maszk súlyok összege 1
- Izotrópia
 - A válasz irány független legyen
- Megbízható válasz
 - Ne legyen érzékeny zaj által keltett hamis élekre (false positive)
 - Ne hagyjon ki éleket (false negative)
- Pontos lokalizáció
 - A megtalált élek a valósághoz lehető legközelebb legyenek
- Egyszeres válasz
 - Ugyanaz az élrész ne legyen többször megtalálva

$$\sum_{r,c} w(r,c) = 0$$

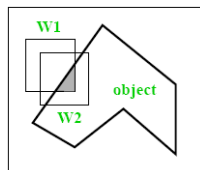


Izotrópia



- Izotróp szűrők:
 - Minden irányú élre azonosan jól reagálnak
- Anizotróp él szűrők:
 - Nem uniform a megtalált élerősség
 - Példa: Az él iránytól függően:
 - 45 fok erősebb
 - 90 fok gyengébb

Egyszeri válasz



- Az él W1 és W2 ablakokban is látszik -> fantom élek vastag kontúr keletkezik
 - Az ablak és az él átfedésén múlik, hogy reagál-e a szűrő
 - Többszörös válasz tipikus minden ablakkal dolgozó él szűrőnél

A kép gradiens

- Legyen f a kép folytonos intenzitás függvénye, tegyük fel hogy sima.

- A **gradiens vektor**:

$$\nabla f(x,y) \doteq \left(\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right) = (f_x, f_y)$$

ahol f_x és f_y az f parciális

- A gradiens hossza (magnitude):

$$M(x,y) = \|\nabla f(x,y)\| = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$$

- A gradiens iránya (orientation):

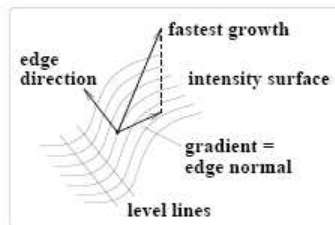
$$\Theta(x,y) = \arctan \frac{f_x}{f_y}$$

- Megadja a leggyorsabb változás irányát

A kép gradiens



- Kép felület és a gradiens:



Gradiens maszkok

- A deriváltakat diszkrét eset miatt véges különbségekkel közelítjük: $f * G_x = f_x, f * G_y = f_y$
- Gradiens maszk család: $2 \leq p \leq 4$

- X, Y irányú maszkok:

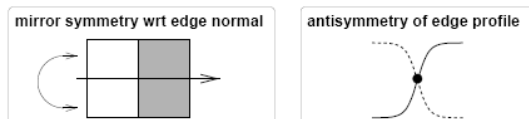
$$\frac{1}{p} \begin{matrix} & G_x & \\ \begin{matrix} -1 & 0 & 1 \\ 2-p & 0 & p-2 \\ -1 & 0 & 1 \end{matrix} & & \end{matrix} \quad \frac{1}{p} \begin{matrix} & G_y & \\ \begin{matrix} -1 & 2-p & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & p-2 & 1 \end{matrix} & & \end{matrix}$$

- Leggyakrabban a Prewitt és a Sobel maszkokat használjuk:

- Prewitt: $p=3$; Sobel: $p=4$; Izotróp: $p=2 + \sqrt{2}$

$$\begin{matrix} \text{Prewitt } G_x & \text{Sobel } G_x & \text{Isotropic } G_x \\ \frac{1}{3} \begin{matrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{matrix} & \frac{1}{4} \begin{matrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{matrix} & \frac{1}{2+\sqrt{2}} \begin{matrix} -1 & 0 & 1 \\ -\sqrt{2} & 0 & \sqrt{2} \\ -1 & 0 & 1 \end{matrix} \end{matrix}$$

Gradiens maszk feltételek



- Tükörszimmetria az él normálisra
 - 1,3 sorok azonosak $G_x(1, c) = G_x(3, c)$
 - Y-ra oszlopokkal ugyanígy
- Antiszimmetria az intenzitás profilra
 - Első és utolsó oszlop egymás negáltja, középső oszlop 0

$$G_x(r, 1) = -G_x(r, 3), \quad G_x(r, 2) = 0$$

- Y-ra sorokkal hasonlóan

Gradiens maszk feltételek

- Alacsony frekvencia elnyomása
 - $\sum_{r,c} G_x(r, c) = \sum_{r,c} G_y(r, c) = 0$
 - Antiszimmetriából következik
- Normalizált válasz
 - Egységnyi intenzitás változás egységnyi maszk válasz
- Gradiens maszkok ezen feltételekből meghatározhatók

Canny éldetektáló tulajdonságok

- Canny alkalmazható:
 - Zajos szögletes él profilkra
 - Additív, korrelálatlan és Gauss zajmodellekre
 - Lineáris él szűrő maszkokkal
- Optimális működéshez kell:
 - Megbízhatóság
 - Pontosság
- Az egyszeri választ 2 utószűrővel érjük el:
 - Nem-maximum elnyomás (non-maxima suppression)
 - Histerízis küszöbölés (hysteresis thresholding)

Egyszerűsített Canny

- Eredeti Canny bonyolult
- Egyszerűsített változat:
 - Gaussz szűrés $g(x, y) = f(x, y) * w_G(x, y; \sigma)$
 - Szigma a szűrőméretet határozza meg
 - Kívánt él méret
 - Zajszint
 - Megbízhatóság-pontosság trade off (mint mintaillesztésnél)
 - Gradiens operátor az a gradiens hossz és irány meghatározására

$$\nabla g(x, y)$$

- A lineáris szűrők associativitása, Gaussz szűrő szeparabilitása következményeként megvalósítható 1D szűrőkkel

$$\nabla w_G(x, y) = (w_G(y) \cdot w'_G(x), w_G(x) \cdot w'_G(y))$$

$$w'_G(x) \doteq \frac{\partial w_G(x)}{\partial x} = C \cdot x \exp \left\{ -\frac{x^2}{2\sigma^2} \right\}$$

Lokalizáció

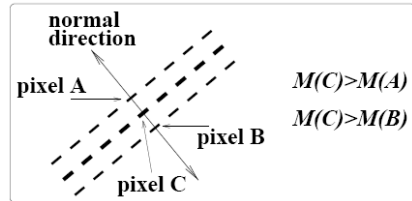
- Bemenet:
 - Él erősség $M(x, y)$
 - Él orientáció $\Theta(x, y)$
- Kimenet:
 - Éltrékép: bitmap, 1 él, 0 nem él
- M lokális maximumait választja, többfajta szűrővel alkalmazható
- 2 lépés:
 - Nem-maximum elnyomás (non-maxima suppression)
 - Histerízis küszöbölés (hysteresis thresholding)

Non maxima suppression

Algorithm 1: Non-maxima suppression

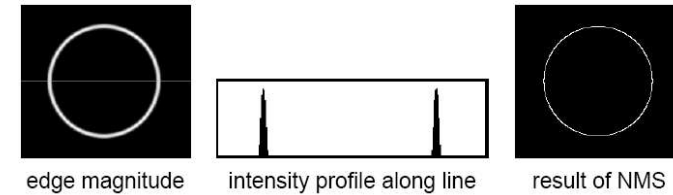
- 1 From each position (x, y) , step in the two directions **perpendicular** to edge orientation $\Theta(x, y)$
- 2 Denote initial pixel (x, y) by C , the two neighbouring pixels in perpendicular directions by A and B
- 3 If $M(A) > M(C)$ or $M(B) > M(C)$, discard pixel (x, y) by setting $M(x, y) = 0$

Non maxima suppression elve



- C pixel megmarad:
 $M(C) > M(A)$ and $M(C) > M(B)$
- A és B pixelek törlődnek:
 $M(A) < M(C)$, $M(B) < M(C)$

Non maxima suppression példa



- NMS lecsökkenti a kontúr vastagaágát (valójában 1 pixelre)
- Maradnak zajos lokális maximumok
- „Gyenge” éleket el kell tüntetni : hiszterezis

Hysteresis thresholding

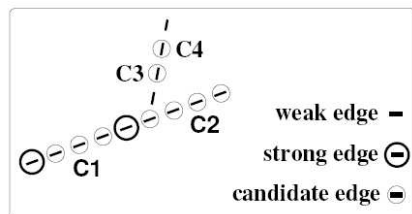
- Bemenet:
 - Él erősség: $M_{NMS}(x, y)$
- Kimenet:
 - Finomított éltérkép
- Paraméterek: 2 küszöb
 - Erős él: $M_{NMS}(x, y) > T_{high}$
 - Gyenge él: $M_{NMS}(x, y) \leq T_{low}$
 - Minden más pixel **jelölt**

Hysteresis thresholding

Algorithm 2: Hysteresis thresholding

- 1 In each position of (x, y)
 - discard edge pixel (x, y) if it is **weak**
 - output edge pixel (x, y) if it is **strong**
- 2 If edge pixel is **candidate**,
 - follow chain of connected local maxima in both directions **along the edge**
 - stop when $M_{NMS}(x, y) \leq T_{low}$
- 3 Make decision upon the starting candidate pixel
 - output it if it is **connected to a strong pixel**
 - otherwise, do not output it

Hysteresis thresholding elve



- C1 és C2 jelöltek a kimenetre kerülnek
- C3 és C4 jelöltek törlődnek

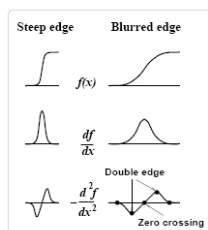
Hysteresis thresholding példa



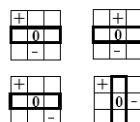
original image edge magnitude $T = \{5, 20\}$ $T = \{20, 40\}$

- Magasabb küszöb kevesebb él
- A konnektivitás megmarad

Zero crossing

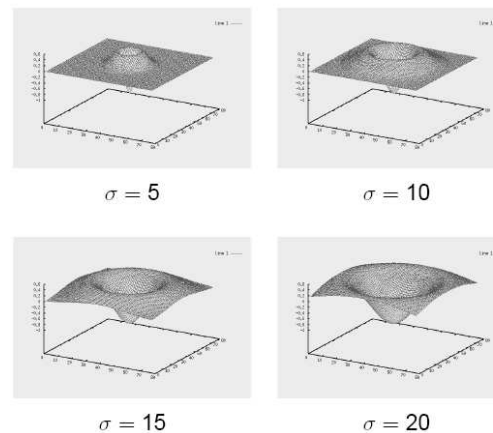


principle of zero-crossing masks for zero-crossings



- Laplasz szűrő alkalmazása
- Zéró átmenetek keresése
 - Egyszerű maszk
 - Analitikus megoldás
- LoG alkalmazása

LoG maszkok



Él detektálás példák



LoG absolute



LoG zero



DoG zero

- Log Absolut: LoG abszlútértéke
- Log Zero: gyenge élek eltávolítása
- DoG Zero: LoG approximációja Gausszok különbségével, gyenge élek megtartva

Zero crossing tulajdonságok

- Folytonos zárt él kontúr
- A szigma határozza meg a méretet
- Nem ad él orientációt

Él detektor példák



Prewitt 3×3



Mérő-Vassy 7×7



LoG 21×21



Canny 3×3



Canny 7×7



Canny 25×25

Források:

- D. Chetverikov: ELTE Digitális képelemzés előadás: <http://visual.ipan.sztaki.hu/>