

Ipari képfeldolgozás

Sarokdetektálás

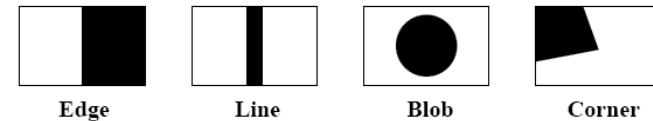
Megyesi Zoltán

megyesi.zoltan@gamf.kefo.hu

KF GAMF Kar AAI Szakcsoport



Jellegzetes kép elemek – képi jellemzők (image features)

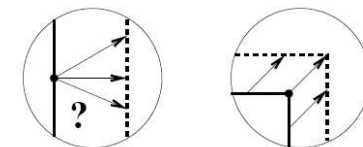


- Él
 - Drasztikus változás az intenzitásfüggvényben
- Vonal
 - Keskeny, hosszúkás, azonos szélességgel és intenzitással rendelkező képrész
- Folt
 - Kompakt képrész azonos intenzitásértékkel
- **Sarok**
 - Éles kontúr törés

Képi sarkok

- Sarok: éles törés a kontúron
- Sarokdetektálás és az emberi látás:
 - Domináns szerepet játszik az alakzatok felismerésében
- A sarkok fontos elemei az gépi alakzat felismerésnek (shape recognition), mozgásdetektálásnak (motion analysis)
- Két irány:
 - Sarokdetektálás kontúron
 - Sarokdetektálás képeken
- A kurzusban: sarokdetektálás képeken

Sarkok a mozgásdetektálásban



ambiguity

unambiguity

- Többértelműségi probléma (Aperture problem)
- Élek mozgása többértelmű
 - Lokális műveletek esetén csak az élre merőleges (normális irányába mutató) mozgás érzékelhető
 - Az éllel azonos irányú (tangenciális irányába mutató) mozgás nem érzékelhető
- Sarkok mozgása egyértelmű

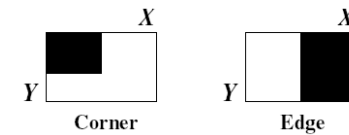
Sarkok az alakzatfelismerésben



The Attneave's Cat
(Attneave, 1955)

- Attneave kísérlete: Kevés számú magas görbületű pont (sarkpont) ismeretével, azok egyenes vonalakkal való összekötésével az alakzatok felismerhetők.
- 38 db sarkpont használatával és összekötésével a macska felismerhető

Képi sarkok



- Képi sark: olyan pontok, ahol az intenzitásfüggvény $f(x,y)$ két különböző irányba is hirtelen változik
 - Mindkét parciális derivált, f_x és f_y is nagy
- Képi élek: olyan pontok, ahol az intenzitásfüggvény egy irányban hirtelen változik, de arra az irányra merőlegesen nem változik.
 - Pl: y irányú él: f_x nagy, de f_y kicsi

Sarokdetektálási algoritmusok

- Sok sarokdetektáló létezik, kettővel foglalkozunk
 - Kanade-Lucas-Tomasi (KLT) operator (1994)
 - Harris operator (1988)
- Indok:
 - Legelterjedtebbek,
 - Sarkokat és „érdemleges területeket” keres (interest points)
 - Sok alkalmazási terület:
 - Mozgás követés, sztereó illesztés, képi adatbázis elemzés
 - Egyszerű és megbízható
- A két módszer kapcsolatban áll
 - Mindkettő a lokális struktúra mátrixon alapszik

Lokális struktúra mátrix meghatározása

$$C_{str} = \begin{bmatrix} f_x f_x & f_x f_y \\ f_x f_y & f_y f_y \end{bmatrix} * w_G(r; \sigma)$$

- A gradiens mező változatosságát írja le egy pontban
- Lokális struktúra mátrix kiszámítása:
 - Zajszűrés
 - Elsőrendű derivált számítás
 - Derivált szorzatok kiszámítása minden pixelen ($f_x^2, f_x f_y, f_y^2$)
 - Szorzatképek szűrése doboz, vagy Gauss (választott szigma) szűrővel
 - Lokális struktúra mátrix meghatározása minden pixelhez a 3 szűrt szorzatkép alapján

Lokális struktúra mátrix tulajdonságai

előljé a simítást a eredményét a \wedge , akkor a struktúra mátrix:

$$C_{str} = \begin{bmatrix} \widehat{f_x f_x} & \widehat{f_x f_y} \\ \widehat{f_x f_y} & \widehat{f_y f_y} \end{bmatrix}$$

- A lokális struktúra mátrix:
 - Szimmetrikus
 - Következmény: forgatással diagonalizálható
 - A diagonálisban a sajátértékek jelennek meg:

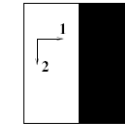
$$C_{str} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix}$$

- Pozitív szemi-definit:
 - Következmény: a sajátértékei nemnegatívak
 - Feltételezhetjük, hogy $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq 0$

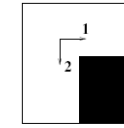
Lokális struktúra mátrix sajátértékei



uniform image
 $\lambda_1 = \lambda_2 = 0$



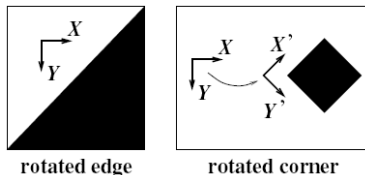
ideal step edge
 $\lambda_1 > 0, \lambda_2 = 0$



ideal corner
 $\lambda_1 \geq \lambda_2 > 0$

- Teljesen uniform képre: $C_{str} = 0$ and $\lambda_1 = \lambda_2 = 0$
- Tökéletes lépcső-élre: $\lambda_1 > 0, \lambda_2 = 0$
 - A nagyobbik sajátértékhez tartozó sajátvektor merőleges az élre
- Sarkokra: $\lambda_1 \geq \lambda_2 > 0$
 - Nagyobb kontraszt, nagyobb sajátérték

Lokális struktúra mátrix diagonalizálása



rotated edge

rotated corner

- A sajátvektorok mutatják az él irányát, a sajátértékek az él erősséget
- Sarok az, aminek környezetében jelen van két különböző eltérő irányú erős él
 - A kisebbik sajátérték is elég nagy
- A diagonalizálás tulajdonképpen az él elforgatása a fő koordináta rendszerhez

A simítás szerepe lokális struktúra mátrixban

- A gradiens megmondja hogy egy adott pixelpozícióban merre változik leggyorsabban az intenzitásfüggvény
 - Egy pontból nem állapítható meg hogy valami sarok-e
- Egy pont környezetében levő gradiensmező-t vizsgáljuk
- A lokális struktúra mátrix tulajdonképpen a vizsgált gradiens mező kovariancia-mátrixa
- A lokális struktúra mátrix diagonalizálásval, sajátértékeinek, sajátvektorainak meghatározásával főkomponens analízist végzünk a gradiens mezőn.
- Lásd: Karhunen-Loève transzformáció (egy másik KLT...)

A Kanade-Lucas-Tomasi sarokdetektáló (KLT sarokdetektáló)

- A KLT sarokdetektálónak 2 paramétere van:
 - Alsó küszöb a kisebbik sajátértékre (λ_{\min})
 - A simító szűrő mérete D

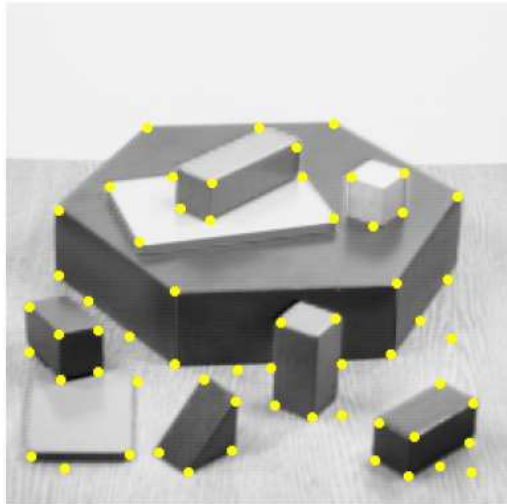
Algorithm 1: KLT corner detector

- 1 Compute f_x and f_y over entire image $f(x, y)$
- 2 For each image point p :
 - (a) form matrix C_{str} over $D \times D$ neighbourhood of p
 - (b) compute λ_2 , the smaller eigenvalue of C_{str}
 - (c) if $\lambda_2 > \lambda_{thr}$, save point p into list L
- 3 Sort L in decreasing order of λ_2 , obtain sorted list L_S
- 4 Scan L_S from top to bottom; for each current point, p_i
 - consider all points $p_k, k > i$
 - delete p_k from L_S if $p_k \in D \times D$ neighbourhood of p_i

A KLT paramétereit és eredménye

- A KLT eredménye egy „jellemző” pont lista, azokkal a pixelelkel, ahol
 - nagy a kisebbik sajátérték: $\lambda_2 > \lambda_{thr}$
 - A D környezetben belül nincs más sarok
 - Nem a sarok pontos pozíciója! Csak azt a környezetet jelzi, amin belül a legnagyobb az él változatosság
- A küszöb meghatározása
 - Vegyük a kisebbik sajátérték szerinti hisztogramot
 - Keressünk völgyet a hisztogramban / vagy húzzunk kézzel küszöböt
- A D környezet meghatározása
 - Manuálisan: mekkora sarkokra legyünk érzékenyek
 - Milyen közel legyenek egymáshoz
 - Tipikusan 2-10 között
 - Ha D nagy
 - A sarok pozíciók pontatlanok lesznek
 - Az apróbb sarkok elvesznek
 - Ha D kicsi
 - Zajos sarkok keletkeznek

KLT példa



A Harris sarokdetektáló

- A Harris sarokdetektáló korábban létezett mint a KLT, azonos koncepción alapszik, egyszerűbb a megvalósítása
- Harris a sarok erősséget méri:
$$H(x, y) = \det C_{str} - \alpha (\text{trace } C_{str})^2$$
- Ahol α egy érzékenységi paraméter: $0 \leq \alpha \leq 0.25$
- Ha α a fenti tartományban mozog akkor: $H \geq 0$
- Sarok az, ahol H értéke nagy $H(x, y) > H_{thr}$
 - H_{thr} egy küszöb paraméter a sarok erősségre
- Mint a KLT esetében, a lokális struktúra mátrix számolásánál használt simítás itt is számít: D értéke szabályozza a sarokdetektáló méretét, és az a területet ahol a legerősebb sarkot hagyjuk meg

A Harris sarokdetektáló paramétere

- Legyen $\lambda_1 = \lambda, \lambda_2 = \kappa\lambda, 0 \leq \kappa \leq 1$.
- A sajátérték, a determináns és a nyom közötti összefüggést kihasználva:

$$\det A = \prod_i \lambda_i \quad \text{trace } A = \sum_i \lambda_i,$$

- Kapjuk:

$$H = \lambda_1 \lambda_2 - \alpha(\lambda_1 + \lambda_2)^2 = \lambda^2 [\kappa - \alpha(1 + \kappa)^2]$$

- Feltéve, hogy $H \geq 0$

- Kis kappára: $0 \leq \alpha \leq \frac{\kappa}{(1 + \kappa)^2} \leq 0.25$

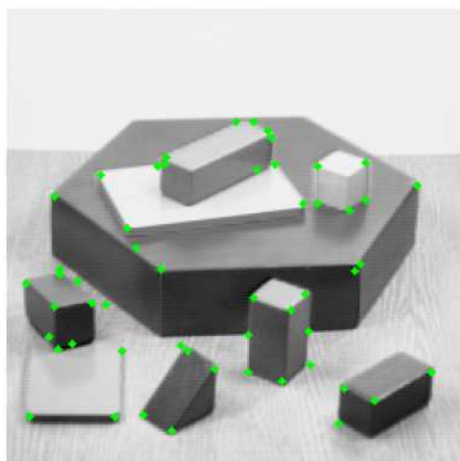
$$H \approx \lambda^2 (\kappa - \alpha), \alpha \lesssim \kappa$$

Harris és KLT paramétereinek kapcsolata

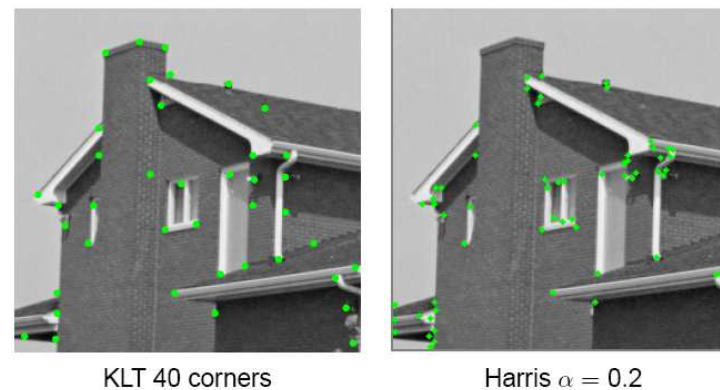
- A Harris alfa paramétere hasonlít a KLT lambda küszöbéhez
 - Ha alfa nagyobb, H kisebb, kevésbé érzékeny a detektálás, kevesebb sarkot találunk
 - Ha alfa kisebb, H nagyobb, érzékenyebb a detektálás, több sarkot találunk
- Harris H_{α} paramétere általában 0-hoz közeli fix értékkel, alfát változtatjuk



Harris példa



KLT, Harris összehasonlítás



Sarokdetektálás összefoglalás

- KLT és Harris összefüggenek
 - Mindkettő a lokális struktúra mátrixon dolgoznak
 - Olyan pontokat keresnek ahol a gradiens mezőben dominálnak az egymásra merőleges irányok
- Különbségek:
 - KLT explicit küszöböt állít a sajátértéknek
 - Harris implicit küszöböt állít a „sarokerősség” bevezetésével
- A KLT sarokdetektáló
 - Általában az emberi érzékeléshez hasonló eredményt ad
 - Mozgáselemzésben előszeretettel alkalmazzák (KLT Tracker)
- A Harris sarokdetektáló
 - Képi forgatások, intenzitás-transzformációk esetén azonos eredményt ad
 - Gyakran használják sztereó algoritmusokban, és képi adatbázis elemzésben
- Egyik sem csak sarkok, hanem „érdemleges területek” keresésére is alkalmas

Források:

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