

Loványi István vizsgakérdései kidolgozva (béta)

1. Morfológiai képfeldolgozás elmélete

1. Alapvető halmazműveletek, tulajdonságaik

Műveletek:

- egyesítés (unió)
- metszet
- negált
- összetett műveletek...

Tulajdonságok:

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ kommutativitás <ul style="list-style-type: none"> ■ $A \cup B = B \cup A$ ■ $A \cap B = B \cap A$ ■ asszociativitás <ul style="list-style-type: none"> ■ $(A \cup B) \cup C = A \cup (B \cup C)$ ■ $(A \cap B) \cap C = A \cap (B \cap C)$ | <ul style="list-style-type: none"> ■ disztributivitás <ul style="list-style-type: none"> ■ $A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$ ■ $A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$ ■ dualitás („*” = komplementer) <ul style="list-style-type: none"> ■ $(A \cup B)^* = A^* \cap B^*$ ■ $(A \cap B)^* = A^* \cup B^*$ ■ $(A^*)^* = A$ |
|---|---|

2. Fit and hit, erózió, dilatáció

Mire jó: zajszűrés, objektumok elkülönítése és leválogatása.

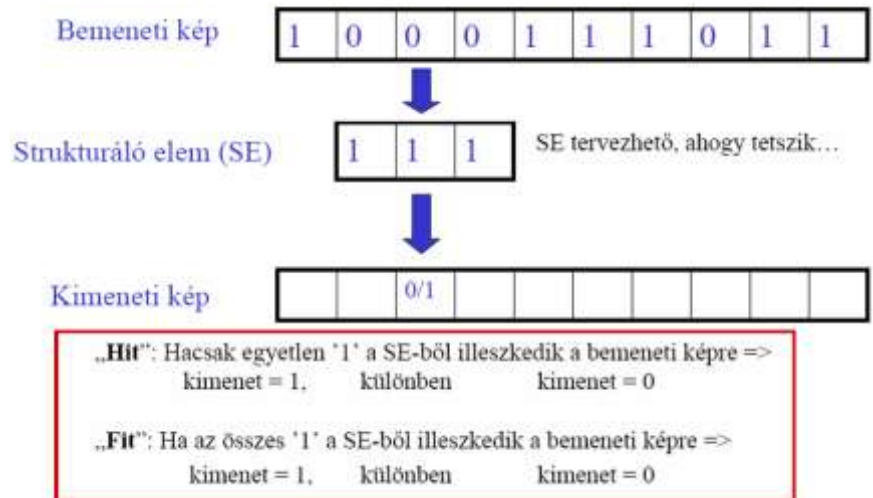
Erózió:

- fit műveleten alapul
- az objektum kisebb lesz

Dilatáció:

- hit műveleten alapul
- az objektum nagyobb lesz, a lyukak betömődnek

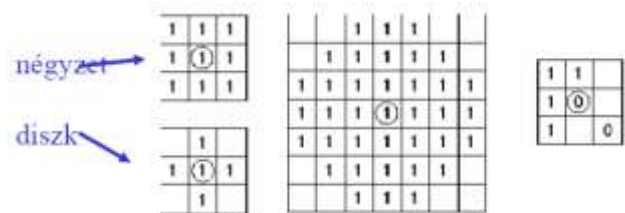
Negált képen dilatáció = erózió



3. Morfológiai műveletek 2D-képeken, strukturáló elemek

Strukturáló elem (SE):

- különböző méretű lehet
- központja van
- üres pontok = „don't care” elemek
- alakok: pl. négyzet, diszk



Műveletek:

- | | | |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ erózió ■ dilatáció | <ul style="list-style-type: none"> ■ nyitás ■ zárás | <ul style="list-style-type: none"> ■ kontúrkeresés ■ hit and miss |
|---|---|---|

4. Morfológiai kontúrkeresés, nyitás, zárás, hit and miss

Kontúrkeresés: dilatació (objektum nagyobb lesz), ezt kivonjuk az eredeti képből.



Nyitás:

- cél: zaj eltávolítása, de az eredeti objektum mérete és formája változatlan maradjon
- erózió + dilatació
 - használjuk ugyanazt a strukturáló elemet
- $f(x, y) \circ SE = (f(x, y) \ominus SE) \oplus SE$
- idempotens
- strukturáló elemnek bele kell férnie a legkisebb megőrzendő objektumba

Zárás:

- cél: lyukak „betömése”, de az eredeti objektum mérete és formája változatlan maradjon
- dilatació + erózió
 - használjuk ugyanazt a strukturáló elemet
- $f(x, y) \bullet SE = (f(x, y) \oplus SE) \ominus SE$
- idempotens
- alkalmazás: szegmentálás minőségének javítása: küszöbözés+zárás

Hit and miss:

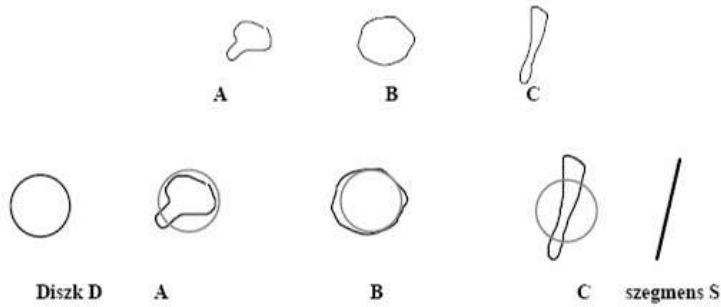
- bizonyos tulajdonságú pontok (sarokpont, kontúrpon, ...) kiválasztása
- két SE, melyek metszete üres halmaz
- erózió SE1-gyel a képen; erózió SE2-vel a kép negáltján; a kettő metszete lesz az eredmény *vagyis a háttérpontokra is keresünk egyezést*

5. 4-6-8-szomszédos képábrázolás hatása

...

6. Alakzatok osztályozása, csontváz, BLOB-jellemzők osztályozása

Alakzatok osztályozása: különböző SE-ekkel



A D diszk vagy az S szegmens végigmegy a képen,
ha teljesen része az alakzatnak – súlypontja megjelölve

B magába foglalja D-t

C magába foglalja S-t

Csontváz:

- def. (1): a maximális méretű, még az objektumba foglalható diszkek, súlypontjukkal jellemezve
- def. (2): azok a pontok, melyek az objektum határvonalain fekvő két ponttól azonos minimális távolságra vannak
- meghatározás (1): erózió és dilatació műveletekkel
- meghatározás (2): eróziók sorozatával (vége, ha az erózió mindkét oldalról azonos pillanatban ér el egy pontot)

BLOB-jellemzők osztályozása:

BLOB – Binary Large Object

Jellemzők:

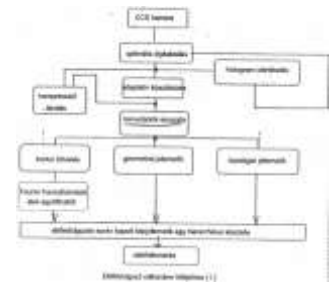
- terület (pixelek száma) – *zajt el kell távolítani*
- lyukak száma
- objektum területe
- lyukak területe
- teljes terület (lyuk + objektum területe)
- kerület (kontúr hossza)
- befoglaló keret
- súlypont
- „kompaktság” – diszkre minimális, téglalapra minimális, ...
- körkörösség
- legnagyobb távolság (**Feret-átmérő**)
- orientáció (Feret-átmérő orientációja)
- alak
 - nyújtottság – *befoglaló keret méreteinek aránya*
 - terület-kerület aránya – *illeszkedés a befoglaló téglalapba, ellipszisbe*
- ...

...

2. Bináris morfológiai célhardver – mikro-makrojellemzők

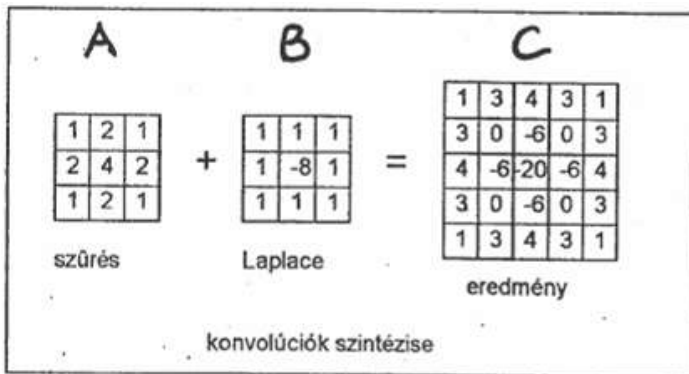
1. Bináris előfeldolgozó célhardver koherens algoritmusai

- optimális digitalizálás
- hisztogram-kiegyenlítés
- adaptív küszöbözés
- kompressziótárolás
- konvolúció
- kontúrkövetés
- Fourier-transzformáció
- alakfelismerés



2. Lokális ablakműveletek kiterjesztése nagyobb képrészletekre, szürkeárnyaltos képekre

Konvolúciós ablakok szintézise:



$$c_{11} = a_{11} \cdot b_{11}$$

$$c_{12} = a_{11} \cdot b_{12} + a_{12} \cdot b_{11}$$

$$c_{13} = 2 \cdot a_{11} \cdot b_{11} + a_{12} \cdot b_{12}$$

$$c_{22} = a_{11} \cdot b_{22} + 2 \cdot a_{12} \cdot b_{12} + a_{22} \cdot b_{11}$$

$$c_{23} = 2 \cdot a_{11} \cdot b_{12} + 2 \cdot a_{12} \cdot b_{11} + a_{12} \cdot b_{22} + a_{22} \cdot b_{12}$$

$$c_{33} = 4 \cdot a_{11} \cdot b_{11} + 4 \cdot a_{12} \cdot b_{12} + a_{22} \cdot b_{22}$$

3. Euler-szám, kerület, terület, geometriai jellemzők meghatározása

Euler-szám:

$$E = N - U:$$

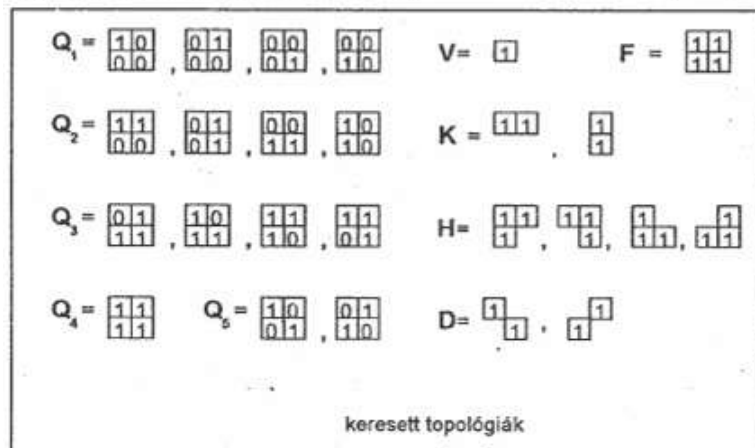
alakzatok - lyukak száma

$Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5, V, K, H, D, F:$

keresett topológiák

$q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, v, k, h, d, f:$

keresett topológiák száma



Euler szám:

4 szomszédú képábrázolás esetén:

$$E = v - k + f \text{ vagy } E = 0.25(q_1 - q_3 + 2q_5)$$

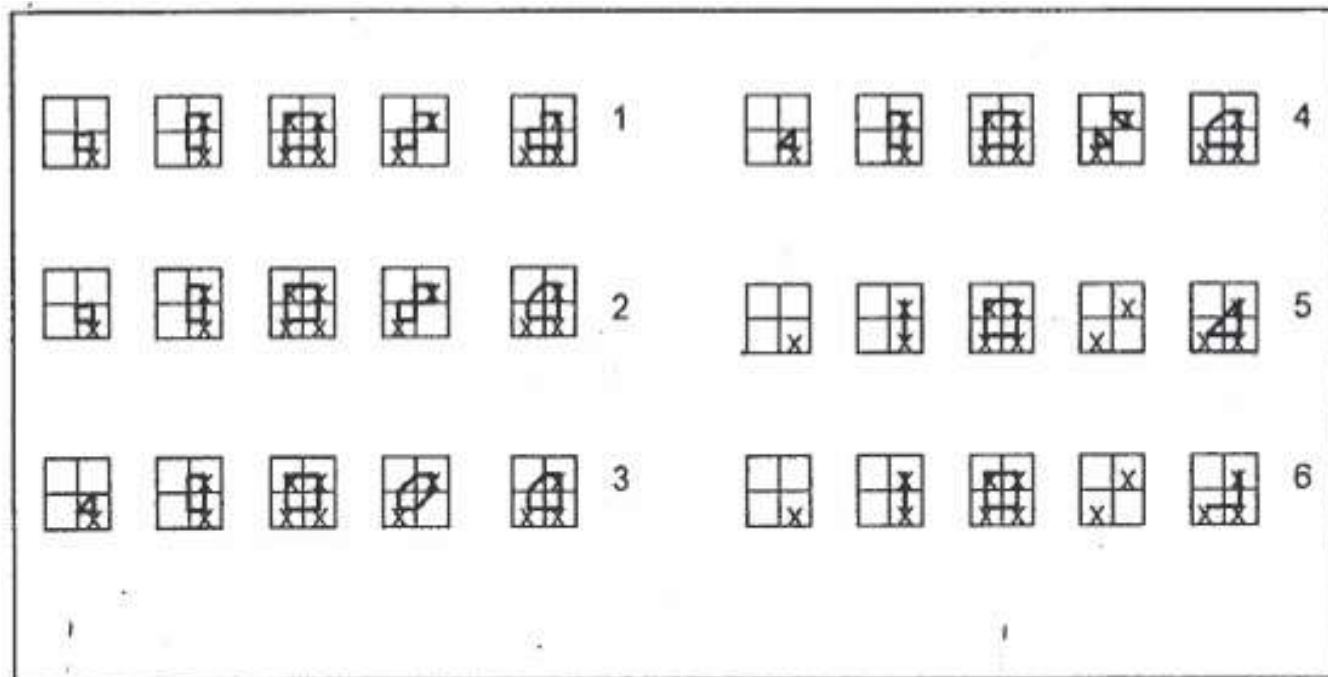
8 szomszédú képábrázolás esetén:

$$E = v - k - d + h - f \text{ vagy } E = 0.25(q_1 - q_3 - 2q_5)$$

Kerület, terület:

Mintavételezés különböző értelmezése: különböző hibák.

A kerület számításánál a mintavételezés finomítása nem segít!



P: kerület

A: terület

1. $P = q_1 + q_2 + q_3 + 2q_5$

$A = \frac{1}{4}(q_1 + 2q_2 + 3q_3 + 4q_4 + 2q_5)$

2. $P = q_1 + q_2 + \frac{1}{\sqrt{2}}q_3 + 2q_5$

$A = \frac{1}{4}(q_1 + 2q_2 + 3,5q_3 + 4q_4 + 2q_5)$

3. $P = q_2 + \frac{1}{\sqrt{2}}(q_1 + q_3 + 2q_5)$

$A = (\frac{1}{8}q_1 + \frac{1}{2}q_2 + \frac{7}{8}q_3 + q_4 + \frac{3}{4}q_5)$

4. $P = q_2 + \frac{1}{\sqrt{2}}(q_1 + q_3 + 2q_5)$

$A = \frac{1}{8}q_1 + \frac{1}{2}q_2 + \frac{7}{8}q_3 + q_4 + \frac{1}{4}q_5$

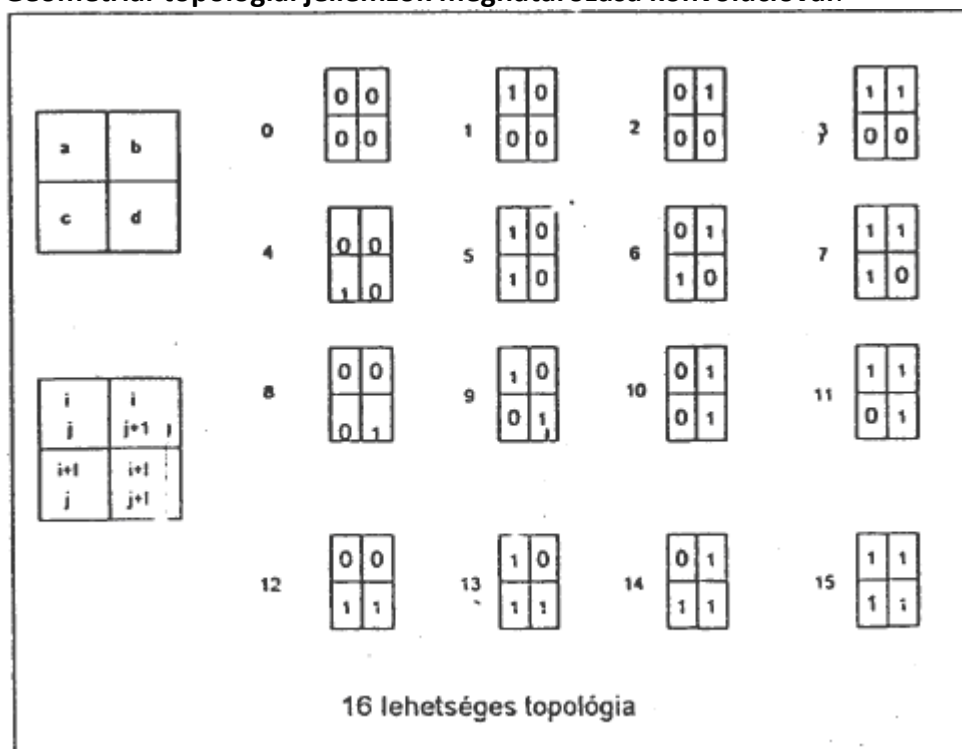
5. $P = q_2 + 2q_3$

$A = \frac{1}{2}q_3 + q_4$

6. $P = q_2 + 2q_3$

$A = q_4$

Geometriai-topológiai jellemzők meghatározása konvolúcióval:



Struktúra vektor: $\vec{V} = [v_0, v_1, \dots, v_{15}]$

bizonyíthatóan 10 független globális geometriai jellemző definiálható pl.:

Egyenlet

terület

$$A = \sum_{k=0}^7 v_{2k+1}$$

vízszintes vetülete a kerületnek

$$P_H = v_2 + v_6 + v_{10} + v_{14}$$

függőleges vetület

$$P_V = v_4 + v_6 + v_{12} + v_{14}$$

Euler szám (8-szomszédú)

$$E_8 = v_8 - v_6 - v_{14}$$

Euler szám (4-szomszédú)

$$E_4 = v_8 + v_9 - v_{14}$$

orientáció

$$O = v_6 - v_9$$

konvex sarkok száma (45°)

$$v_2$$

konvex sarkok száma (135°)

$$v_1$$

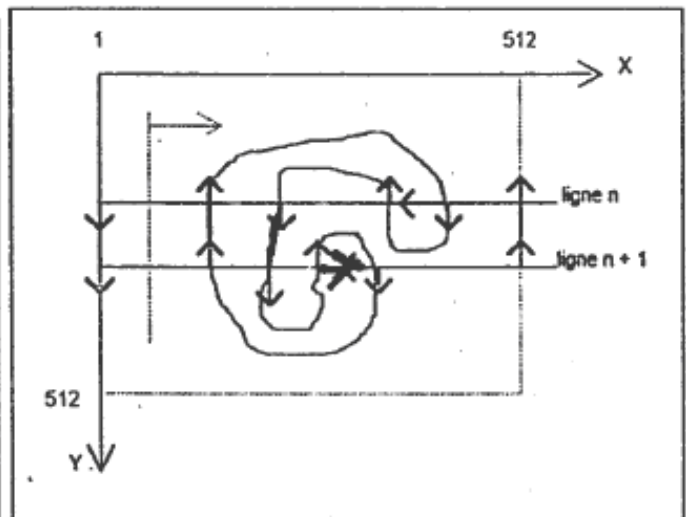
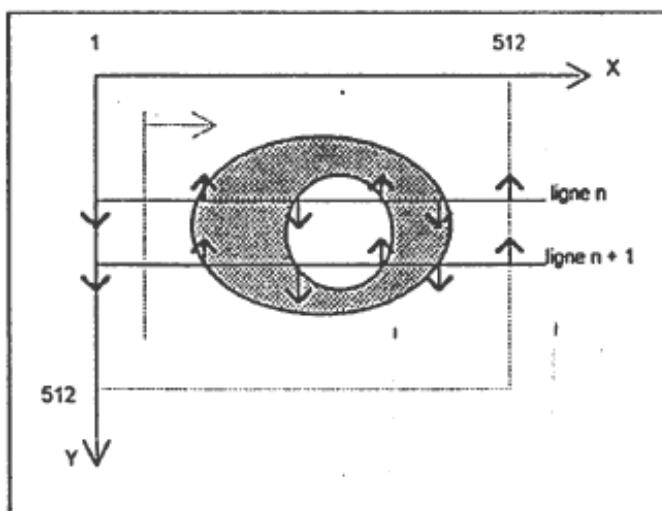
konvex sarkok száma (225°)

$$v_4$$

konvex sarkok száma (315°)

$$v_8$$

4. Kontúrkövetés, kontúrok topológiai leírása



Algoritmus:

kontúr(n) nem vesz körül kontúrt:

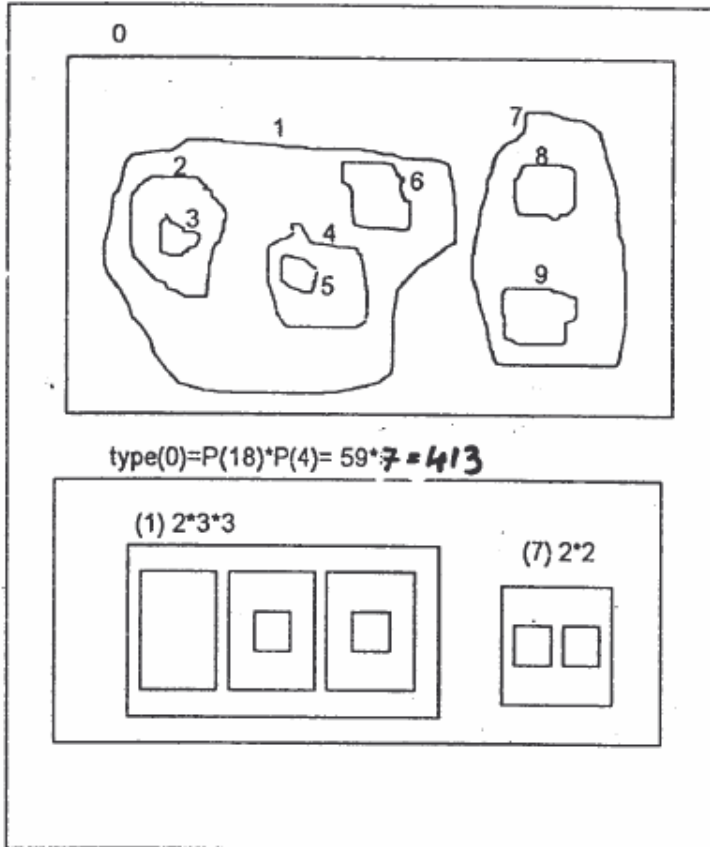
$$type(n)=1$$

kontúr(n) az $m_1, m_2, \dots, m_k$ kontúrt veszi körül:

$$type(n) = \prod_{i=1}^k p(type(m_i)) \quad (p(x): x. \text{ prímszám})$$

type	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	...
prímszámok	1	2	3	5	7	11	13	17	19	23	...

Példa:



5. Kontúrok Fourier-transzformáltja; eltolás-, nagyítás-, forgatás-invariancia

Kontúrok Fourier-transzformáltjának alkalmazási lehetőségei:

- kompresszió,
- szűrés,
- invariáns alakleírás.

Elv: kontúrponthoz komplex számok sorozataként ábrázoljuk.

$$F_j = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} c_k * e^{-i(\frac{2\pi k j}{N})} \quad j=0,1, \dots (N-1)$$

Inverz transzformáció:

$$c_k = \sum_{j=0}^{N-1} F_j * e^{i(\frac{2\pi k j}{N})} \quad k=0,1, \dots (N-1)$$

ahol F_j a j . Fourier-együttható, c_k a k . kontúrponthoz $(c_k = x_k + i \cdot y_k)$, N a kontúrponthoz száma.

A 0. együttható a kontúr súlypontját adja meg:

$$F_0 = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} c_k$$

Invariancia eltolásra: $F_0=0$ választás mellett a súlypont mindig az origóba kerül.

Invariancia nagyításra:

$F'_j = n \cdot F_j$; n szerez nagyítás

$$\frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} |c_k|^2 = \sum_{j=0}^{N-1} |F_j|^2$$

$\sum_{j=0}^{N-1} |F_j|^2$ -vel normálva a területet normalizáljuk, azaz azonos formájú alakzatoknak azonos lesz a területük.

$$F'_j = n \frac{F_j}{\sum_{j=0}^{N-1} |F_j|^2}$$

ahol n a megjelenítés nagyítási faktora.

Invariancia forgatásra:

Kétfajta rotáció lehetséges:

1. Elforgatás φ_1 -el

$$F'_j = F_j e^{ij\varphi_1}$$

2. Kezdőpont eltolás φ_2 -vel

$$F'_j = F_j e^{ij\varphi_2}$$

definíció: n ponttal való kezdőpont eltolásra:

$$\varphi_2 = \frac{2\pi}{N} n$$

Tétel: Ha egy referenciaalakzat F_{1ref} és F_{-1ref} együtthatói pozitív valós számok, akkor az alakzat hosszabb, súlyponton átmenő tengelye vízszintes.

Bizonyítás: ...

Megjegyzés: A 180° -os forgatás kétértelműsége egy további geometriai jellemző figyelembevételével kiküszöbölhető.

6. Alakegyütthetők, következtetés alak- és szimmetriaviszonyokra

Alakegyütthetők generálása:

Invariancia rotációra és nagyításra, egy lehetséges példa:

$$A_k = \frac{F_{k+2} F_{-k}}{F_1^2}$$

fentiek szerint forgassuk el az alakzatot φ szöggel és a kezdőpont eltolásból eredő szöggel:

$$A'_k = \frac{c F_{k+2} e^{i\varphi} e^{-(k+2)i\alpha} c F_{-k} e^{i\varphi} e^{ki\alpha}}{(c F_1 e^{i\varphi} e^{i\alpha})^2}$$

$$A'_k = \frac{F_{k+2} F_{-k}}{F_1^2} = A_k$$

Érdemes F_j -vel normálni, mert az nem lehet zérus, így az alakegyütthetők általános képlete:

$$A_k = \frac{(F_1^{c_1} F_2^{c_2} \dots F_n^{c_n}) (F_{-1}^{c_{-1}} F_{-2}^{c_{-2}} \dots F_{-n}^{c_{-n}})}{F_1^k} \text{ ahol:}$$

$$\sum_{i=-n}^n c_i = k \quad c_i = 0, 1, 2, \dots$$

$$k = \sum_{i=-n}^n c_i \quad n \text{ a legnagyobb figyelem bevett rendszám}$$

Következtetés alak- és szimmetriaviszonyokra:

Tétel (1): Azonos formájú alakzatok azonos alakegyütthetőkkel rendelkeznek.

Tétel (2): Ha egy alakzat $2\pi/x$ rotációs szimmetriával bír, a nem zérus Fourier-együtthetők:

$$F_1, F_{1+x}, F_{1+2x}, F_{1+3x}, \dots$$

Tétel (3): Ha egy alakzatnak van legalább egy szimmetriatengelye, az alakegyütthetők valós számok.

Megjegyzés: a valós kontúrok zajosak, ekkor a tételek csak közelítőleg igazak.

3. Textúraanalízis

1. Mi a textúra? Fajták, feladatok

Textúra:

- nincs egyértelmű definíció
- képi információ = alak- és textúrajellemzők
- fajták:
 - (ismétlődő struktúra)
 - (sztochasztikus struktúra)
 - determinisztikus
 - statisztikus
 - periodikus
 - Brodatz-féle referenciatextúrák

Feladatok:

- szegmentálás, felismerés – *határok megkeresése*
- generálás, reprodukció
- szintézis – *kis minták alapján rágenerálás nagy felületekre*
- „shape from texture” – *3D-információ visszaállítása a textúra torzulásából*
- képindexálás – *textúraazonosság alapján*

2. Statisztikai textúrajellemzők

- elsőrendű statisztika
 - egyetlen pixelre
 - hisztogram adható meg
- másodrendű statisztika
 - két pixelre
 - adott értékpár, adott távolság, adott irányban...
 - *két pixel szűrkeségi szint értékének együttes előfordulása (co-occurencia)*
- N-edrendű statisztika
 - N-dimenziós mátrix lenne, de így túl nagy a számításigény

3. Spektrális textúrajellemzők

Textúraanalízis Fourier-együtthatókkal

- periodikusság – különböző frekvenciák energiájának meghatározása
- irányultság – „frekvenciacikkek” energiája
- ...

4. Strukturális textúrajellemzők

Ha a textúra valamilyen szabályosságot követ:

- primitívek diszkriminálása
- „stringek” generálása
- szegmentálás, osztályozás

A nyelvtan megtanulása a legnehezebb.

5. 3D-alak meghatározása texel hosszváltozásából

„Shape from texture”

... (06_... .pdf)

6. 3D-alak meghatározása texel területváltozásából

„Shape from texture”

...

7. 3D-alak meghatározása texel sűrűségváltozásából

„Shape from texture”

...

4. Sztereo látás. Elméleti alapok, egyedi megvalósítások

5. Hol van a képeken? Jellemző felismerése és követése

1. Szín és él robusztus keresése képszekvenciákon

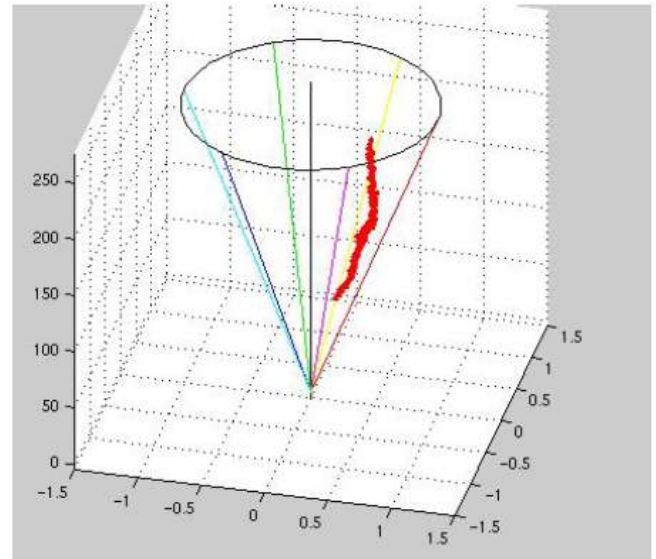
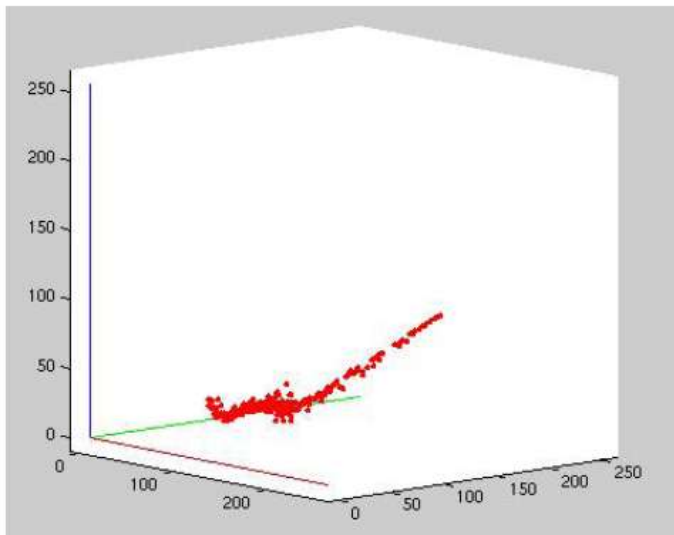
Szín felismerése:

Probléma: mi a „piros”?

RGB-reprezentáció...

RGB helyett használjunk intenzitásfüggetlen reprezentációt: **HSI**

RGB color space alternative representation



HSI color space

RGB-HSI-konverzió:

$$I = \max(R, G, B)$$

$$S = (I - \min(R, G, B)) / 255$$

$$H = 0 + (G - B) / \Delta$$

$$= 1/3 + (B - R) / \Delta$$

$$= 2/3 + (R - G) / \Delta$$

$$\Delta \text{ is } (\max - \min) \text{ of } RGB$$

ha a maximum R

ha a maximum G

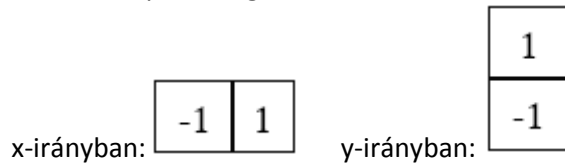
ha a maximum B

Követéshez: maximális és minimális küszöbértékek jobban kezelhetők HSI-térben; vegyük figyelembe a szomszédos pixeleket is.

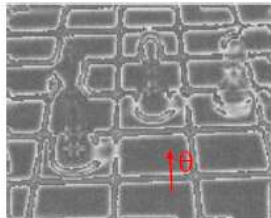
Él keresése:

- nehezebb felismerni, mint a színeket
- ha már találtunk egy élet, akkor annak közelében célszerű keresgélni
- élek könnyebben felismerhetők, ha mindig függőlegesen tartjuk őket (olyan ablakozást találunk)
 - a korábban megtalált élhez állítsuk be az ablakot
- mi az él: nagy gradiensű helyek a képen (hirtelen intenzitásváltozás), lokális maximum a gradiens irányában; ezt okozhatja:
 - minta színváltozása
 - felületi normális
 - mélység
 - megvilágítás

- éldetektálás:
 - 1.: simítás – minden pixelt a környezetében lévő pixelértékek súlyozott összegével helyettesítünk (konvolúció)
 - 2.: minden pixelnél gradiensbecslés – konvolúció új súlyokkal



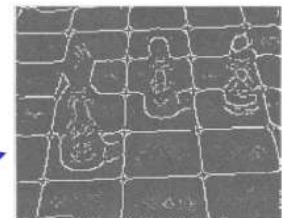
- 3.: gradiens nagyságának meghatározása és az eredmény „vékonyítása”



$$|\nabla I(x,y)| = \sqrt{I_x^2 + I_y^2}$$

$$\theta = \text{atan2}(I_x, I_y)$$

Seek out maxima in the gradient direction θ .



- 4.: küszöbözés
- ami megmarad, az lesz az élkép

2. Minta, textúra robusztus keresése képszekvenciákon, SSD-algoritmus

A keresésre alkalmas algoritmus: **SSD**

old image region at location x_t → $I_t + M \Delta x_t = I_{t+1}$ ← new image region at location x_t

(at x_t) (at x_t)

“difference image” or “motion template” the change in pose from time t to $t+1$

$$\Delta x_t = (M^T M)^{-1} M^T (I_{t+1} - I_t)$$

Kérdés: linearitási feltétel (mert az kellett hozzá...) meddig lehet igaz?

Javítás: több paraméter:

$$M \begin{bmatrix} \Delta x_t \\ \Delta y_t \\ \Delta r_t \\ \Delta s_t \end{bmatrix} = I_{t+1} - I_t$$

- x translation
- y translation
- rotation
- scale

Így még akár a megvilágítást is belevehetjük plusz paraméternek, így annak ingadozását is kiküszöbölhetjük...

3. Snake, aktív kontúr, keresési stratégiák képszekvenciákon

Kontúrkövetés nehéz: sok él, ezekből sok nem is valódi; össze-visszaság...

Módszer (sima és folytonos kontúrral rendelkező alakzatok megtalálására és követésére): aktív kontúrok deformálható modellje (**snakes**): A snake-et energiaminimalizációs kényszererők mozgatják az elvárt

irányba. Snake leírása: energiafunkcionállal. Az objektumok határainak megtalálása energiaminimalizációs feladattá alakul.

Aktív kontúr-követés lényege:

- a felhasználó (vagy egy program) egy kezdeti görbét ad meg, amely közel helyezkedik az objektum határához
- a snake ezután deformálódik, és folyamatosan a célobjektum határához húzódik
- végül teljesen körbeveszi az objektumot

Esettanulmány dinamikus kontúrok követésére: algoritmus gráfok és volumetrikus korlátok bevezetésével (...)



4. Sarokpontok robusztus keresése képszekvenciákon, Harris-operátor

Mi a sarok: ahol két él találkozik – *a gradiens mindkét irányban nagy*.

A sarkosság egy pontban nem vizsgálható, legalább egy kis ablak kell.

Kategóriák: ...

Analizáljuk a gradiensek eloszlását egy ablakon belül:

$$G = \begin{bmatrix} \sum I_x^2 & \sum I_x I_y \\ \sum I_x I_y & \sum I_y^2 \end{bmatrix}$$

Lehetséges algoritmus: sarok $\Leftrightarrow$ a sajátértékek egy küszöb felett vannak

Egy konkrét megoldás: Harris-féle sarokdetektor:

$$C(G) = \det(G) + k \cdot \text{trace}^2(G)$$

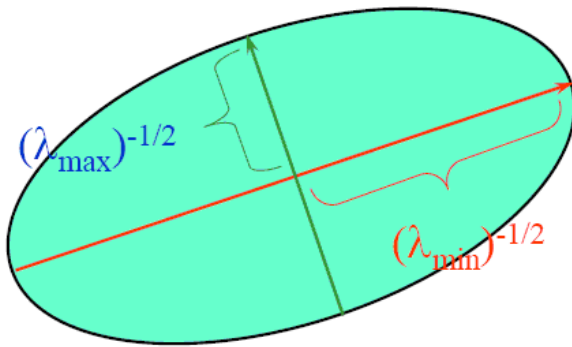
Kis (u, v) eltolás esetén az intenzitásváltozást egy ablakban számíthatjuk így is:

$$E(u, v) = \sum_{x, y} w(x, y) [I(x+u, y+v) - I(x, y)]^2$$

Sajátérték-problémára visszavezethető operátor:

$$E(u, v) \cong [u, v] M \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \quad M = \sum_{x, y} w(x, y) \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix}$$

M sajátértékei: λ_1, λ_2 ; az M mátrix a képintenzitás deriváltjaiból származik.



Az ellipszis nagysága és iránya jellemző a sarkosság mértékére.

R sarkosságra jellemző mérték: $R = \det(M) + k \cdot \text{trace}^2(M)$

$$\det(M) = \lambda_1 \cdot \lambda_2$$

$$\text{trace}(M) = \lambda_1 + \lambda_2$$

$k \approx 0.05$ (empirikus konstans)

Képpontok osztályozhatók

- sajátértékek szerint közvetlenül:
 - él: $\lambda_1 \gg \lambda_2$ vagy $\lambda_1 \ll \lambda_2$
 - sarok: $\lambda_1 \approx \lambda_2$ és nagyok, E növekszik minden irányban
 - „sík”: λ_1, λ_2 kicsi, E konstans minden irányban
- sajátértékek alapján közvetetten – R csak M sajátértékeitől függ
 - él: R nagy
 - sarok: R negatív
 - „sík”: $|R|$ kicsi

5. Optikai áramlás (mozgó objektumok) keresése képszekvenciákon, áramlás-intenzitás alapegyenlet

Motiváció: mozgásdetektálás képsorozatból

Egyelőre csak 2D-képen keressük a változást, 3D-rekonstrukció később.

Ábrázolás: sebességvektorokkal (áramlásmező), vagy 3D-s kép**kockával** (x, y, t tengelyek)

Let $I(x, y, t)$ be the sequence of images.

Simplest assumption (constant brightness constraint):

$$I(x, y, t) = I(x + dx, y + dy, t + dt)$$

Reminder: $f(x + dx) = f(x) + f'(x) dx + f''(x) dx^2 / 2 + \dots$

$$I(x, y, t) = I(x, y, t) + I_x dx + I_y dy + I_t dt + \underbrace{\text{2nd deriv. + higher}}_{\text{ignore these terms}}$$

$$0 = I_x dx + I_y dy + I_t dt$$

$$-I_t = I_x \frac{dx}{dt} + I_y \frac{dy}{dt} \quad \text{intensity-flow equation}$$

$$\begin{aligned} I_x &= \frac{dI}{dx} \\ I_y &= \frac{dI}{dy} \\ I_t &= \frac{dI}{dt} \end{aligned}$$

6. Optikai áramlás követhetősége, apertúraprobléma. A három egyszerűsítő feltételezés és korlátosságuk (példákkal illusztrálva)

Probléma: áramlás-intenzitás alapegyenletben 2 ismeretlen van (és 1 egyenlet)

$$-I_t = I_x \frac{dx}{dt} + I_y \frac{dy}{dt}$$

known wanted

Átrendezve, bevezetve az u és v rendre x és y irányú sebességeket, adódik:

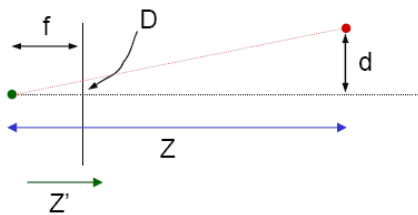
$$v = -u \cdot I_x / I_y - I_t / I_y$$

A valódi folyamtnak két komponense van: merőleges és párhuzamos irányban – ez utóbbi nem határozható meg! (Megoldás: környező pontokat is figyelve meghatározható...)

Időben, térben, intenzitásban koherens áramlást feltételezünk.

Korlátozások (gyakorlati problémák):

- autó követése: az árnyéka együtt mozog az autóval
- úttartásvizsgálat: a mozgó járműveket kell kiszűrni, mert itt csak az út (sávfelfestések) a lényeg
- time-to-collision (TTC) számítása



D = image distance from FOE

D' = image velocity of •

Z = actual depth to •

Z' = rate of change of Z

f = focal length of camera

d = offset of • from Z axis

$$1) D / f = d / Z$$

$$2) D = df / Z$$

$$3) D' = -df Z' / Z^2$$

$$4) D' = -D Z' / Z$$

$$\Rightarrow 5) Z / Z' = -D / D'$$

time-to-collision equation

works even if you don't know your speed ?!

7. Intenzitáskoherencia: intenzitáskülönbség-minimalizálás algoritmusai

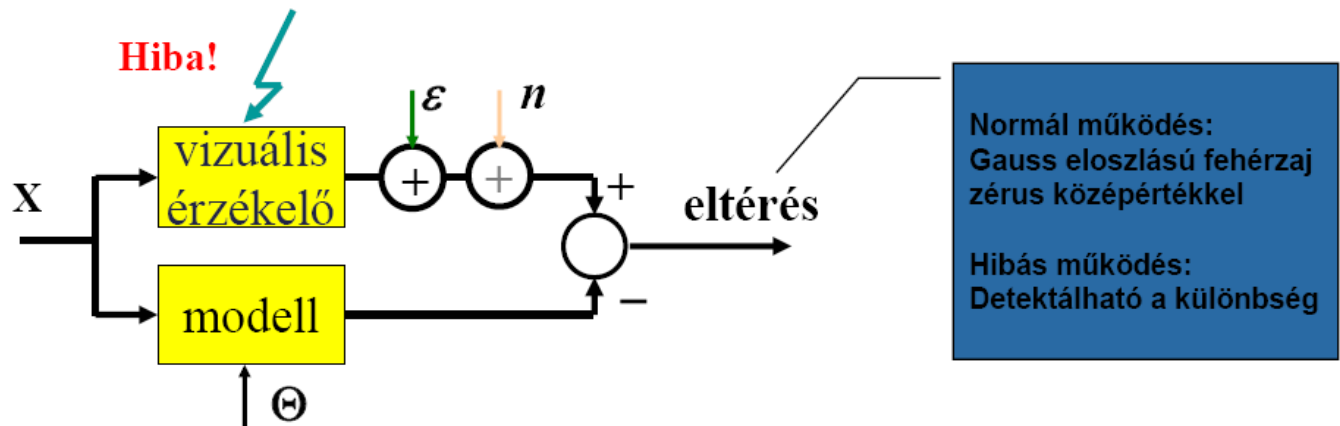
8.

9.

6. Hol van a világban? Mozgás és 3D-struktúra

1. Vizuális érzékelő hibaanalízise, reálisabb kameramodell, kalibrációs esetek (1, 2, 3, több kamera), önkalibráció

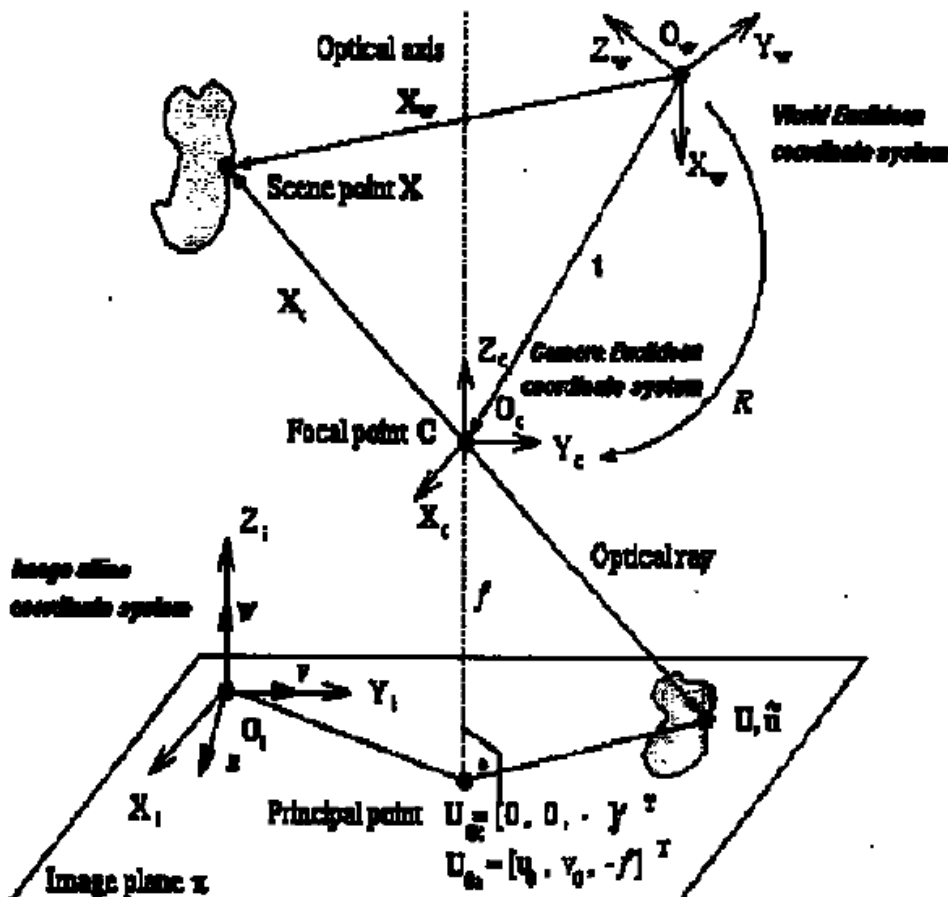
Hibaanalízis:



Reálisabb kameramodell jelentősége: vizuális érzékelők hibaanalízise – hibás működés esetén on-line detektálás vagy korrekció

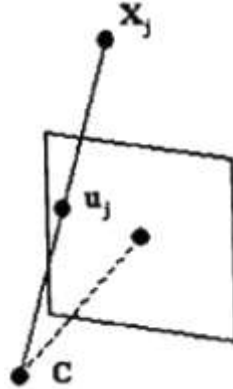
Zérustól való eltérés lehetséges okai: zaj (n), modellezési hiba (θ), pontatlanság (ε), hibás működés. A különböző jelenségek szétválasztása szükséges.

Reálisabb kameramodell: Kiterjesztett pin-hole modell

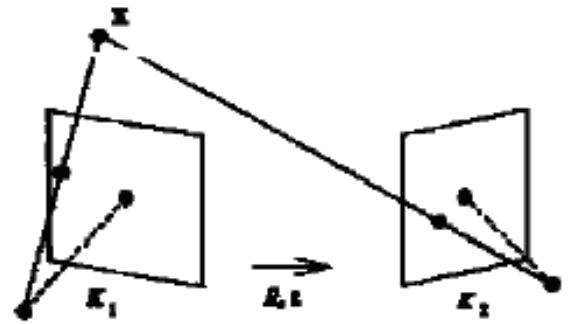


Kalibráció:

- ha ismert a 3D referencialátvány
 - elég egyetlen képet felvenni, legalább 6 ismert ponttal
 - konkrét megoldást már láttunk: lézer fénykéses robot látórendszerének kalibrációja



- ha nem ismert a 3D látvány
 - két kamerapozícióból indulunk ki, a két pozíció között ismert R, t mozgást feltételezünk (ismert közöttük a transláció és a rotáció)
 - mozgás közben $K_1 = K_2$ (ábra), a kamera belső paraméterei nem változnak
 - konkrét megoldást már láttunk: sztereo látórendszer – epipoláris geometria



- kamera önkalkibráció esete
 - még az R, t mozgásparamétereket sem ismerjük
 - (...) <külön anyag: többnézetű kamerarendszerek>

2., 3., 4. ...

7. Mit miért tanultunk, összegzés

1., 2. ...