

Ipari képfeldolgozás Mintaillesztés

Megyesi Zoltán

megyesi.zoltan@gamf.kefo.hu

KF GAMF Kar AAI Szakcsoport



Illesztési feladatok

- Modalitások (modalities)
 - Különböző szenzorból származó képet, információt modalitásnak nevezünk
 - Orvosi képfeldolgozásban
 - Ember-gép interfész (Human Machine Interface, HMI)
 - PI videó, kép, hang, érintés (haptics, tactile)
- **Különböző szenzorból** származó adatok illesztése, regisztrálása
 - Ha azonosan kép alapú adatokról beszélünk, az **multimodális kép regisztráció** (multimodal image registration)
 - Ha különböző adatsrtuktúrákról beszélünk az **adat fúzió (data fusion)**

Illesztési feladatok

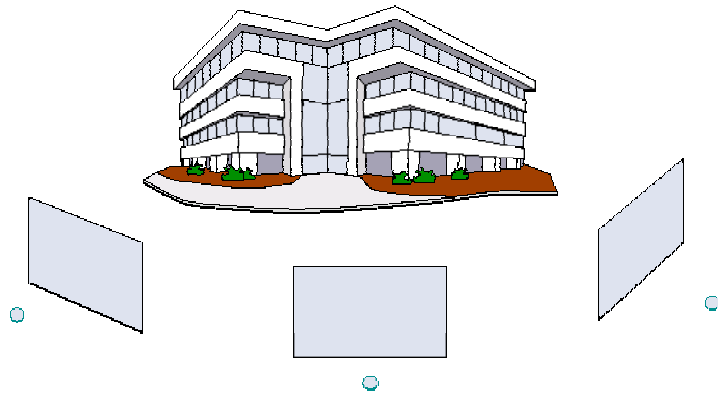
- Azonos szenzorból származó, **különböző időpillanatban** felvett képek illesztése
 - Azonosságok, elmozdulások, változások elemzése az idő függvényében
 - Általánosan mozgás analízis (motion analysis)
 - Konkrét példa:
 - Mozgás követés (motion tracking)- A képek közötti elmozdulás kiszámolása és objektumok követése

Illesztési feladatok

- **Különböző térbeli pozícióból** készített felvételek illesztése
 - Azonosságok és különbségek 3D információt hordoznak a szinterről
 - Két kép esetén ez a **sztereopszis (stereopsis/stereo)**
 - Általánosan (több kép) ez a **3D szintér rekonstrukció**
 - Az illesztés eredménye az **elmozdulás térkép (disparity map)**
 - **Triangulálással** kamera adatok felhasználással kiszámolható a **3D mélység (depth)**

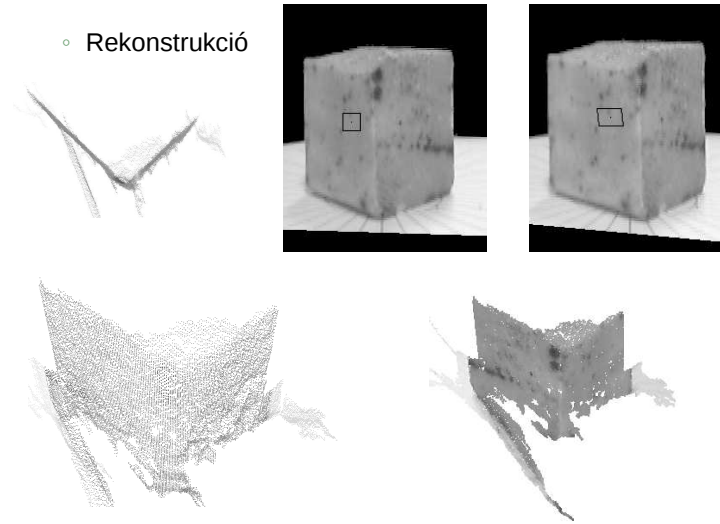
Illesztési feladatok

- Trianguláció



Illesztési feladatok

- Rekonstrukció



Illesztési feladatok

- Különböző **minták és jellemzők** keresése, illesztése a képeken
 - Ha a minta kép alapú az **mintaillesztés (template matching)**
 - Ha a minta egy magasabb szintű leírás az **jellemző keresés (feature detection)**
- Kontúrok egymáshoz hasonlítása
 - **Kontúr illesztés (contour matching)**
- Ez utóbbi kettővel foglalkozunk bővebben

Illesztési problémák

- Megfeleltetés (correspondence):
 - Különböző mérés képek pontjai közötti megfeleltetés, pixel koordináta pár
 - Kulcsfontosságú probléma
 - Pontos megfeleltetés számos alkalmazásban kell
 - Nehéz probléma, több méréssel kapcsolatos elvi okból
- Invariancia kép transzformációk alatt
 - Mi az ami azonos marad a mérések, képek között, mit illeszthetünk?
 - Hogyan modellezhető a változás a mérések között?
 - Térbeli (spatial) invariancia – alak torzulás, elsősorban 3D-vel kapcsolatos problémák
 - Fotometrikus (photometric) invariancia – fényből származó adatok változása (intenzitás)

Illesztési problémák

- Problémák:
 - Zajérzékenység – a zaj hatására különböző megjelenés a képeken
 - Torzulás (distortion)– különböző méresek között a fizikai világ képe változhat
 - Takarás (occlusion) - különböző méresek között információ jelenik meg és információ tűnik el (pl tárgyak egymás elé mozdulnak)



Kép transzformáció modellek

- Modellezzük hogyan változik a kép a mérések között
- Kép-térbeli (spatial)
 - eltolás és forgatás (translation + rotation)
- Fotometrikus (photometric)
 - Intenzitás eltolás és skálázás (intensity shift + scaling)
 - $I' = aI + b$
 - Ahol a : közvetlen megvilágítás (direct illumination) változása, az objektumról kamerába verődő fény változása
 - b : a háttérfény (ambient light) változása, egyenletes és teljes képre ható fényerő változás

Mintaillesztés

- Minta (template):
 - képrészlet W értelmezési tartománnyal - $w(x', y')$
- Hasonlóság és hiba (similarity/dissimilarity, match/mismatch):
 - Adott f kép és minta, mennyire hasonlít vagy különbözik $w(x', y')$ és $f(x + x', y + y')$?
- Minta illesztés: a minta elmozgatásával határozzuk meg hogy a mely pozíciókon a legnagyobb a hasonlóság, vagy legkisebb a különbség

Hibák Négyzetösszege (summ of squared differences, SSD)

$$SSD(x, y) = \sum \left\{ f(x + x', y + y') - w(x', y') \right\}^2$$

- Ahol \sum jelentése: $\sum_{\substack{(x', y') \in W \\ (x + x', y + y') \in F}}$

W a minta értelmezési tartománya (ablak)

F a kép értelmezési tartománya

- Az SSD nem invariáns
 - 2D forgatásra
 - Intenzitás változásra

Hibák Négyzetösszege – javítás intenzitás eltolásra

$$SSD_{SC}(x, y) = \sum \left\{ \left[f(x+x', y+y') - \bar{f}(x, y) \right] - \left[w(x', y') - \bar{w} \right] \right\}^2$$

- Ahol $\bar{f}(x, y)$ minta alatti képterület átlaga (futó dobozsűrővel megvalósítható)
 \bar{w} a minta átlaga, csak egyszer számolandó
- Az SSD_{SC} használható az intenzitás jel átlagos változása esetén, de nem használható az amplitúdó változása esetén (direkt megvilágítás)

Kereszt Korreláció

$$CC(x, y) = \sum f(x+x', y+y') \cdot w(x', y')$$

- A korrelációt már korábban is tárgyaltuk, ismerjük a kapcsolatát a konvolúcióval
 - Formálisan CC a mintával történő szűrés
 - Szűrésnél tanult megoldások (normalizálás, gyorsítás) alkalmazandók
- CC nem invariáns intenzitás eltolásra és skálázásra
- Probléma: az eredmény CC értékeitől függ és nem a hasonlóságtól.
 - Megoldás: normalizálás

Normalizált Kereszt Korreláció

$$NCC(x, y) = \frac{1}{N_1} \sum \left[f(x+x', y+y') - \bar{f}(x, y) \right] \cdot \left[w(x', y') - \bar{w} \right]$$

- Ahol a normalizációs tag:

$$N_1 = \sqrt{S_f(x, y) \cdot S_w}$$

$$S_f(x, y) = \sum \left[f(x+x', y+y') - \bar{f}(x, y) \right]^2$$

$$S_w = \sum_{(x', y') \in W} \left[w(x', y') - \bar{w} \right]^2$$

- S_f minden pontban számolandó, S_w csak egyszer
- NCC invariáns lineáris intenzitás transzformációkra
 $g(x, y) = \alpha f(x, y) + \beta$

Egyszerűsített Normalizált Kereszt Korreláció

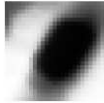
$$MNCC(x, y) = \frac{1}{N_2} \sum \left[f(x+x', y+y') - \bar{f}(x, y) \right] \cdot \left[w(x', y') - \bar{w} \right]$$

- Ahol a normalizációs tag: $N_2 = S_f(x, y) + S_w$
- MNCC és NCC csak a normalizációs tagban tér el
- Elkerüli a numerikus pontatlanságot, ha S_f kicsi (homogén részeken)
- Formális értelemben MNCC csak intenzitás eltolásra invariáns
 - Gyakorlatban jól közelíti NCC-t
 - Mértani közép helyett számtani közép

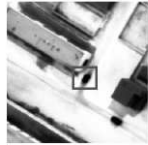
Illesztés példa



left image



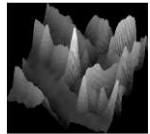
template, zoomed



right image



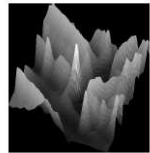
NCC image



NCC surface



SDD image



SDD surface

- Bal oldali képrészletet keresünk a jobb képen

Illesztés példa

template		
0	0	0
1	1	1
0	0	0

input image		
0	0	0
1	1	1
0	0	0

output of CC				
1	2	3	2	1

output of NCC				
1.0	1.4	1.7	1.4	1.0

1	1	1
1	1	1
1	1	1

1	2	3	2	1
1	2	3	2	1
1	2	3	2	1

1.0	1.2	1.0
	1.0	
1.0	1.2	1.0

- A példán az input körül nullák állnak, a kimeneten a nullák nincsenek megjelenítve
- A találatok és a majdnem találatok közel állnak
 - Nem kiugró (sharp) az illeszkedés

Illesztés példa - kontúrra

template				
0	0	0	0	0
0	1	1	1	0
0	1	1	1	0
0	1	1	1	0
0	0	0	0	0

input image		
1	1	1
1	1	1
1	1	1

output of NCC				
		1.2		
		1.3	2.0	1.3
1.2	2.0	3.0	2.0	1.2
		1.3	2.0	1.3
		1.2		

0	0	0	0	0
0	1	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	1	0
0	0	0	0	0

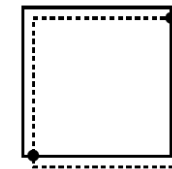
1	1	1
1	0	1
1	1	1

		1.3		
		1.4		
1.3	1.4	2.8	1.4	1.3
		1.4		
		1.3		

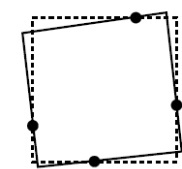
- A körvonalak illesztése élesíti az illesztést
 - Belső területe esetén: tökéletes / majdnem találat - 1,5
 - Kontúr illesztés esetén: tökéletes / majdnem találat - 2

Kontúr illesztése

- Szaggatott vonal: minta
- Folytonos vonal: minta
- Pontok: illeszkedés



ideal object



distorted object

- Ha ideális a minta, egy kis eltolás drasztikus esése az átfedésnek-> éles illesztés lehetséges
- Ha torzult a minta:
 - Kontúr illesztése esetén csak kis átfedés van, nem találjuk meg az objektumot
 - Terület esetén a tárgy megtalálható
- Következmény:
 - Kontúr illesztése éles eredményt ad, de nem robusztus

Pontossága vs. megbízhatóság

- **Kontur illesztés:**
 - Pontos, a helyzet pontosan meghatározható
 - Nem megbízható, ha torzulás van jelen
 - Gyors
- **Terület illesztés:**
 - Kevésbé pontos
 - Torzulás esetén elmosott találat (nem egyértelmű pozíció)
 - Megbízható
 - Lassabb
- **Trade-off:**
 - Pontosság
 - Megbízhatóság

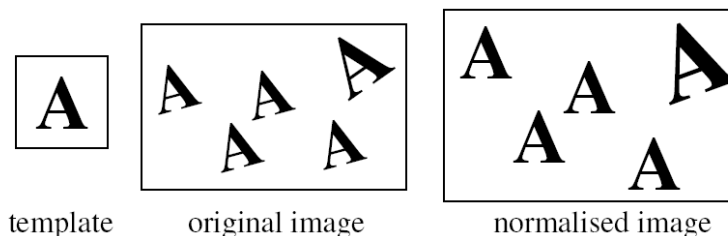
Problémás illesztési esetek

- **Invariancia:**
 - Méretváltozás
 - Elforgatás
- **Megbízhatóság torzulás esetén** (pl különböző nézőpontok esetén)
- **Megbízhatóság zajos találatokra**
 - Amikor valami jobban hasonlít mint a valóság (false positive)
- **Sebesség**

Méret és elforgatás változása

- **A kép normalizálása irányra és elforgatásra**
 - Feltéve hogy egy képen belül nincs többféle forgatás és méret
 - Definiálni, és ismerni kell a minta méretét és irányát
- **Adaptív megoldások**
 - A minta elforgatása és skálázása minden pontban (többször illesztünk)
 - Kiválasztjuk a legjobb forgatást és eltolást
 - Nagyon lassú lehet
- **Invariáns jellemzők**
 - Olyan jellemzők, amelyek invariánsak a transzformációra
 - PI pralalelogramma/ellipszis területe, átlók aránya, kerület stb..
 - Jellemzők, és nem kép adatok illesztése

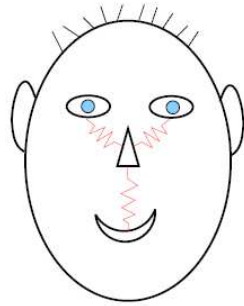
Kép normalizálás



- A jobb felső A betű nem fog illeszkedni
- Hogyan definiálhatjuk a kép irányát?

Torzulás tolerancia

- Megoldás: flexibilis minta
 - Több almintából áll
 - Kapcsolat a részek között „rugók”
- A rugók energiája számolandó, a nagy elmozdulást büntetni kell
- Akkor működik, ha az alminták pontosan illeszthetők



- Arc minta, mint több kapcsolódó almintá

Illesztés gyorsítása

- Inkább lokális jellemzők illesztése, mint nagy minták
 - Élek, kontúrok
 - Ha vannak megbízható jellemzők
 - És nincs torzulás a képen
- Nagy minták illesztése Fast Fourier Transzformációval (FFT)

- Ha a minta nagyobb mint 13x13
- Korreláció megfogalmazható konvolúcióval

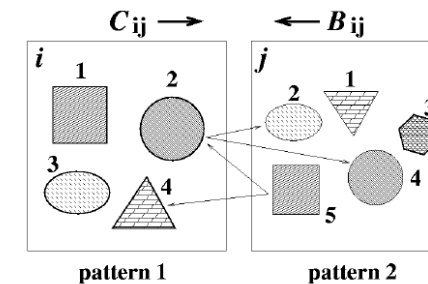
$$f \otimes w = IFFT \left[FFT [f(x, y)]^* \cdot FFT [w(x, y)] \right]$$

- IFFT az FFT inverze, X^* az X komplex konjugáltja
- FFT megvalósítás: $O(N^2 \log N)$
- Direkt megvalósítás: $O(N^4)$

Illesztés gyorsítása

- Gyorsítási elv:
Töltsünk időt az „ígéretes” jelöltekkel és dobjuk vissza gyorsan ami nem „ígéretes”
 - Illesszünk egy rács pozícióiban és finomítsunk
 - Coars to Fine módszer
 - Ha nem éles illeszkedés van
 - Illesszünk egyszerű tojadságokat az illesztés előtt
 - Illesszünk részmintákat először és értéklejük ki az eredményt
 - Állítsunk küszöböt a hibaértékre, és számoljunk kumulatívan

Szegmentált képek illesztése



- Szegmentáljuk a képet és hasonlítsuk össze a szegmentált képrészleteket
 - Működik, ha a szegmentálás pontos

Szegmentált képek illesztése - Stabil illesztés

Algorithm: Stable Matching of Two Segmented Images

- 1 Compute **distance matrix** D_{ij} for all i, j :
 i^{th} region of image 1, j^{th} region of image 2
- 2 Calculate **forward matching matrix** C_{ij} :
 $C_{ij} = 1$ if $D_{ij} < D_{ik}$ for all $k \neq j$; otherwise, $C_{ij} = 0$
- 3 Calculate **backward matching matrix** B_{ij} :
 $B_{ij} = 1$ if $D_{ij} < D_{kj}$ for all $k \neq i$; otherwise, $B_{ij} = 0$
- 4 Match regions i and j if $C_{ij}B_{ij} = 1$
- 5 Remove established correspondences from D_{ij}
- 6 Iterate until no further matching is possible

Stabil illesztés konzisztencia ellenőrzésre



left image



right image



original ME



consistent ME

Források:

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