Alakfelismerési eljárás szabálytalan formájú alakzatok detektálásához

Dr. Molnár Sándor
Dr. Klinkó Péter
Dr. Szabó István

Szent István Egyetem
Gödöllő

- Bevezetés
- Az alakfelismerési modell
- Az algoritmus leírása
- Eredmények
- Összefoglalás

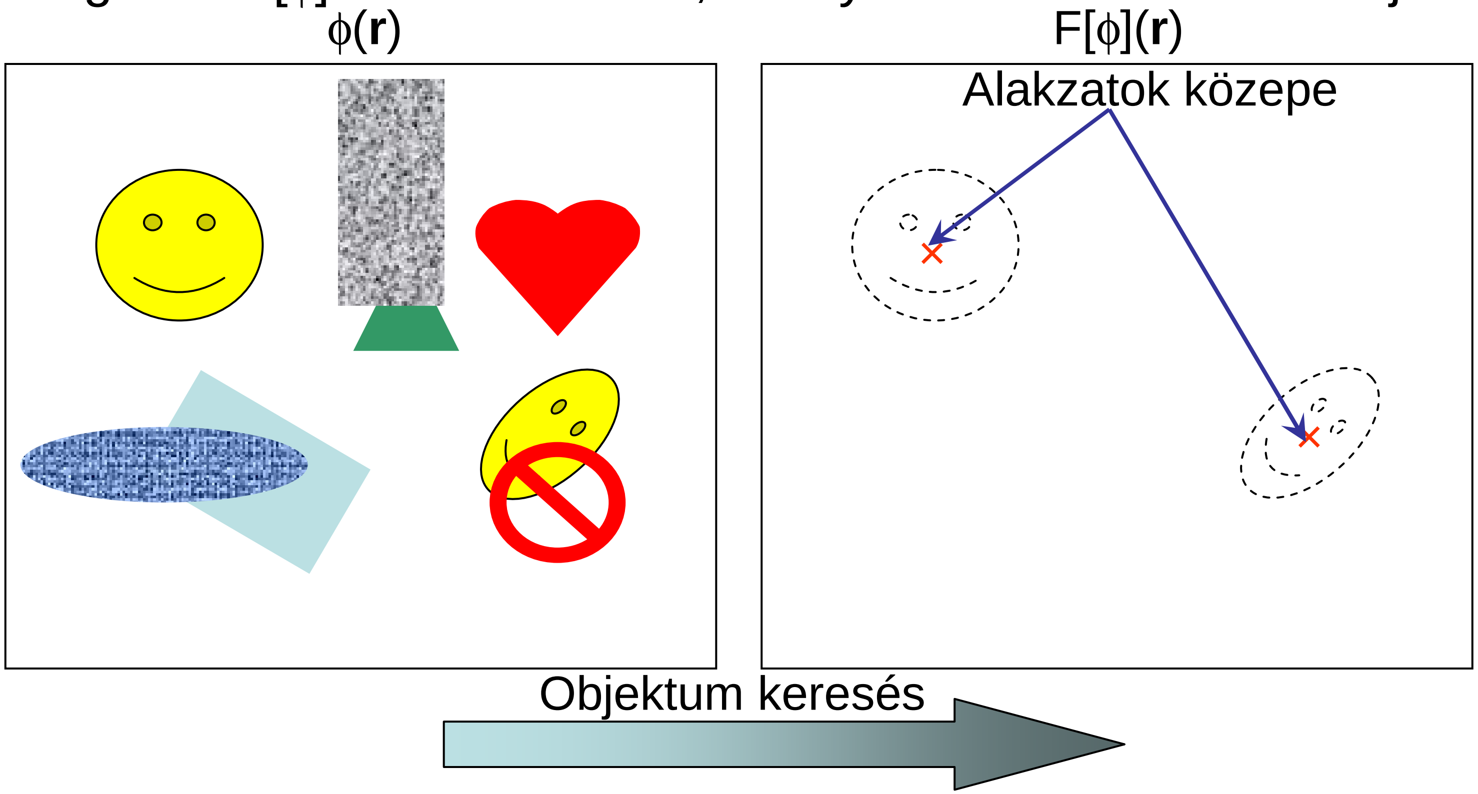
Alakfelismerés: Alkalmazási területek

- Orvosi képfeldolgozás
- Számítógépes képfelismerés
- Megfigyelő rendszerek
- Karakter felismerés
- Közlekedésbiztonsági alkalmazások
- Egyéb ipari alkalmazások

- A jelen előadás által tárgyalt eljárás egy képfeldolgozási software fejlesztésének része, amely ultrahangos orvosi képeken történő méréseket végez.

Az alakfelismerés problémája

- Objektum jellemzők: Mi az ami egyértelműen definiálja az objektumot egy képen $\phi(\mathbf{r})$
  Alak, Szín, Textúra, stb.
- Objektum keresés egy adott képen:
  ”Mágikus” $F[\phi]$ transzformáció, amely ”kiszűri” a keresett objektumot

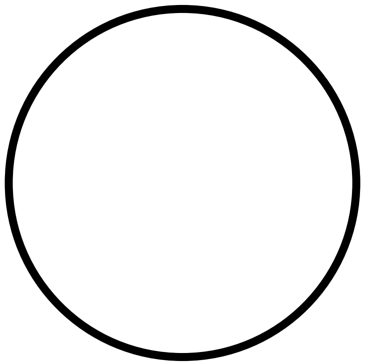


Hogyan lehet egyértelműen leírni az objektumot?

- Ha nincs szín vagy nincs textúra jellemzője az objektumnak → <u>objektum alakja</u>: S{$\mathbf{r}_j$} ahol $\mathbf{r}_j$ az alakzat határpontjai

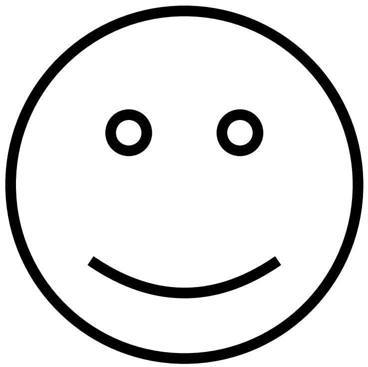
- Alakzat típusok:

egyszerű



$$S_0$$

összetett

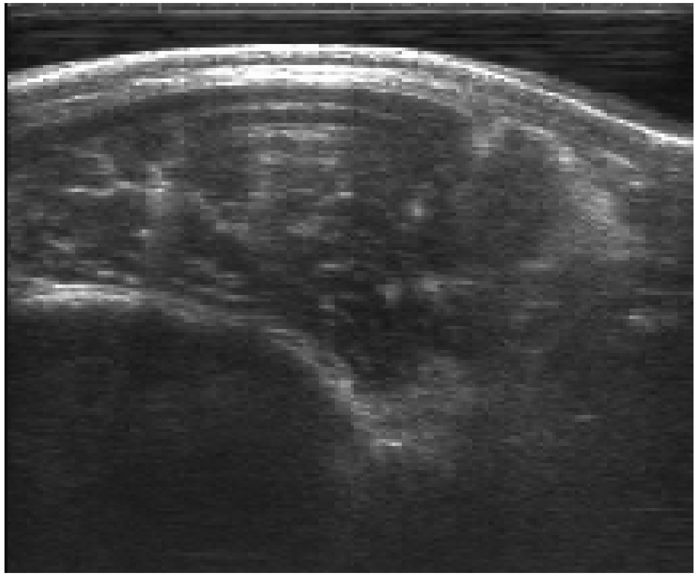


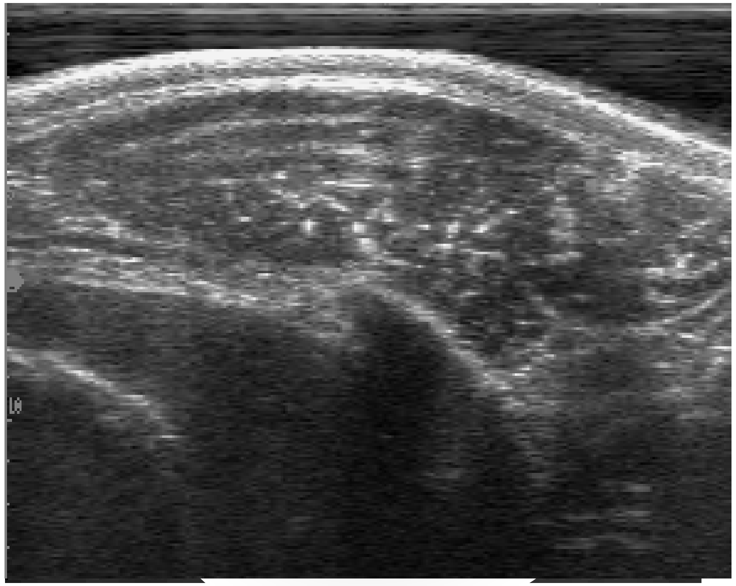
$$\bigcup_k S_k\left\{\mathbf{r}_{j_k}+\mathbf{d}_k\right\}$$

- Az egyes részek referenciapontjait el kell tolni $\mathbf{d}_k$-val az új referenciapontba

Ami a dolgokat bonyolítja

- Orvosi képfeldolgozásban, $\phi(\mathbf{r})$ képfüggvény csak vektor-skalár (fekete-fehér képek)
- Jelentős képzaj (pl. ultrahangos képek)
- Alacsony képfelbontás (pixeleződés)
- Nem megfelelő megvilágítás
- Az objektum részleges takarásban van
- Az objektum alakja szabálytalan vagy változik

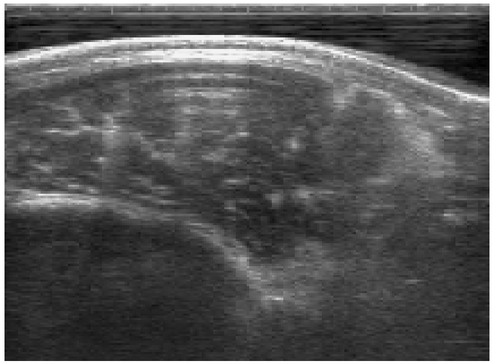


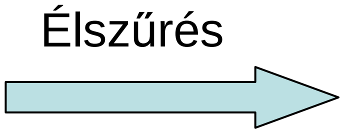


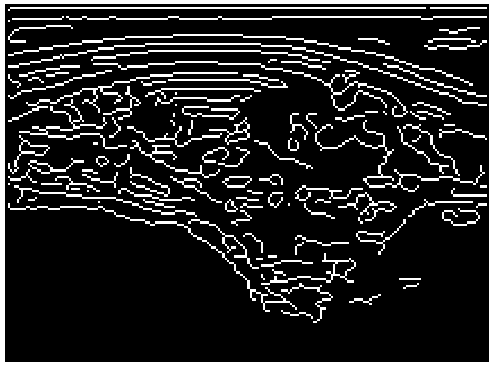
Az objektum beazonosítása

- Az objektum körvonalát azon pontok alkotják ahol a képintenzitás függvény gyorsan változik
- Ezen pontok halmazát un. élpontokként definiáljuk (vagy élkép)
- Az élképeket létrehozó transzformációkat élszűrőknek nevezzük
- Élszűrők általában egy kis mérető kernellel konvolválják a képet

  → ∇ vagy ∇^2 differenciál operátorok közelítése







» Alakfelismerési módszerek

- Hough Transzformáció, Chamfer Illesztés, Fourier jellemzők

  Hiányzó vonalrészek, nem az alakzathoz tartozó vonalak …

  → szabálytalan alakú objektum beazonosítása körülményes.

- Az alakzatra vonatkozó információt a gradiens kép hordozza
- A transzformáció → a gradiens képek ”összehasonlításán” alapuljon

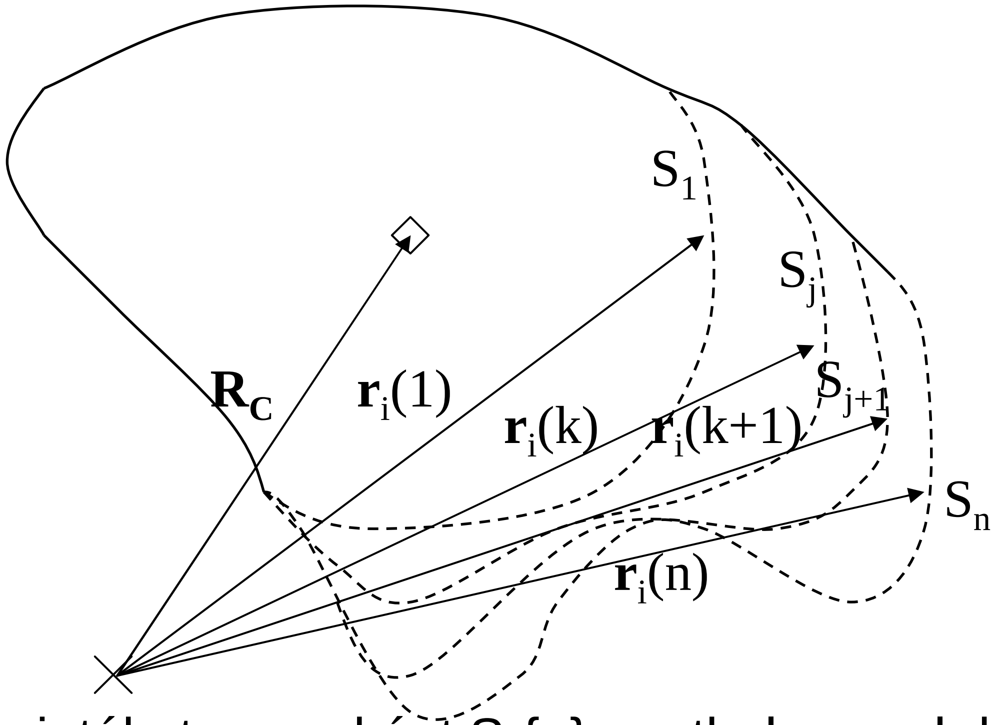
» *Követelmények*

- Az eljárásnak működnie kell nyers képre és élképre is
- Az eljárásnak jól kell működni rossz képi jellemzők esetén is:
  - Nagy képzaj, rossz megvilágítás, kis felbontás, részleges takarás

» *Az algoritmus fő lépései*

- Az alakfelismeréshez egy alakminta sort alkalmazunk
- Az alakmintákat nyújthatjuk **a**-val és forgathatjuk is θ szöggel
- A transzformációval megkapjuk a keresett objektum helyét
- Tároljuk a felismert alakzat adatait;
  - Melyik alakzat, nyújtási jellemző, orientáció

Amorf alakzat



- Az objektum mintákat egyenként $S_k\{\mathbf{r_i}\}$ ponthalmazzal definiáljuk, ahol $\mathbf{r}_i$ vektorok az objektum körvonalára esnek
- $\mathbf{R}_c$ az alakzat közepe

- Az alakmintából létrehozható egy bináris kép

$$B_j(\mathbf{r}) = \begin{cases} 1 & \text{if } \mathbf{r} \in \mathbf{\Omega}_j \subset I \\ 0 & \text{egyébként} \end{cases}$$

- A grádiens képet (vagy az élképet) használjuk az alakfelismeréshez

- Összehasonlítjuk a kép (vagy az élkép) gradiensét a minták bináris képének gradiensével egy hasonlósági jellemzőn keresztül.

- Probléma: $\nabla\phi$ és ∇B_j nem létezik!

A kép előfeldolgozása

- Valahogyan differenciálhatóvá kell tennünk a $\phi(\mathbf{r})$ intenzitásfüggvényt. Konvovláljuk a képet egy gauss kernellel $g(\mathbf{r})$. $I \subset \mathbb{R}^2$

$$\varphi(\mathbf{r}) = \sum_{(I)} \phi(\mathbf{u}_k) g(\mathbf{r} - \mathbf{u}_k) = (\phi * g)(\mathbf{r})$$

$$g(\mathbf{r}) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-r^2/(2\sigma^2)}$$

» Megjegyzés:

- Az előfeldolgozás után az eredeti képből egy kisimult $\varphi(\mathbf{r})$ nyerünk
- Az eredmény $\varphi(\mathbf{r})$, differenciálható a teljes képi tartományban
- A gradiens képet $\nabla\varphi(\mathbf{r})$-el definiáljuk ahol $\mathbf{r} \in$ I
  ($\mathbf{r}$-nek nemszükségszerűen kell pixel pontnak lennie)
- A gauss kernellel történt konvolúció lecsökkenti a képzajt is

- A gradiens képet a következőképpen nyerjük

$$\nabla\varphi(\mathbf{r}) = \nabla\sum_{(I)}\phi(\mathbf{u}_k)g(\mathbf{r}-\mathbf{u}_k) = (\phi * \nabla g)(\mathbf{r})$$

- A gradiens kép $\nabla\varphi$ értékeit csak a pixelek helyén $\mathbf{r}=\mathbf{r}_k$ akarjuk tudni. $\nabla\varphi$ spektruma a konvolúció-tétel alapján:

$$F_D[\nabla\varphi] = F_D[\phi]F_D[\nabla g]$$

Ahol F_D a Diszkrét Fourier Transzformációt jelöli

$$F_D[f](\mathbf{k}) = \sum_{y=0}^{N_y-1}\sum_{x=0}^{N_x-1} f(x,y)e^{-i2\pi(k_x x/N_x + k_y y/N_y)}$$

N_x és N_y a kép méreteit jelöli x illetve y irányban

- Vektoros jelölés helyett áttérhetünk komplex számokra (cpu időt nyerünk)

$$\varphi_G = \partial_x \varphi + i \partial_y \varphi$$

- A frekvencia tartományban

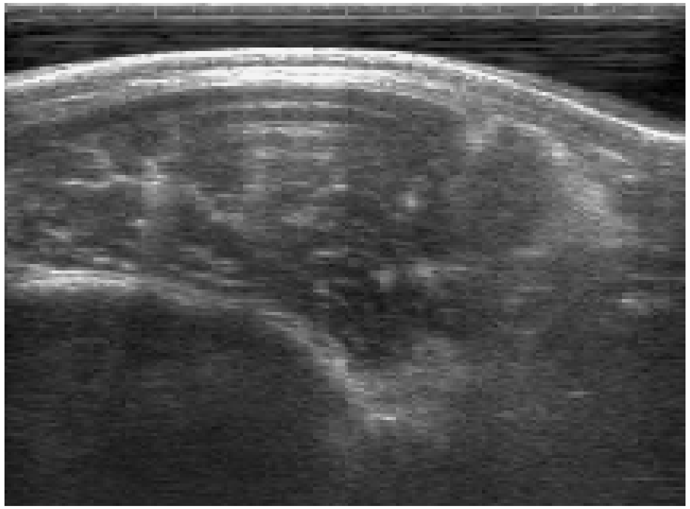
$$F_D[\varphi_G](\mathbf{k}) = 2\pi \left(i \frac{k_x}{N_x} - \frac{k_y}{N_y} \right) F_D[\phi](\mathbf{k}) F_D[g](\mathbf{k})$$

- A gradiens kép számítása csak egy lépést vesz igénybe a frekvencia tartományban.
- A gradiens nagyságának behatárolásával készíthetünk egy próba élképet

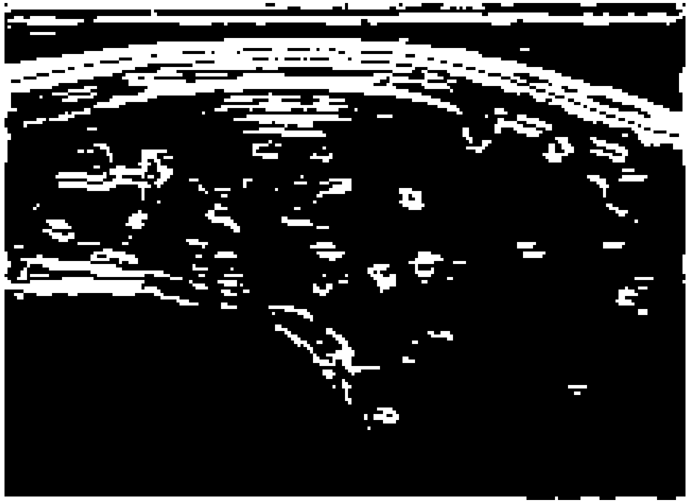
$$\varphi_E(\mathbf{r}) = \begin{cases} 1 & |\nabla \varphi(\mathbf{r})| \geq \alpha \max_I |\nabla \varphi(\mathbf{r}_k)|, \ 0 < \alpha < 1 \\ 0 & \text{egyébként} \end{cases}$$

AZ ALGORITMUS

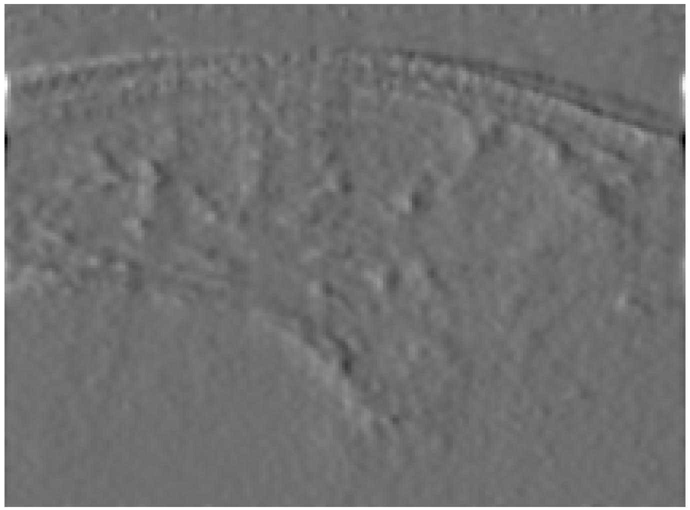
$\phi(\mathbf{r})$



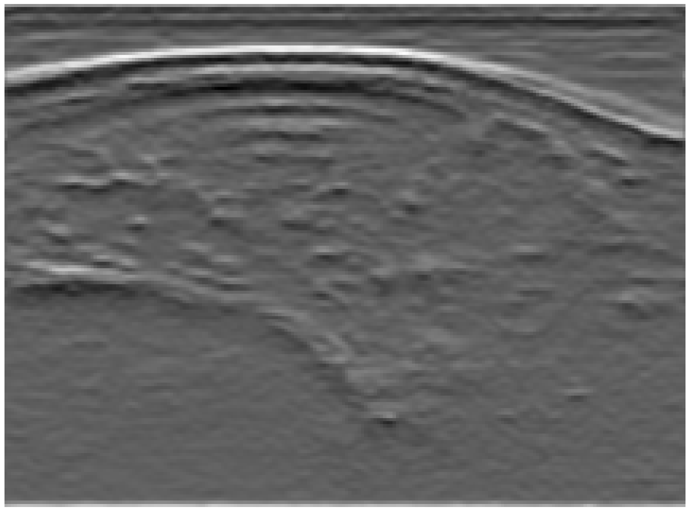
$\varphi_E(\mathbf{r})$, $\sigma=1$, $\alpha=0.15$



$\partial_x\varphi(\mathbf{r})$, $\sigma=1$



$\partial_y\varphi(\mathbf{r})$, $\sigma=1$



A Transzformáció

- Minden egyes alakminta esetény, összehasonlítjuk a grádiens képet az alakminta bináris képének gradiensével

$$\left\langle b_j / \| b_j \|, \varphi_G / \| \varphi_G \| \right\rangle = \frac{1}{\| b_j \| \| \varphi_G \|} \sum_k \left(b_j(\mathbf{u}_k) - \bar{b}_j \right)^* \left(\varphi_G(\mathbf{r} + \mathbf{u}_k) - \bar{\varphi}_G(\mathbf{r}) \right)$$

- A gradiens képre vonatkozó norma $\|\varphi_G\|$ változatlan. Csak $\|b_j\|$ normát kell újraszámolni. Az átlagok számítása marad csak.
- Fizikából emlékszünk arra, hogy (bármely zárt hurokra)

$$\oint \nabla \varphi(x, y)\, d\mathbf{r} = 0$$

- Periódikus határfelvétel mellett ez itt is teljesül. Az átlgokat számítva

$$\int_0^{N_x} \int_0^{N_y} \partial_y \varphi(x, y)\, dy dx = 0 \qquad \int_0^{N_y} \int_0^{N_x} \partial_x \varphi(x, y)\, dx dy = 0$$

- <u>Az átlagszámítás leegyszerűsödik</u>
  – Az átlagokat 0-nak állítjuk be: $\bar{b}_j = 0$ és $\bar{\varphi}_G = 0$

- A következő korrelációs függvényt alkalmazzuk tehát

$$C(\mathbf{r}) = \frac{1}{\|b_j\|}\sum_k b_j^*(\mathbf{u}_k)\,\varphi_G(\mathbf{r}-\mathbf{u}_k)$$

- Mi C(**r**) fizikai jelentése?
  Annak a mértéke, hogy a gradiens vektorok milyen jól esnek egybe

  - A skaláris szorzatok összege → Re[C(**r**)]
  - A vektoriális szorzatok összege → Im[C(**r**)]

- C(**r**)-nek csak a pixelben felvett értékére vagyunk kíváncsiak **r**=**r**$_k$. A frekvenciatartományba visszatérve (korreláció-tétel):

$$F_D[C] = \frac{1}{\|b_j\|} F_D^*[b_j]\, F_D[\varphi_G]$$

Objektum keresés

- Legyen |Re(C(**r**)]| az adott alakzat a képhez történő illeszkedésének mértéke

  Ugyanazon alakzat ellentétes kontraszttal azonosnak tekinthető
  → Csak az alakzat körvonala számít

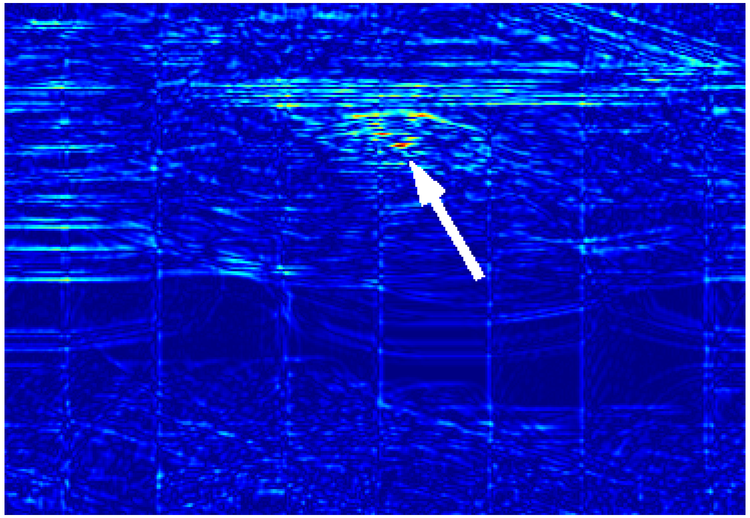
- Egy adott alakmintára |Re(C(**r**))| helyi maximumai felelnek meg a megtalált objektum pozicióinak

- Egy alakminta sor eseté, továbbá {**a**, θ} nyújtás és forgatás paraméterek mellett, |Re[C(**r**, j, **a**, θ)]| helyi maximumai felelnek meg a megtalált objektumok pozicióinak

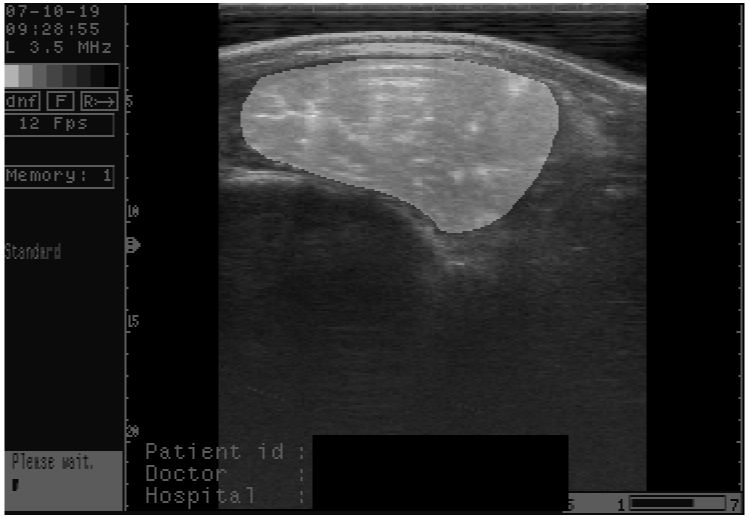
- A számításigény csökkenthető a paraméter tartomány szűkítésével vagy annak felbontásának csökkentésével

EREDMÉNYEK

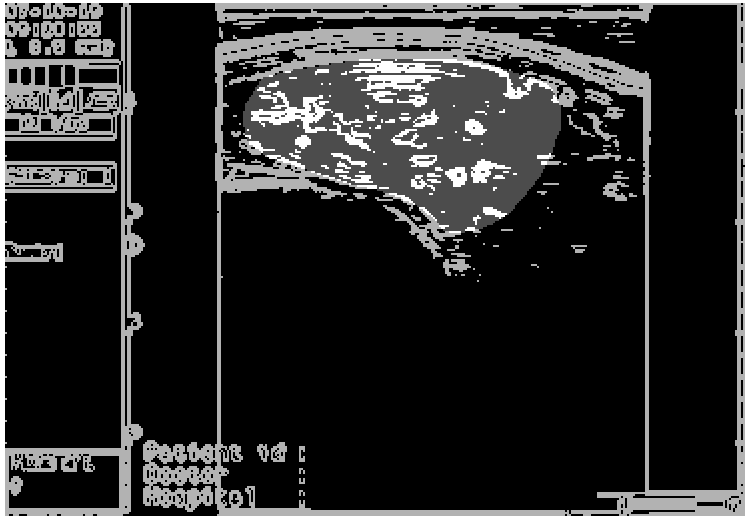
|Re(C(**r**))|



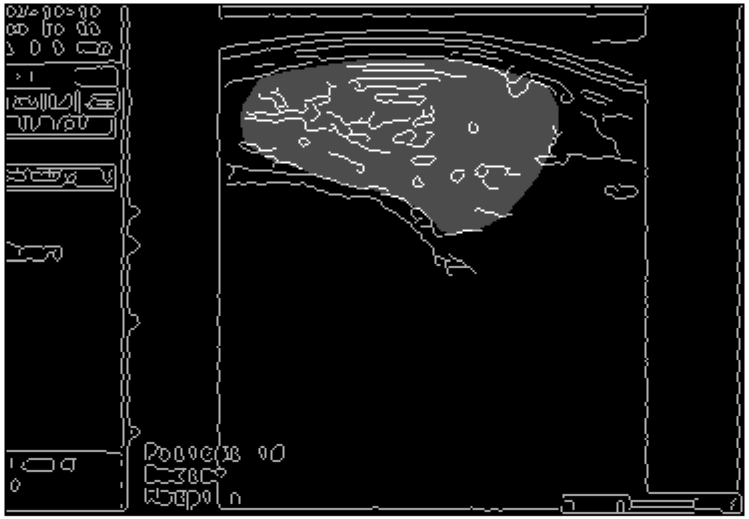
A megtalált alakzat



Alakfelismerés élképeken ($\varphi = \varphi_E$)

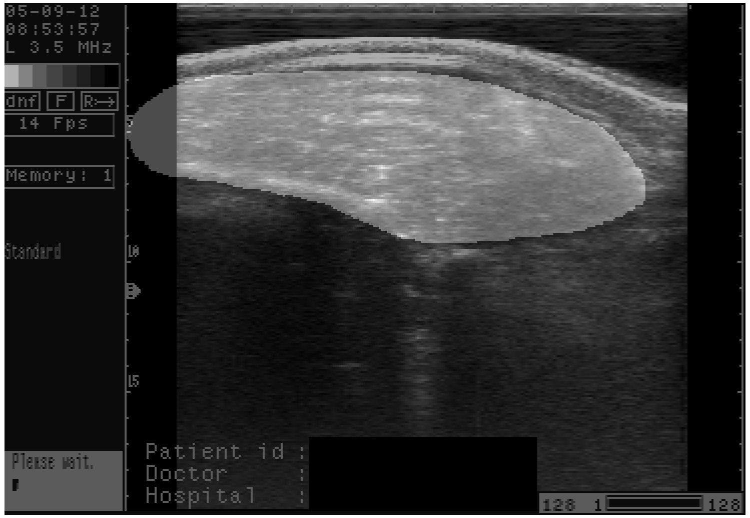


Behatárolással nyert élkép



Canny élkép

További példák



- Amorf alakzatok detektálását alakminta sorozatok bevezetésével érjük el.
- Az ismertetett módszer a gradiens képek összehasonlításán alapul.
- A módszer alkalmazható nyers képeken történő alakfelismeréshez de élképekhez is használható.
- Az eljárást egyszerű alakzatok felismerésére tárgyaltuk de összetett alakzatok felismerésére is alkalmazható.
- Az eljárással rossz képfelvételi körülményeknél is sikeres:
  erős képzaj vagy ha az alakzat részleges takarásban van.
- További fejlesztések:
  - Az alakmintákat egy deformációs modellel társítani
  - tanulási képesség