Tartalomjegyzék

Kör alakú objektumok szegmentálása magasabb rendű aktív kontúr modellek segítségével

Horváth Péter[1,2], Ian H. Jermyn[2], Kató Zoltán[1], Josiane Zerubia[2]

[1] Szegedi Tudományegyetem, Informatikai Tanszékcsoport,Pf. 652,
H-6701 Szeged, Hungary, Fax:+36 62 546 397,
{hp, kato}@inf.u-szeged.hu,
[2] Ariana (joint research group CNRS/INRIA/UNSA), INRIA,
B.P. 93, 06902 Sophia Antipolis, France, Fax:+33 4 92 38 76 43,
{Ian.Jermyn, Josiane.Zerubia}@sophia.inria.fr

Kivonat Cikkünkben bemutatunk egy absztrakt modellt, mely meghatározott sugarú tetszőleges számú kör modellezésére képes. A módszert fák koronájának szegmentálására alkalmazzuk légi felvételeken. Az alakzatmodellt magasabb rendű aktív kontúrokban (HOAC) használjuk, mely az aktív kontúrok egy új generációja. Az így kapott HOAC modell stabilitását vizsgáljuk, és egy módszert adunk arra, hogyan lehet a paramétereit úgy beállítani, hogy az energia a minimumát stabil meghatározott sugarú körök képződésekor vegye fel.
Kísérletek során sokszor felmerülő probléma, hogy a fenti modell fantom körök képződését segíti. Ezért bevezetünk egy olyan energiafüggvényt, melynek inflexiós pontja van az adott sugárnál, így ha az adatkifejezés azt nem támogatja, akkor nem képez kört. Megjegyezzük, hogy a módszer széles körben alkalmazható az orvosi képfeldolgozás, nanotechnológia, biológia területén.

1.. Bevezetés

Cikkünkben bemutatjuk a korábban bevezetett magasabb rendű aktív konúrok (HOAC) [10] egy kiterjesztését, mellyel ismeretlen számú megközelítőleg azonos sugarú, egymással kölcsönös interakcióban levő kört lehet modellezni. A modellt fák koronájának detektálására alkalmazzuk. Az erdészeti szolgálatok (mint például a French National Forest Inventory (IFN)) különböző erdőkkel és faültetvényekkel kapcsolatos statisztikákat használnak, mint például a fák sűrűsége, a koronák átlagos területe, átmérője stb. Ezek az információk nagyon hasznosak lehetnek mind az erőforrások mind pedig a természet védelme szempontjából. Az automatikus fakorona kinyerés igen fontos mert ezen tevékenységek során kisebb költséggel alkalmazható mint a terepen történő felmérések kutatások.

Az itt bemutatásra kerülő modellek két részből állnak: 1., az adatból származó energia E_i mely azt írja le, hogy a szegmentált területek képi tulajdonságai mennyire felelnek meg a fáknak a képen; 2., a priori alakzat energia E_g pedig olyan régiókat definiál melyek a fakoronák alakjának felenek meg. Ezt a

HOAC energiával fogjuk modellezni [3,4,10]. A bemutatott modell abban tér el a korábbikaban publikáltaktól [2,6,8,9], hogy a konstrukciójából adódóan képes a modellezett alakzatból többet szegmentálni.

A HOAC modell eredetileg úthálózatok detektálására lett kifejlesztve. Itt bemutatjuk, hogyan lehet vele kör alakú objektumokat modellezni. Ehhez a modell stabilitását kell vizsgálnunk és a paramétereit úgy beállítani, hogy az energia a minimumát adott sugarú körök esetén vegye fel. Szintén bemutatjuk a modell egy javított változatát, melynek nem minimuma van az adott sugárnál, csupán inflexiós pontja, így a körök könnyedén eltűnnek ha az E_i nem támogatja azokat.

A 2. fejezetben bemutatjuk a HOAC modellt, a 3. fejezetben ismertetjük a stabilitási analízist, míg a 4. fejezetben a javított energiafüggvényt mutatjuk be. A kísérleti eredményeink a 6. részben találhatók.

2.. Magasabb rendű aktív kontúr energiák

A klasszikus akív kontúrok energiafüggvénye egy egyszeres kontúr körüli integrál, mely kizárólag lokális differeciálgeometriai információ kifejezését teszi lehetővé. Ezzel ellentétben, a HOAC-ok a kontúr körüli többszörös integrálok, melyekkel távolabbi kontúrpont-csoportok közötti kölcsönhatások modellezhetők, és így lehetőséget biztosít összetettebb interakciók leírására. A konúr hosszával és a körbezárt területtel kombinálva egy lehetséges Euklideszi invariáns kvadratikus HOAC modell [10] így adható meg:

$$E_g(\gamma) = \lambda L(\gamma) + \alpha A(\gamma) - \frac{\beta}{2} \int\int dp\, dp'\, \mathbf{t}(p) \cdot \mathbf{t}(p')\, \Phi(R(p,p'))\ , \qquad (1)$$

ahol γ a p-vel paraméterezett kontúr, L a kontúr hossza és A a kontúr által körülzárt terület. $R(p,p') = |\gamma(p) - \gamma(p')|$ és $\mathbf{t} = \dot{\gamma}$ a tangens vektor a kontúr körül. Φ az úgy nevezett interakciós függvény, mely a modell geometriai tulajdonságát határozza meg. Jelen cikkünkben a [10]-ban definiát függvényt használjuk

$$\Phi(x) = \begin{cases} \frac{1}{2}(2 - \frac{x}{d_{min}} + \frac{1}{\pi}\sin(\pi\frac{x}{d_{min}})) & x \le d_{min}\ , \\ 0 & x > d_{min}\ . \end{cases} \qquad (2)$$

A továbbiakban meghatározzuk azon paraméterbeállításokat, amelyek megközelítőleg azonos sugarú, stabil köröket eredményeznek.

3.. Körök modellezése

Az $E(\gamma, I) = E_i(I,\gamma) + E_g(\gamma)$ modellt használjuk fák koronájának detektálására, ahol E_i az adatkifejezésből származó energia (bővebben lásd 5. fejezetben). Ebben a részben a prior energia E_g analízisét mutatjuk be és megvizsgáljuk, hogyan használható körök modellezésére (gas of circles' – GOC). Úgy fogjuk beállítani a modell paramétereit, hogy egy olyan konfiguráció mely adott sugarú körök egy csoportját tartalmazza stabil legyen és minimális legyen az energiája. A stabilitás esetünkben azt jelenti, hogy az energiaminimalizálás során a kontúr a kör-alakzat kicsiny változásai esetén visszaalakul körré. A paramétereket úgy választjuk, hogy az r_0 sugarú kör legyen az E_g minimuma. Ennek elérése érdekében Taylor sorba fejtjük az energiát a második tagig. Ezekután a paramétereket úgy állítjuk be, hogy az első derivált 0 legyen, mely azt jelenti, hogy az adott sugárnál egy energia extrémum van, majd pedig a masodik deriváltat pozitív definitre választva biztosítjuk, hogy ezen extrémum minimum legyen.

3.1.. A modell stabilitása

Ebben a fejezetben bemutatjuk az $E_g(\gamma) = E_g(\gamma_0 + \delta\gamma)$ kifejtését $\delta\gamma$ szerinti másod-rendig, ahol γ_0 egy r_0 sugarú kör körüli kontúr. Mivel az energiát egy kör körül fejtjük ki, a számítást az (r, θ) polár koordinátarendszerben a legcélszerűbb végezni és paraméterezésként a $\theta(p) = p$ választjuk. δr perturbációit Fourier sorba fejtjük

$$\delta r = \sum_k a_k e^{ir_0kp} \qquad k = m/r_0, m \in \mathcal{Z} \ , \tag{3}$$

ahol $a_k \ll r_0$. A kontúr hosszát és a körülzárt területet a következőképpen fejthetjük ki másod-rendig

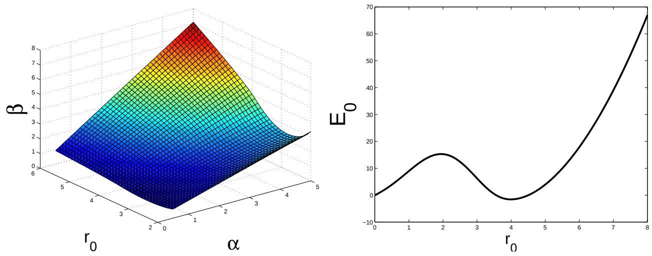
$$\begin{aligned} L(\gamma) &= 2\pi r_0 \left\{ 1 + \frac{a_0}{r_0} + \frac{1}{2} \sum_k k^2 |a_k|^2 \right\} \\ A(\gamma) &= \pi r_0^2 + 2\pi r_0 a_0 + \pi \sum_k |a_k|^2 \ . \end{aligned} \tag{4}$$

Az 1. egyenletben szereplő kvadratikus tag kifejtése sokkal bonyolultabb, mivel ki kell fejtenünk a $\mathbf{t}, R$ és Φ is, de az eltolás invarancia miatt a másod-rendű tag diagonális a Fourier bázisban. Az eredmény az $L(\gamma)$ és $A(\gamma)$ tagokkal kombinálva (részleteket lásd [3,5])

$$E_g(\gamma_0 + \delta\gamma) = E_0 + a_0 E_1 + \frac{1}{2} \sum_k |a_k|^2 E_2(k) \ , \tag{5}$$

ahol

$$\begin{aligned} E_0 &= 2\pi\lambda r_0 + \pi\alpha r_0^2 - \pi\beta \int_0^{2\pi} F_{00} dp \\ E_1 &= 2\pi\lambda + 2\pi\alpha r_0 - 2\pi\beta \int_0^{2\pi} F_{10} dp \\ E_2 &= 2\pi\lambda r_0 k^2 + 2\pi\alpha - 2\pi\beta \left[\left(2 \int_0^{2\pi} F_{20} dp + \int_0^{2\pi} F_{21} e^{ir_0kp} dp \right) \right. \\ &\quad \left. + k \left(2ir_0 \int_0^{2\pi} F_{23} e^{ir_0kp} dp \right) + k^2 \left(r_0^2 \int_0^{2\pi} F_{24} e^{ir_0kp} dp \right) \right] \ . \end{aligned} \tag{6}$$



(a) (b)

1. ábra. (a): β értékei adott α és r_0 esetén; (b): E_0 értékei r függvényében, $\alpha = 1.0$, $\beta = 0.96$, és $r_0 = 4.0$ esetén.

Az F_{ij}-k a p és r_0 függvényei és függnek a Φ választásától, például

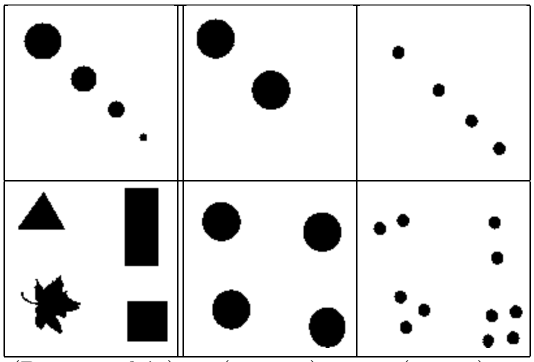
$$F_{10}(p, r_0) = r_0 \cos(p) \left(\Phi(X_0) + r_0 \left| \sin \frac{p}{2} \right| \dot{\Phi}(X_0) \right) , \tag{7}$$

ahol $X_0 = 2r_0 |\sin \frac{p}{2}|$, a többi kifejezést lásd[5]. Ahhoz, hogy az energiafüggvénynek r_0-ban extrémuma legyen a lineáris tagnak nullának kell lennie, melyből következik, hogy

$$\beta(\lambda, \alpha, r_0) = \frac{\lambda + \alpha r_0}{\int_0^{2\pi} F_{10} dp} , \tag{8}$$

mely adott λ, α és r_0 mellett rögzíti β értékét, emellett az általánosság elvesztése nélkül feltehetjük, hogy $\lambda = 1$. Így egy adott r_0 sugár mellett csak két szabad paraméterünk van (a másik a d_{min}) a stabilitás eléréséhez, azaz annak biztosítására, hogy E_2 pozitív legyen minden k-ra.

A 1. (a) ábrán láthatjuk β értékeit különböző r_0 és α értékekre, $d_{min} = 4$ esetén. Egy adott r_0 egy szelete ezen felületnek, melyen a köröket eredményező α és β párok találhatóak. Ezen párok közül csak azok érdekesek számunkra, melyek esetén $E_2 \geq 0$ minden k-ra. A 1. (b) ábrán az E_0 energiát láthatjuk egy ilyen párra. Megfigyelhetjük, hogy az energiának minimuma van az r_0 pontban, ezenkívül az adott paraméterek esetén $E_2 \geq 0$ minden k-ra, így stabil. A 2. ábrán láthatjuk a modellel elért kísérleti eredményeket, különböző kezdeti alakzatokkal inicializálva. Figyeljük meg, hogy függetlenül a sokféle kiindulási alakzattól, a végső eredmény minden esetben stabil körök halmaza. Szintén érdekes megemlíteni az első sor második ábráján tapasztalható jelenséget: A kezdeti négy körből a kisebbik kettő eltűnik, mivel ezen körök sugara kisebb mint az energia maximuma 0 és r_0 között (lásd 1. ábra), így a lokális minimalizáló eljárás a 0 sugarat találja meg.



2. ábra. Kísérleti eredmények a bemutatott modellel; az első oszlopban láthajuk a kiindulaási alakzatokat; a többi oszlopban a végállapotokat különböző sugarak esetén.

4.. Javított energiafüggvény

Jelen fejezetben az eddig bemutatott modellnek egy káros mellékhatását kiküszöbölő paraméter beállítási stratégiát mutatunk be. A 1. ábra (b) részén láthatjuk, hogy az energiának minimuma van az r_0 pontban. Ha gradiens módszert használunk az energia minimalizálására, akkor ez a minimum –még ha az adatkifejezés E_i mást is mondana– fantom köröket képez a képen. Ezen problémát kétféleképpen oldhatjuk meg. Az egyik egy új globális energiaminimalizáló eljárás lehetne, míg a másik, egy új energiafüggvény kialakítása. Mi a másodikra mutatunk be egy megoldást.

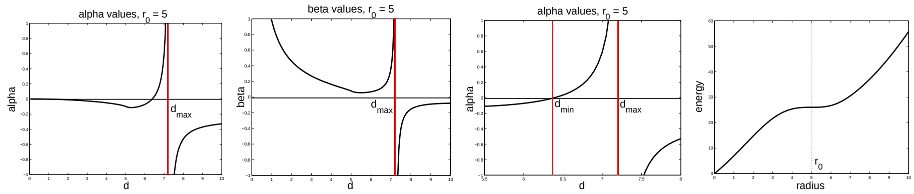
Ha a jelenlegi, r_0-ban energiaminimumot tartalmazó függvényt lecseréljük egy olyan energiafüggvényre, melynek kicsi a meredeksége az adott pontban (lásd 3.ábra (d)), akkor az adatkifejezésből származó egészen kicsiny energia is golbális minimumot képes létrehozni, ám ha az adatkifejezésből nem származik energia, akkor a kontúr elnyelődik.

A fenti energiafüggvényt úgy érhetjük el, ha az r_0-ban egy inflexiós pontot hozunk létre. Ehhez az energifüggvényre eddig adott feltételek mellett az szükséges, hogy az $E_2(0, r_0) = 0$ legyen. Ez a feltétel a következő két újabb összefüggést eredményezi

$$\alpha(r_0) = \frac{\lambda \tilde{G}(r_0)}{G_{10}(r_0) - r_0 \tilde{G}(r_0)} \quad , \quad \beta(r_0) = \frac{\lambda}{G_{10}(r_0) - r_0 \tilde{G}(r_0)} , \tag{9}$$

ahol $G_{ij} = \int F_{ij} dp$ és $\tilde{G} = 2G_{20}(r_0) + G_{21}(0, r_0)$ (lásd [4]). Ezen egyenletek rögzítik α-t és β-t adott r_0 és d_{min} esetén. Mivel r_0 az alkamazás során adott, így az egyetlen paraméter amitől függ az értékük az a d_{min} lesz.

Megjegyezzük, hogy az α és β paramétereknek pozitívaknak kell lenniük a modell stabilitása miatt, így csak azon d_{min} értékek használhatók, ahol mind-



(a) (b) (c) (d)

3. ábra. (a): α értékei d_{min} függvényében; (b): β értékei; (c): α értékek a kritikus intervallumon; (d): az E_0 értékei $d_{min} = 6.8$ esetén. ($r_0 = 5$ minden ábrán)

kettő pozitív. A 3. ábra (a) és (b) részén láthajuk azt, hogy míg β esetében nagyobb, α esetén csak egy kisebb intervallumon pozitívak az értékek, ez az intervallum látható a 3. ábra (c) részén.

A legkisebb és legnagyobb lehetséges d_{min} érték meghatározása analitikusan nehéz feladat, ezért azok Taylor polinommal való közelítését válaszotttuk (bővebben lásd [4]). Eredményül azt kaptuk, hogy ha $1.2776 \leq d_{min} \leq 1.4499$ akkor az energiafüggvenynek inflexiós pontja van r_0-ban és a modell stabil marad. Egy ilyen lehetséges energiafüggvényt láthatunk a 3. ábra (d) részén.

5.. Adatmodell és az energia minimalizálása

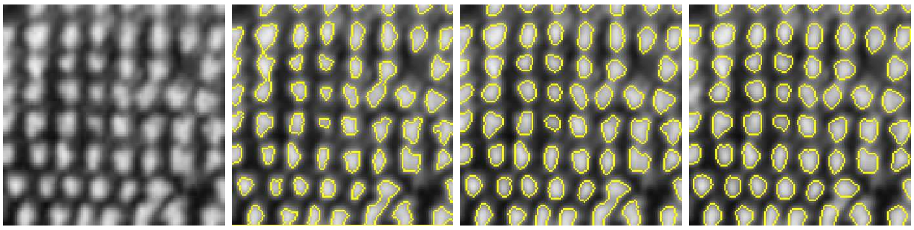
Az előzetes alakzatinformációt leíró modellt társítanunk kell egy megfelelő adatkifejezéssel, melyet a következőképp definiálunk

$$E_i(\gamma) = \lambda_i \int \mathbf{n}(p) \cdot \partial I(p) dp + \int_{\Sigma_{in}} \frac{(I(x) - \mu_{in})^2}{2\sigma_{in}^2} dx + \int_{\Sigma_{out}} \frac{(I(x) - \mu_{out})^2}{2\sigma_{out}^2} dx \ , \tag{10}$$

ahol $\Sigma_{in/out}$ a kontúron belülre illetve kívülre eső részek, I pedig a kép. Az első tag a szokásos gradiens tag, míg a további két régió alapú tagot már [1]-ben is használták aktív kontúr modellekhez. A modell belső és külső területeit Gauss eloszlással modellezük. A paraméterek értékét kezdetben tanuló-minták segítségével határoztuk meg maximum likelihood becslést használva.

Az energiát gradiens módszer segítségével minimalizáljuk, ahol az inicializálásnak fontos szerepe van. Jelen cikkben minden valós péda esetén egy lekerekített sarkú a kép méreténél néhány pixellel kisebb téglalap volt az inicializáló alakzat. A gradiens módszer evolúciós egyenlete:

$$\mathbf{n} \cdot \partial_t \gamma(p) = -\lambda_i \partial^2 I(\gamma(p)) + \alpha_i \left[\frac{(I(\gamma(p)) - \mu_{out})^2}{2\sigma_{out}^2} - \frac{(I(\gamma(p)) - \mu_{in})^2}{2\sigma_{in}^2} \right] \tag{11}$$
$$-\kappa(p) - \alpha + \beta \int dp' \, \hat{R}(p,p') \cdot \mathbf{n}(p') \, \dot{\Phi}(R(p,p')) \ ,$$

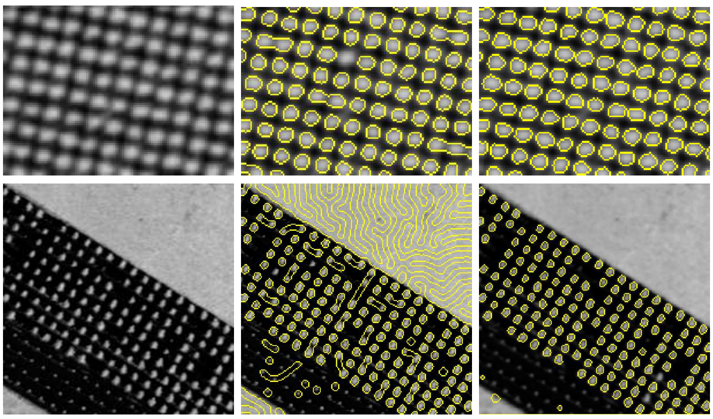


4. ábra. Balról jobbra haladva: az eredeti légifelvétel; a szegmentálás eredménye klasszikus aktív kontúr modellel; a 3.1. fejezetben bemutatott modellel elért eredmény; végül a 4. fejezetben szereplő modell eredménye. ©IFN

ahol $\hat{R} = \mathbf{R}/R$ és κ a kontúr görbülete. Az implementáció során a level set módszer egy kiterjesztését használtuk (bővebben lásd [7,10]).

6.. Kísérleti eredmények

A modellt színes infravörös légifevételek infravörös csatornáján teszteltük, melyeken nyárfaerdő ültetvények láthatók. A felvételek Franciaországban SZ-aône et Loire' régióban készültek és a French National Forest Inverntory (IFN) bocsájtotta rendelkezésünkre.



5. ábra. Eredmények valós képek esetén. Az első oszlopban a kiindulási képeket láthatjuk, a másodikban az eredményeket abban az esetben amikor az energiának minimuma van, míg a harmadik oszlopban az eredmények az inflexiós pontot tartalmazó modellel. ©IFN

Minden kísérletünk esetén a kezdeti kontúr egy kerekített sarkú a képnél kicsivel kisebb téglalp volt. A 4. ábrán balra láthatjuk a kiindulási képeket, míg a második a klasszikus aktív kontúrral elért legjobb eredményünk; a harmadik ábra mutatja legjobb eredményt melyet a 3.1. fejezetben bemutatott modellel értünk el, az utolsón pedig a 4. fejezetben szereplő modell eredményei találhatók. A második képen megfigyelhetjük, hogy a klasszikus módszer nem képes a koronák szétválasztására, a harmadik képen láthatjuk, hogy a módszer egyetlen kivételtől eltekintve miden fakoronát helyesen detektált. A negyedik ábrán pedig minden fa helyesen lett detektálva.

A 5. ábrán az első oszlopban az eredeti képek, a másodikban a 3.1. fejezetben bemutatott modell eredményei, az utolsóban pedig a 4. részben ismertetett eljárás eredményei láthatók. – Az első sorban szabályosan ültetett nyár erdőt találunk, az első modell néhány összeolvadást megengedett, és egy fát nem talált meg, a második helyesen detektálta a fákat. A második sorban egy nehezebb képet figyelhetünk meg, mivel igen nagy homogén rész található rajta. A nagyobb sugarú fákat probáltuk a módszerrel megtalálni. Az első modell, mint azt már korábban is említettük, fantom alakzatokat képez a homogén területeken. A második modell viszont sikeresen találta meg a fákat.

Hivatkozások

1. T. F. Chan and L. A. Vese. Active contours without edges. *IEEE Trans. Image Processing*, 10(2):266–277, 2001.
2. D. Cremers, F. Tischhäuser, J. Weickert, and C. Schnörr. Diffusion snakes: Introducing statistical shape knowledge into the mumford-shah functional. *International Journal of Computer Vision*, 50(3):295–313, 2002.
3. P. Horváth, I. H. Jermyn, Z. Kato, and J. Zerubia. A higher-order active contour model for tree detection. In *Proc. International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, Hong Kong, China, August 2006.
4. P. Horváth, I. H. Jermyn, Z. Kato, and J. Zerubia. An improved gas of circles' higher-order active contour model and its application to tree crown extraction. In *Proc. Indian Conference on Vision, Graphics and Image Processing (ICVGIP)*, Lecture Notes in Computer Science, Madurai, India, December 2006. Springer.
5. P. Horváth, I. H. Jermyn, J. Zerubia, and Z. Kato. Higher-order active contour model of a gas of circles' and its application to tree detection. Research report, INRIA, France, November 2006.
6. M.E. Leventon, W.E.L. Grimson, and O. Faugeras. Statistical shape influence in geodesic active contours. In *Proc. IEEE Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, volume 1, pages 316–322, Hilton Head Island, South Carolina, USA, 2000.
7. S. Osher and J. A. Sethian. Fronts propagating with curvature dependent speed: Algorithms based on Hamilton-Jacobi formulations. *Journal of Computational Physics*, 79(1):12–49, 1988.
8. N. Paragios and M. Rousson. Shape priors for level set representations. In *Proc. European Conference on Computer Vision (ECCV)*, pages 78–92, Copenhague, Danemark, 2002.
9. T. Riklin-Raviv, N. Kiryati, and N. Sochen. Prior-based segmentation by projective registration and level sets. 2005.
10. M. Rochery, I. H. Jermyn, and J. Zerubia. Higher order active contours. *International Journal of Computer Vision*, 2006. In press.