

AKTİF KONTUR MODELLER VE DÜZEY KÜMESİ KULLANARAK ÇİZGİSEL DETAYLARIN YARI OTOMATİK OLARAK ÇİZİLMESİ

D. Z. Şeker¹, O. Eker²

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Fotogrametri Anabilim Dalı, İstanbul, dzseker@ins.itu.edu.tr

²Harita Genel Komutanlığı, Fotogrametri Dairesi Başkanlığı, Ankara, oeke@hgk.mil.tr

ÖZET

Son yıllarda digital fotogrametri ve harita yapımındaki gelişmelere paralel olarak, digital hava fotoğraflarından, çizgisel topoğrafik detayların otomatik olarak çizilmesine ve daha kısa sürelerde harita yapımına olanak sağlayacak etkili yöntemlerin geliştirilmesine yönelik araştırma çalışmaları artmıştır.

Digital hava fotoğraflarından yarı otomatik olarak detay çizimine yönelik, değişen başarı derecelerine sahip, farklı yaklaşımlar öne sürülmektedir. Bütün alternatifleri gerçekleştirebilecek tek bir yöntem yerine her bir görevin belirgin özelliklerine uygun yöntemlerin birlikte uygulanması yoluna gidilmektedir.

Bu çalışmada, Aktif Kontur Modeller algoritması ve Düzey Kümesi yaklaşımı kullanılarak dijital hava fotoğraflarından çizgisel detayların yarı otomatik çizim araştırmaları ve bu araştırmaların sonuçları konu edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Fotogrametri, kontur modeller, düzey kümesi

ABSTRACT

SEMI-AUTOMATIC LINE EXTRACTION USING SNAKES AND FAST MARCHING ALGORITHMS

Parallel to recent developments in map production and digital photogrammetry, there is an increase, in researches of efficient methods which provide automatic topographic line feature extraction from digital aerial photographs and map production in short periods.

Various methods with different success degrees were oriented about semi-automatic feature extraction from digital aerial photographs. In order to use only one method which satisfies all the alternative solutions it is better to use the techniques together according to the characteristics of the issue.

In this study we investigate the results of the extraction of line features from digital photographs using the Snakes algorithm and Level Set Fast Marching approach.

Keywords: Photogrammetry, snakes, level set.

1. GİRİŞ

Yarı otomatik çizim yöntemleri iki ayrı sınıfta toplanmaktadır. Birinci sınıf; bir operatör yardımıyla çizilen çizgisel detayın başlangıç segmentinin çeşitli algoritmalar yardımı ile devam ettirilmesini konu alan, **çizgi izleme algoritmalarıdır**. Çizgi izleme algoritmalarına verilecek en iyi örnekler profil eşleme ve kalman filtreleridir. Diğer sınıf ise, çizilecek çizgisel detayın çevresinde ince bir şerit halinde kümelenmiş noktaların arasında bir interpolasyon yapılmasını inceleyen **dinamik programlama** ve **aktif kontur modeller** gibi algoritmalarıdır.

Aktif Kontur Modeller algoritması, en bilinen yarı otomatik detay çizim yaklaşımlarından bir tanesidir. Bu konsept; bir optimizasyon işleminden geçirilen eğri belirleme algoritmalarına dayanmaktadır. Bu optimizasyon; elastodinamik modelleri ve bu modellerin iç ve dış kuvvetlerin etkisi altındaki davranışlarını kullanan eğrinin kontrastlık ve pürüzsüzlük modellerinin optimizasyonunu içermektedir. Bazı çalışmalarda, görüntüler ile enerji de birleştirmektedirler.

Aktif Kontur Model yöntemlerinin uygulanmasındaki ana tanımlamalar, çizginin başlangıcı ve bundan sonraki çözümün doğru yakınsanmasına bağlıdır. Bu sorunların çözümü için çeşitli yöntemler öngörülmüştür. Bu yöntemler:

- Çok ölçekli yaklaşımlar
- Basınç kuvvetleri yaklaşımı
- Sonlu elemanlar yöntemi
- Düzey kümesi yaklaşımı
- Çok düzey yaklaşımı

- Gradyan vektör akışını içermektedirler.

2. AKTİF KONTUR MODELLER TEORİSİ

Orijinal Aktif Kontur Modeller Algoritması, zamana bağımlı olarak modellenen iki boyutlu kıvrımları aşağıdaki gibi ifade edilir (Kass and Witkin and Terzopulos, 1987).

$$\vec{v}(s, t) = (x(s, t), y(s, t)) \quad 0 \leq s \leq 1, \quad (1)$$

Burada, s ; orantılı çizgi uzunluğuna, t ; şimdiki zaman, x ve y ; kıvrımın görüntü koordinatlarıdır. Zaman ilerledikçe Aktif Kontur Modeller Algoritması konumunu şeklini etkileyen kuvvetlere göre kendini deforme eder. Aktif Kontur Modeller Algoritmasını etkileyen kuvvetler üç genel kategoriye ayrılmaktadır. İlki; görüntü kuvvetleridir ve görüntü fonksiyonu tarafından aktif hale getirilir. Aktif Kontur Modeller Algoritmasını çizgi ve kenarlar gibi görüntü detaylarına yönlendirir. İkincisi; iç kuvvetler olarak nitelendirilir ve parça parça yumuşaklık kısıtlarını zorlayarak Aktif Kontur Modeller Algoritmasının şeklini kontrol eder. Son olarak dış kuvvetler, Aktif Kontur Modeller Algoritmasını ilgilenilen bölgeye en yakın noktaya (yerel minimuma) olan hareketinden sorumludur. Bu kuvvetler genellikle Aktif Kontur Modeller Algoritmasını, özelliklerini değiştirerek farklı işler için esnek ve uyumlu hale getirmek için kullanılır.

Bir Aktif Kontur Modeller Algoritması noktasına $v(s_0, t_0)$ etkiyen bütün kuvvetlerin toplamı olan F vektörü “0” olmadığında, noktanın konumu, F vektörünün yönü ve büyüklüğüne bağlı olarak değişir. Sürecin bölümlenmesi esnasında Aktif Kontur Modeller Algoritmasının kıvrımlarındaki bütün kuvvetlerin dengelendiği durumlar araştırılır. Uygulanan görüntü kuvvetleri, istenilen özelliklerde çizgisel görüntü detaylarına karşılık gelen Aktif Kontur Modeller Algoritmasının konumu durumunda olmayı garantiler (ya da çizgisel görüntü detaylarına karşılık gelen Aktif Kontur Modeller Algoritması konumunu istenilen özelliklerde olmasını garantiler).

2.1. Aktif Kontur Modeller Algoritmasının Enerjisi

Aktif Kontur Modeller Algoritmasının konumu, optimal konumunu bulmak için, enerjilerin toplamı olarak ifade edilmektedir.

$$E(\vec{v}) = E_{img}(\vec{v}) + E_{int}(\vec{v}) + E_{ext}(\vec{v}) \quad (2)$$

Burada, E_{int} kıvrımdan kaynaklan Aktif Kontur Modeller Algoritmasının iç enerjisini göstermektedir. Görüntü enerjisi (E_{img}) görüntü kuvvetlerinin etkilenmesine yol açarken, dış enerjiler (E_{ext}) ise dış kuvvetlerin artmasına neden olmaktadır. Bütün kuvvetlerin dengelendiği yerde Aktif Kontur Modeller Algoritmasının konumu toplam yerel minimumuna karşılık gelmektedir.

Aktif Kontur Modeller Algoritmasının görüntü enerjisi aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir.

$$E_{img}(\vec{v}) = -\int_0^1 P(\vec{v}(s, t)) ds \quad (3)$$

$P(v(s, t))$ ilgili detaylara karşılık gelen yüksek değerli bir fonksiyondur. Görüntüde Aktif Kontur Modeller Algoritmasını kenarlara çekerken, $P(v(s, t))$ genellikle görüntü gradyentinin büyüklüğüne eşit olarak alınmaktadır.

$$P(\vec{v}(s, t)) = |\nabla I(\vec{v}(s, t))| \quad (4)$$

$I(v(s, t))$ bir ham görüntü yada bir Gauss Kernel filtresi uygulanmış görüntü olarak kabul edilmektedir. Görüntünün yumuşatılmasında ve önemsiz detayların kaldırılmasında Gauss Kernel filtresi kullanılır ki bu Aktif Kontur Modeller Algoritmasının daha düşük görüntü enerjili konumlara hareketini önlemekte ve daha belirgin detaylara yönelmesini sağlamaktadır.

İç enerji, Aktif Kontur Modeller Algoritmasının şekli üzerindeki geometrik kısıtlamaları yerine getirmeyi olanaklı kılmaktadır. Aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$E_{\text{int}}(\vec{v}) = \frac{1}{2} \int_0^1 \alpha(s) \left| \frac{\partial \vec{v}(s,t)}{\partial s} \right|^2 + \beta(s) \left| \frac{\partial^2 \vec{v}(s,t)}{\partial s^2} \right|^2 ds \quad (5)$$

$\alpha(s)$ ve $\beta(s)$ Aktif Kontur Modeller Algoritmasının gerilimini ve katılığını düzenleyen keyfi fonksiyonlardır. Gerilim için kısıtlama birinci derece terimler (ilk sıradaki terimler) tarafından yerine getirilmekte olup, Aktif Kontur Modeller Algoritmasının zar gibi davranmasını sağlamaktadır. Katılık, ikinci derece terimler ile kısıtlanmakta olup, Aktif Kontur Modeller Algoritmasının ince bir tabaka gibi davranmasına olanak sağlamaktadır.

2.2. Aktif Kontur Modeller Algoritması Enerjisinin Minimizasyonu

Dış kuvvetlerin yokluğunda, (3) ve (5) eşitliklerinin (2) nci eşitlikte yerine konmasıyla, Aktif Kontur Modeller Algoritmasının toplam enerji fonksiyonu,

$$E(\vec{v}) = - \int_0^1 P(\vec{v}(s,t)) ds + \frac{1}{2} \int_0^1 \alpha(s) \left| \frac{\partial \vec{v}(s,t)}{\partial s} \right|^2 + \beta(s) \left| \frac{\partial^2 \vec{v}(s,t)}{\partial s^2} \right|^2 ds \quad (6)$$

şeklini almaktadır (Neuenschwander, 1996). Aktif Kontur Modeller Algoritmasının enerjisi, minimize edilirse, hareketin Euler-Lagrange diferansiyel eşitliğine göre bir çözümü bulunabilme olasılığı ortaya çıkmaktadır (Courant and Hilber 1989).

$$-\frac{\partial}{\partial s} \left(\alpha(s) \frac{\partial \vec{v}(s,t)}{\partial s} \right) + \frac{\partial^2}{\partial s^2} \left(\beta(s) \frac{\partial^2 \vec{v}(s,t)}{\partial s^2} \right) = -\nabla P(\vec{v}(s,t)) \quad (7)$$

(5) eşitliğindeki belirli deformasyon enerjisi seçilerek, Aktif Kontur Modeller Algoritmasının hareketini yöneten diferansiyel eşitlik doğrusal hale getirilmektedir. Bu, minimizasyon problemini kolaylaştırmaktadır, çünkü (7) eşitliği iki diferansiyel eşitliğe ayrılabilme olup,

$$\begin{aligned} -\frac{\partial}{\partial s} \left(\alpha(s) \frac{\partial x(s,t)}{\partial s} \right) + \frac{\partial^2}{\partial s^2} \left(\beta(s) \frac{\partial^2 x(s,t)}{\partial s^2} \right) &= -\frac{\partial P}{\partial x}, \\ -\frac{\partial}{\partial s} \left(\alpha(s) \frac{\partial y(s,t)}{\partial s} \right) + \frac{\partial^2}{\partial s^2} \left(\beta(s) \frac{\partial^2 y(s,t)}{\partial s^2} \right) &= -\frac{\partial P}{\partial y} \end{aligned} \quad (8)$$

$x(s,t)$ ve $y(s,t)$ için bağımsız olarak çözülebilmektedir. Buna rağmen bu eşitliklerin tek bir çözümünün olabilmesi için, bu eşitliklerden biri, $s=0$ ve $s=1$ için $x(s,t)$, $y(s,t)$ 'nin türevleri ve değerleri gibi, sınır koşullarının belirlenmesi gerekmektedir. Uygulamada P ayrı bir fonksiyon olduğundan (8) eşitlikleri analitik olarak çözülemez ve sayısal iteratif bir çözüm gerektirmektedir.

(8) eşitliğinin çözümü için sayısal iteratif metodun yanında Aktif Kontur Modeller Algoritması uygulamaları için görüntü ve iç enerjiler arasındaki denge de önemlidir. Eğer enerjilerden biri diğerine daha baskın olursa, bu Aktif Kontur Modeller Algoritmasının yumuşaklık kısıtlamasını durduracak ya da Aktif Kontur Modeller Algoritmasının görüntü kuvvetlerini ihmal etmesine zorlayacaktır. Bunlar istenmeyen etkilerdir. Aktif Kontur Modeller Algoritmasının iç enerjisi kontrol edilebilirse, denge, Aktif Kontur Modeller Algoritmasının gerilimini ve katılığını kontrol eden $\alpha(s)$ ve $\beta(s)$ fonksiyonlarının dengelenmesiyle sağlanabilmektedir.

Daha önce geliştirilen yaklaşımların çoğunda bu iş manuel olarak yapılmaktaydı. Ancak sadece bir görüntüden diğerine giderken değil, aynı zamanda aynı görüntüdeki farklı konturlar için de değerleri sık sık değiştirilmesi gerekiyorsa, gerilim ve katılık parametrelerinin otomatik ayarı için bir otomatik yaklaşım ihtiyaç göstermektedir.

İç ve görüntü enerjileri arasındaki denge, $\alpha(s)$ ve $\beta(s)$ fonksiyonlarının yerme değeri otomatik olarak hesaplanabilen sabit bir λ faktörü ile etkili olarak sağlanabilmektedir (Fua and Leclerc, 1990).

$$\lambda = \frac{|\delta E_{img}(\vec{v})|}{|\delta E_{int}(\vec{v})|} \quad (9)$$

δ , fark operatörüdür. Çözüm, Aktif Kontur Modeller Algoritmasının konumunun başlangıç tahminin sonuç çözümüne yakınlığına bağlıdır. λ 'nın otomatik olarak tekrar dengelenerek optimizasyonu, Aktif Kontur Modeller Algoritmasının konumunun bir öncekine şekinden ve görüntü fonksiyonundan bağımsız olarak yaklaşmasıyla sonuçlanmaktadır. (8) eşitliğindeki $\alpha(s)$ ve $\beta(s)$ nin yerine λ 'nın kullanılmasıyla

$$\lambda \left(-\frac{\partial^2 v(s,t)}{\partial s^2} + \frac{\partial^4 v(s,t)}{\partial s^4} \right) = -\frac{\partial P}{\partial v} \quad (10)$$

eşitliği meydana gelir ve v ; x veya y 'den birini ayrı ayrı temsil eder.

3. DÜZEY KÜMESİ TEORİSİ

Aktif Kontur Modeller ve düzey kümesi yaklaşımını açıklayabilmek için öncelikle düzey kümesi eşitliklerini açıklamak gerekmektedir. Burada bu eşitliklere yer verilmeyecek ve sadece ilgilenilen bölümlere ait ifadelere başvurulacaktır. Düzey kümesi eşitliklerine ait detaylı bilgi için bakınız (Sethian, 1996).

Aktif Kontur Modeller yardımıyla detay çıkarımı nda, F hızıyla yayılan bir yüzey için düzey kümesi eşitliği aşağıdaki gibi yeniden düzenlenebilir (Malladi and Sethian, 1996).

$$\phi_t + F|\nabla \phi| = 0 \quad (11)$$

$$\phi(x, t=0) \quad (12)$$

(1-cK) formunda, c 'nin sabit olarak alındığı bir hız fonksiyonu tanımlanabilir. Buradan yola çıkarak K eğrisi için bir açılım eşitliği yazılabilir (Sethian, 1985)

$$K_t = cK_{\alpha\alpha} + cK^3 - K^2 \quad (13)$$

Bu eşitlikte, K eğrisinin α çizgi uzunluğuna göre ikinci türevi alınmaktadır. Bu bir tür tepki-yayınım denklemidir; ($cK^3 - K^2$) tepki terimi, $cK_{\alpha\alpha}$ yayınım teriminin yumuşatma etkisiyle dengelenmektedir. Gerçekte, $c=0$ kabul edilerek, $K_t = -K^2$ şeklinde saf bir tepki denklemi elde edilebilir. Bu durumda; $K(s,t) = K(s,0)/(1+tK(s,0))$ şeklinde bir çözüm elde edilebilir, burada eğer başlangıç eğrisi herhangi bir yerde negatif olursa, t sınırında tekil bir çözüm garanti edilebilmektedir. Böylece, $c=0$ olduğunda, hareketli eğri içinde köşeler oluşturulabilmektedir.

Yukarıda da belirtildiği gibi, $c=0$ için sonlu zamanda yüzey, keskin bir köşe oluşturmaktadır. Genel olarak, türev orada tanımlanmadığı sürece, köşede bir dikeyi nasıl oluşturacağı ve yayınımlı nasıl sürdüreceği açık değildir. Birinci olasılık “çatakkuyruk” çözümüdür. Bu çözüm de, yüzeyin kendi içinden geçmesine izin verilir. Bununla birlikte; Huygens oluşum ilkesi olarak adlandırılan, t zamanındaki yüzey, başlangıç eğrisinden t kadar uzaklıkta konumlandırılmış tüm noktaların kümesinden oluşmalıdır ilkesi bu duruma tezat teşkil etmektedir (Sethian, 1985). Bu zayıf çözümün, karakterize edilmesi için diğer bir yol “entropi şartı”dır: “Eğer bir yüzey yanan alev şeklinde ise ve yüzey üzerinde bir parçaçık bir kez yandıysa, o parçaçık yanmıştır ve geri dönülemez.” (Sethian, 1985). Bu şarta şartsız bağlı kalınırsa Huygens ilkesi oluşur. Bundan başka, fiziksel olarak kabul edilebilir olan bu zayıf çözüm, $c>0$ olduğu ve eğri teriminin yok olduğu durumlarda yumuşak çözümlerin biçimsel sınırını teşkil etmektedir.

Buradan yola çıkarak, hız fonksiyonunun etkisini $F=F_A+F_G$ olacak şekilde iki parçaya bölmek mümkün görünmektedir. F_A terimi, yüzeyin işaretine bağlı olarak, F_A hızında daima aynı tarzda genişlemesine veya büzülmesine neden olan adveksiyon terimidir. F_G terimi ise yerel eğri gibi, yüzeyin geometrisine göre değişen bölümdür. Bu yayınım terimi, yüzeyin büyük eğriliğe sahip bölgelerini yumuşatır ve yüzey üzerinde, ince zar plakası kanallarındaki iç deformasyon enerjisi terimiyle aynı düzenleyici etkiye sahiptir.

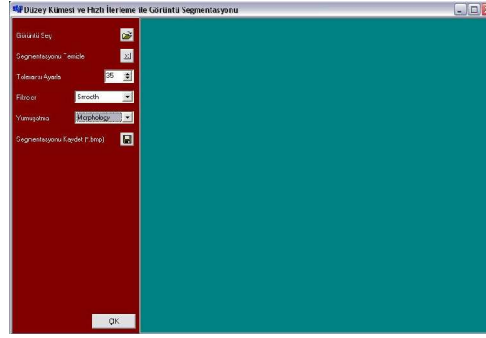
Son olarak, görüntü verisinden, bu harekete uygulanabilecek ve durdurucu kriter rolü üstlenecek bir hız fonksiyonu tanımlanması gerekmektedir. Yukarıdaki hız fonksiyonu, aşağıdaki eşitlikle çarpılarak bu sorun çözümlenebilir.

$$k_I(x, y) = \frac{1}{1 + |\nabla G_\sigma * I(x, y)|} \quad (14)$$

Bu eşitlikte $G_\sigma * I$ ifadesi, σ karakteristik genişliğindeki Gauss Yumuşatma filtresi uygulanmış görüntüyü temsil etmektedir.

4. UYGULAMA VE SONUÇLAR

Yukarıda teorisi açıklanan algoritmaların çalışabilirliğini test etmek amacıyla C++ ortamında Şekil 1’ de gösterilen arayüze sahip olan bir uygulama programı geliştirilmiştir.

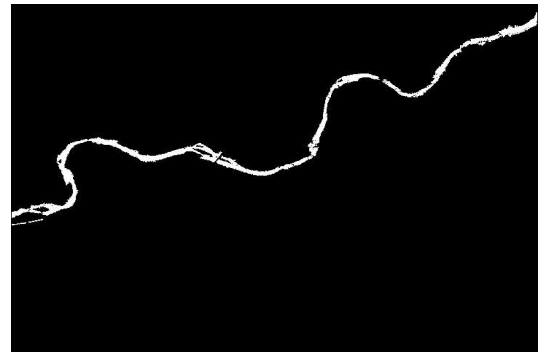


Şekil 1: Uygulama programının arayüzü.

Uygulama programı çalıştırılır ve renkli veya siyah/beyaz herhangi bir resim (jpg, bmp formatları desteklenmektedir) arayüzde seçilir. Resim seçildikten sonra istenirse uygun bir filtre (Smooth ve Median Filtreleri hazır durumdadır) ve işlem sonrası yumuşatma için morphology seçeneği seçilebilir. Tolerans değeri ayarlanır ve uygulamanın yarı-otomatik doğasından dolayı çizilmesi istenilen detayın üzerine iki kez fare ile tıklanır. Algoritma ilerlemeye başlar ve ilerleme durunca çizilen kenarlar içinde kalan bölgeler kırmızı-bordo renge boyanır. Alınan sonuca ve resim kontrastlıklarına ve ilgilenilen detayın özelliklerine göre tolerans tekrar ayarlanabilir ve işlemlere devam edilir. Çizgisel detayların bulunmasından ve işlemlerin tamamlanmasından sonra sonuçlar farklı bir dosyaya bir maske şeklinde (siyah/beyaz ve bmp dosyası olarak) kaydedilir (Şekil 2). Bu maskede çizilen detaylar beyaz, iii çizilmeyenler ise siyah olarak kaydedilir (Şekil 3).



Şekil 2: Uygulama programının çalıştırılması.



Şekil 3: Bmp dosyası olarak kaydedilen maske.

Uygulama programı kullanılarak gerçekleştirilen testlerde 4 adet, çeşitli ölçeklerde (1/4000, 1/16000, 1/25000, 1/35000) siyah/beyaz hava fotoğrafı kullanılmıştır. Her bir fotoğraf 21 mikronda taranarak sayısallaştırılmıştır. Her bir fotoğrafta çizgisel detay olarak yollar seçilmiş ve bu detayların yarı-otomatik olarak çizdirilmesine çalışılmıştır. Sadece 1/35000 ölçekli test verisinde bulunan büyük bir sulu dere de güzel bir örnek olabileceği ve algoritmanın yollar dışında da çalışabilirliğini test edebilmek için değerlendirilmeye katılmıştır (Şekil 4). 1/16000 ölçekli test verisindeki yolların kontrastlığı ve keskinliği çok belirgin olmadığından özellikle yerleşim yeri içerisindeki yolların belirlenebilmesi oldukça zor olmuştur (Şekil 4 (b)). Buradaki kötü sonuçları, işlemde önce resmin farklı bir filtreden (örneğin anisotropik difüzyon filtresi gibi) geçirilmesiyle daha iyi sonuçlar elde edilebileceği değerlendirilmektedir. Diğer test verilerinde adi yollar dahil bütün yolların ve derenin çizdirilmesinde engelli bölgeler (yollar üzerindeki ağaç, araba vb. engeller) haricinde oldukça başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür (Şekil 4 (a), (c), (d), (e)). Engelli bölgelerden kaynaklanan boşlukların değerlendirilmesinde ve doldurulmasında farklı interpolasyon yöntemlerinden faydalınabileceği değerlendirilmektedir.



(a) 1/4000 Ölçekli



(b) 1/16 000 Ölçekli



(c) 1/25000 Ölçekli



(d) 1/35000 Ölçekli (yol)



(e) 1/35000 Ölçekli (dere)

Şekil 4: Çeşitli ölçeklerdeki siyah/beyaz dijital hava fotoğraflarında gerçekleştirilen çizgisel detay bulma uygulamaları.

KAYNAKLAR

Courant R. and Hilbert D., 1989. *Methods of Mathematical Physics*, Volume 1. Wiley, NewYork.

Fua, P., Leclerc, Y., 1990. *Model Driven Edge Detection Machine Vision and Applications*, Vol. III, pp. 45-56.

Kass, M., Witkin, A., Terzopoulos, D., 1987. *Snakes: Active Contour Models*, International Journal of Computer Vision 1(4): 321-331.

Malladi, R., Sethian, J.A., 1996. *A Unified Approach to Noise Removal, Image Enhancement, and Shape Recovery*, IEEE Transactions on Image Processing.

Neuenschwander, W., 1996. *Elastic Deformable Contour and Surface Models for 2-D and 3-D Image Segmentation*, Hartung-Gorre Verlag, Konstanz.

Sethian, J.A., 1985. *Curvature and the Evolution of Fronts*, Commun. In Mathematical Physics, Vol:101 pp:487-499.

Sethian, J.A., 1996. *Level Set Methods: Evolving Interfaces in Geometry, Fluid Mechanics, Computer Vision and Material Science*, Cambridge University Press.