

# Endovasküler Müdahalelerde X-Ray Videodan Kılavuz Teli İzleme Guidewire Tracking in X-Ray Videos of Endovascular Interventions

Gözde Ünal<sup>1</sup>, Greg Slabaugh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi  
Sabancı Üniversitesi  
Tuzla, İstanbul

gozdeunal@sabanciuniv.edu

<sup>2</sup>Intelligent Vision and Reasoning  
Siemens Corporate Research  
Princeton NJ USA

greg.slabaugh@siemens.com

## Özetçe

Bu bildiriye kalp x-ray videolarında kılavuz telinin izlenmesi için yeni bir metot sunulmaktadır. Değişimler hesabı kullanılarak bir kobra eğrisini içkin ve dıştan gelen kuvvetler ile kısıtlayarak deforme eden türevsel denklemler türetilmiştir. Bu denklemler kullanılarak eğrinin güncellenmesi ile imgedeki kılavuz teline uygunluğu, pürüzsüzlüğü, ve telin uzunluğunun korunması sağlanır. Analitik olarak türettiğimiz bu denklemler önceki metotlardan farklı olarak teğetsel terimler de içermektedir. X-ray videolarda tipik olarak karşılaşılan zayıf kontrasta karşı imgeye bağlı öznitelik olarak faz eşlenmesi haritası kullanılmıştır. Geliştirilen metodun başarısı deneysel sonuçlar ile düşük kontrastlı x-ray videoları üzerinde kılavuz teli izleme ile gösterilmiştir.

## Abstract

We present a novel method to track a guidewire in cardiac x-ray video. Using variational calculus, we derive differential equations that deform a spline, subject to intrinsic and extrinsic forces, so that it matches the image data, remains smooth, and preserves an a priori length. We analytically derive these equations from first principles, and show how they include tangential terms, which we include in our model. To address the poor contrast often observed in x-ray video, we propose using phase congruency as an image-based feature. Experimental results demonstrate the success of the method in tracking guidewires in low contrast x-ray video.

## 1. Giriş

Ateroskleroz gibi arteri hastalıklarının tedavisinde endovasküler müdahaleler sıklıkla kullanılmaktadır. Bu tip prosedürlerde bir kılavuz teli hastanın kasığından vücuda sokularak kalbe doğru ilerletilir. Burada kritik olan nokta kılavuz telinin vasküler anatomiye doğru bir şekilde yerleştirilmesidir. Bu işlem genelde x-ray floroskopi yardımıyla yapılır. Yine de vasküler sistemin kompleksitesi, hastanın hareketi ve hastanın yüksek derecede radyasyona maruz kalmaması nedeniyle videoda elde edilen düşük sinyal gürültü oranı yerleştirme işleminin zorlaşmasına yol açar. Bu çalışmada, kardiyak x-ray videolarında kılavuz telinin izlenmesi için bir metot sunacağız.

Kılavuz teli izleme tekniklerinin müdahalesel yöngüdümlü ve uyarlanabilir imge iyileştirme gibi birçok uygulamaları mevcuttur.

Gürültülü imgelerden çizgi sezimi konusunda birçok çalışma yapılmıştır, fakat spesifik olarak kılavuz teli izlemede nispeten az sayıda literatür bulunmaktadır. Bu endovasküler müdahalelerin klinik önemi düşünüldüğünde beklenmedik bir durumdur. Bildiğimiz kadarıyla bu problemi ele alan Palti-Wasserman'ın çalışmasında kılavuz teli ardışık video imgelerinden seçip çıkarılan ikinci dereceden bir polinom olarak modellenmiştir [1]. Baert et al. tarafından yapılan bir çalışmada ise kılavuz teli bir kobra eğrisi olarak modellenmiş ve eğrinin pozisyonu numerik olarak Powell'in yön seti metodu kullanılarak eniyilenmiştir [2]. Eniyileme yöntemi kobra eğrisinin en küçük boyda ve en düz (pürüzsüz) halde olması, ve kılavuz telinin imgedeki pozisyonuna çıkması için biçim değiştirmesi sonucunda elde edilmiştir. Bazıları değişik içkin ve imgeye bağlı kuvvetler ile evrim geçiren konturları kullanmışlardır: yılanlar buna klasik bir örnektir [3, 4]. Kontur ayrık kontrol noktalarından aradeğerlenen bir kobra eğrisi olarak tanımlandığında problem kontrol noktalarının evrim geçirmesine dönüşür, çünkü bu kobra eğrisinin evrim geçirmesini sağlar. Tipik olarak kapalı konturlar [5] kullanılmıştır. Ayrıca sınır koşulları olan açık konturlar [6] ile son noktalar değişmez olarak veya ayna simetrisi ile kısıtlandırılmıştır. Kapalı konturlar evrimlendirilirken kontur üzerindeki teğetsel kuvvetler konturun geometrisini değiştirmeyeceği için genelde gözardı edilir. Fakat, bu terimler açık konturlar üzerinde etkiye sahiptir ve gözönüne alınmalıdır.

Bu bildiriye çalışmada [1, 2]'den esinlenmiştir fakat önemli farklılıklara sahiptir. Biz kılavuz telinin geometrisini kontrol noktaları arasında aradeğerleme yapan pürüzsüz bir eğri olarak tanımlanabilecek bir kobra eğrisi olarak modelliyoruz. Enerji fonksiyonumuz üç terimden oluşmaktadır: birincisi kılavuz telinin imgeden sezimlenen kenarlara uygunluğu, ikincisi eğrinin düzgünlüğü, ve üçüncüsü de önsel olarak bilinen kılavuz teli uzunluğunun korunması ([2]'deki en küçük uzunluk teriminden farklı) amacıyla tasarlanmış kuvvetlerdir. Yine [1, 2]'deki çalışmalardan farklı olarak, varyasyonel analiz prensiplerine dayalı bir türetme ile kobra eğrisinin hareketini sağlayacak türevsel denklemleri analitik olarak buluyoruz. Bu denklemler eğrinin enerjisini enküçültmeye yolaçar ve lokal olarak elde edilen imgedeki en iyi pozisyonunun bulunmasını sağlar.

Eğrinin yeterli örnekleme ile artık belirtilmiş doğrusal denklemler sistemi elde edilir ki bu sistem tersine çevrilerek eğrinin hareketi kontrol noktalarının hareketine bağlanır. Bu da açık bir eğrinin kontrol noktalarının uç noktalarda doğal olmayan sınır koşulları kullanılmadan basit bir mekanizma ile evrimselendirilmesini sağlar. Enerji fonksiyonlarından türettiğimiz türevsel denklemlerde eğrinin teğetsel hareketini sağlayan terimler ortaya çıkar ki bu kapalı eğrilerin evrimselendirilmesinde gözardı edilen terimlerdir. Kobra eğrisinin imgedeki kılavuz teline oturtulması için imgeye bağlı terim olarak faz eşlenmesi kullanılacaktır [7]. Faz eşlenmesi x-ray video imgelerinde düşük kontrastlı gözükken kılavuz telini başarıyla kestirmektedir.

## 2. Varyasyonel Formülasyon

Bu bölümde kobra eğrisinin hareket denklemlerini değişimler hesabına dayalı olarak türeteceğiz. Kılavuz teli imge düzleminde açık bir eğri olarak tanımlanır  $C = [x(s), y(s)]$ , burada  $s \in [0, L]$  ark boyu parametresidir,  $L$ 'de eğrinin boyudur. Eğrinin enerjisi  $E$  şöyle tanımlanır:

$$\begin{aligned} E(C) &= w_1 \cdot \text{imge terimi} + w_2 \cdot \text{pürüzsüzlük terimi} \\ &+ w_3 \cdot \text{boy kısıtlaması} \\ &= w_1 \int_C F ds + w_2 \int_C ds + w_3 (\int_C ds - L_o)^2. \end{aligned} \quad (1)$$

Burada  $w_1, w_2, w_3$  enerji terimlerinin birbirlerine göre farklı ağırlık almasını sağlayan sabitlerdir. İmge terimi eğrinin x-ray imgesinden çıkarılan öznelitelere uymasını sağlayacaktır, ve bu da öznelitik haritasından hesaplanan  $F(x, y)$  faktörü sayesinde gerçekleşir. Pürüzsüzlük terimi eğrinin düzgün olması kısıtını getirir, boy kısıtlaması terimi de eğrinin uzunluğunun önsel olarak bilinen  $L_o$ 'dan sapmalarını cezalandırır.

### 2.1. Düzenleştirici

Enerji denklemi (1)'deki ikinci terimi ele alalım. Bu terimin bağımsız bir zaman parametresi  $t$ 'ye göre kısmi türevi alınrsa ve bir tekrar parametrelendirme sonucu ( $p \in [0, 1]$ )  $p$ 'ye göre yazılırsa şu denklemler elde edilir:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} w_2 \int_C ds &= w_2 \frac{\partial}{\partial t} \int_0^1 \|C_p\| dp \\ &= w_2 \int_0^1 \frac{\partial}{\partial t} \langle C_p, C_p \rangle^{1/2} dp = w_2 \int_0^1 \frac{\langle C_{pt}, C_p \rangle}{\|C_p\|} dp \\ &= w_2 \int_0^1 \langle C_{pt}, T \rangle dp \\ &= w_2 \langle C_t, T \rangle \Big|_{p=0}^1 - w_2 \int_0^L \langle C_t, \kappa N \rangle ds. \end{aligned} \quad (2)$$

Burada  $\kappa$  eğrinin eğriliğini,  $T$  teğet vektörünü,  $N$  dik vektörünü,  $\langle, \rangle$ 'da iç çarpımı ifade eder. Bu durumda eğrinin uzunluğunu enküçülten denklemde

$$\frac{\partial C}{\partial t} = w_2 \kappa N + w_2 \delta(p) T - w_2 \delta(p-1) T, \quad (3)$$

$\delta$  delta fonksiyonudur. Bu denklemin belirttiği hareket eğrinin uzunluğunu enküçültmesi için her noktanın dik yönünde eğrilik

ile ağırlıklandırılmış olarak hareket etmesi ve eğrinin uç noktalarında teğet yönünde içeri doğru hareketiyle gerçekleşir. Burada belirtmek gerekir ki kapalı eğriler (konturlar) için bu teğetsel terimler iptal olmaktadır çünkü  $p = 0$  ve  $p = 1$  eğrinin aynı noktalarına denk gelir.

### 2.2. Kesel (Jeodezik) İmge Terimi

Enerji denklemi (1)'deki birinci terimi ele alırsak yine bu terimin bağımsız bir zaman parametresi  $t$ 'ye göre kısmi türevi alındığında

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} w_1 \int_C F ds &= w_1 \int_0^1 \frac{\partial}{\partial t} F \|C_p\| dp \\ &= w_1 \int_0^1 (F \frac{\partial}{\partial t} \langle C_p, C_p \rangle^{1/2} + \frac{\partial F}{\partial t} \|C_p\|) dp \\ &= w_1 \int_0^1 F \langle C_{pt}, T \rangle dp + w_1 \int_0^L \langle \nabla F, C_t \rangle ds \\ &= w_1 F \langle C_t, T \rangle \Big|_{p=0}^1 - w_1 \int_0^L F \langle C_t, \kappa N \rangle ds \\ &+ w_1 \int_0^L \langle \nabla F, C_t \rangle ds. \end{aligned} \quad (4)$$

Bu durumda enerjinin imgeye bağlı terimini enküçültmek için aşağıdaki denklem elde edilir:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = w_1 F \kappa N - w_1 \nabla F + w_1 \delta(p) F T - w_1 \delta(p-1) F T. \quad (5)$$

Yukarıdaki türetme [4]'dekine benzer olmakla burda açık bir eğri tanımlanmış olduğumuz için gereken teğetsel terimler bulunmamaktadır.

### 2.3. Uzunluk Koruyan Terim

Son olarak da enerji denklemi (1)'deki son terimi ele alırsak ve yine bu terimi bağımsız bir zaman parametresi  $t$ 'ye göre kısmi türevlendirerek şu denklem elde edilmektedir:

$$\frac{\partial}{\partial t} w_3 (\int_C ds - L_o)^2 = 2w_3 (\int_C ds - L_o) \frac{\partial}{\partial t} \int_C ds. \quad (6)$$

Yukarıdaki sonuçlara benzer olarak eğrinin bu terimle hareketi şu denklemle sağlanır:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = 2w_3 (\int_C ds - L_o) [\kappa N + \delta(p) T - \delta(p-1) T]. \quad (7)$$

### 2.4. Eğrinin Hareket Denklemi

(2) Yukarıdaki (5), (3), ve (7) denklemlerini birleştirerek eğrinin toplam hareket denklemini elde ederiz:

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} &= -w_1 \nabla F + \kappa (w_2 + w_1 F + 2w_3 (\int_C ds - L_o)) N \\ &+ [\delta(p) (w_2 + w_1 F + 2w_3 (\int_C ds - L_o)) \\ &+ \delta(p-1) (-w_2 - w_1 F - 2w_3 (\int_C ds - L_o))] T. \end{aligned} \quad (8)$$

## 2.5. Kobra Eğrisinin Tanımlanması

Denklem (8)'de eğrinin hareketi verilmiştir ve bu eğrinin tanımından bağımsızdır. Yani bu denklem herhangi bir şekilde tanımlanmış (çokçizgili, örtük eğri tanımı, Fourier betimleyicisi vb) açık eğriye uyarlanabilir. Biz burada eğriyi kontrol noktaları  $\mathbf{P} = [\mathbf{P}_1 \dots \mathbf{P}_N]^T$  olan bir kobra eğrisi olarak modelliyoruz. Amacımız bu kontrol noktalarının güncellenmesini sağlayan bir denklem oluşturarak eğrinin hareketiyle imge üzerinde kılavuz telini izleyebilmektir. Bunun için yapmamız gereken kontrol noktalarının türevsel hareketi ile eğrinin hareketini ilişkilendirmektir.

Eğrinin geometrisini bir örnek rasyonel B-kobra eğrisi [8] olarak modelliyoruz. Burada eğri  $N = M + 3$  tane kontrol noktasını aradeğerleyen  $M$  tane bölüt ile tanımlanır. Bu bildiriye  $M = 2$  ve  $N = 5$  olarak seçilmiştir. Bu parametreler bu uygulama için eğriye yeterli kıvrım bükülebilirliği vererek kılavuz telini izleme olanağı sağlar, ve sahte lokal enküçüklere takılmaması için uygun bir serbestlik derecesi verir. Eğride  $j$ . bölüt dört kontrol noktasının ağırlıklı birleşimidir:

$$\mathbf{C}_j(p) = \sum_j^{j+3} B_j(p) \mathbf{P}_j, \quad j = 1 \dots M \quad (9)$$

Burada  $p \in [0, 1]$  parametresi üçüncü dereceden karışım fonksiyonları olan  $B_j$ 'leri örneklemektedir. Spesifik olarak  $a(p) = -p^3 + 3p^2 - 3p + 1$ ,  $b(p) = 3p^3 - 6p^2 + 4$ ,  $c(p) = -3p^3 + 3p^2 + 3p + 1$ , ve  $d(p) = p^3$  karışım fonksiyonun elemanlarıdır.

Kontrol noktaları olan  $\mathbf{P}_j$ 'leri, bölüt  $\mathbf{C}_j$ 'lerin bir fonksiyonu olarak yazmak için denklem (9)'den yararlanıyoruz.  $\mathbf{C}_j$ 'ler  $\mathbf{P}_j$ 'ler cinsinden yazılacak ve artık belirtilmiş bir sistem elde etmek için her bölüt  $L = 4$  kere örneklenecektir. Bu da bize şu denklem sistemini verir:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{C}_1(p_1) \\ \mathbf{C}_1(p_2) \\ \mathbf{C}_1(p_3) \\ \mathbf{C}_1(p_4) \\ \mathbf{C}_2(p_1) \\ \mathbf{C}_2(p_2) \\ \mathbf{C}_2(p_3) \\ \mathbf{C}_2(p_4) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a(p_1) & b(p_1) & c(p_1) & d(p_1) & 0 \\ a(p_2) & b(p_2) & c(p_2) & d(p_2) & 0 \\ a(p_3) & b(p_3) & c(p_3) & d(p_3) & 0 \\ a(p_4) & b(p_4) & c(p_4) & d(p_4) & 0 \\ 0 & a(p_1) & b(p_1) & c(p_1) & d(p_1) \\ 0 & a(p_2) & b(p_2) & c(p_2) & d(p_2) \\ 0 & a(p_3) & b(p_3) & c(p_3) & d(p_3) \\ 0 & a(p_4) & b(p_4) & c(p_4) & d(p_4) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{P}_1 \\ \mathbf{P}_2 \\ \mathbf{P}_3 \\ \mathbf{P}_4 \\ \mathbf{P}_5 \end{bmatrix} \quad (10)$$

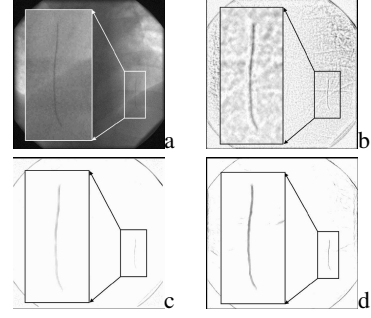
Yukarıdaki denklem sistemi  $\mathbf{C} = \mathbf{B} \mathbf{P}$  olarak düşünüldüğünde  $\mathbf{C}$   $ML \times 2$  boyutunda  $\mathbf{B}$   $ML \times N$  boyutunda, ve  $\mathbf{P}$  de  $N \times 2$  boyutunda birer matris olduğu görülür. Toplam örnek sayısı  $ML$ ,  $N$ 'den büyük olduğu sürece sistem artık belirtilmiştir ve  $\mathbf{P}$ 'nin  $\mathbf{C}$  cinsinden ifade edilmesi sözde tersi sayesinde gerçekleştirilir:

$$\mathbf{P} = (\mathbf{B}^T \mathbf{B})^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{C} \quad (11)$$

Sonuç olarak kobra eğrisinin kontrol noktalarının hareketi aşağıdaki gibi bulunur:

$$\frac{\partial \mathbf{P}}{\partial t} = (\mathbf{B}^T \mathbf{B})^{-1} \mathbf{B}^T \frac{\partial \mathbf{C}}{\partial t} \quad (12)$$

Yukarıdaki denklemdeki  $\frac{\partial \mathbf{C}}{\partial t}$  önceki bölümde denklem (8)'de verilmiştir. Denklem (12) kontrol noktaları  $\mathbf{P}$ 'lerin hareketini sağlayan türevsel denklem sistemidir ve bunun numerik olarak çözülmesiyle kobra eğrisi  $\mathbf{C}$ 'nin pozisyonu yenilenecek imgede kılavuz teline daha iyi oturması, düzlüğünü ve önsel olarak bilinen uzunluğunu koruması sağlanır.



Şekil 1: (a) Örnek imge üzerinde kılavuz telinin olduğu kısma zumlama (b) Öznitelik haritası [1]'den; (c) Öznitelik haritası [2]'den; (d) faz eşlenimine dayalı öznitelik haritası. Kılavuz telinin (d)'deki güçlü kontrastı not edilmelidir.

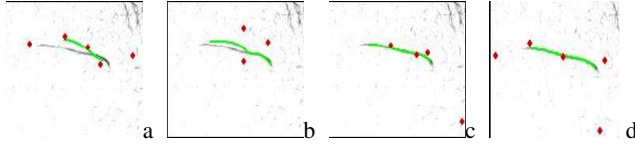
## 3. İmgede Faz Eşlenmesi Özniteliği

Enerji (1)'deki imge terimi  $F$  fonksiyonuna bağlıdır ve bu fonksiyon kılavuz teli izleme uygulaması için faz eşlenmesi özniteliği kullanılarak hesaplanacaktır. Referans [7]'de bahsedildiği gibi faz eşlenmesi öznitelik anlamlılığına dayalı boyutsuz bir büyüklüktür. Kontrasta gradyan ve hessian kısmı özelliklerinden daha az duyarlı olması bir avantajdır. İmgenin kenarlarında faz bilgisi lokal olarak eşlenimlidir ve bu bilgi bir kenar kestirim bilgisi olarak kullanılabilir. Faz eşlenmesi [7]'de çoklu ölçeklerde ve yönelimlerde Gabor fonksiyonları kullanan bir dalgacık tekniğiyle hesaplanmıştır. Biz bu teknikle buluşsal olarak 3 ölçek, 6 yönelim, Gabor fonksiyonundaki Gaussian için  $\sigma = 0.7$ , ve gürültü eşliğinin standart sapması  $k = 7.5$  parametrelerini kullandık (ayrıntılar için lütfen [7]'ye bakınız).

Figür 1'de faz eşlenimi özniteliğinin kenar bulma özelliği [1] (meksika şapka operatörü) ve [2] (uyum iyileştiren yayılma) (10) bağlı çalışmalarında kullanılan kenar bulma operatörleriyle karşılaştırması gösterilmektedir. Görüldüğü gibi faz eşlenimi haritası  $E$  keskin bir kenar yanıtı vermekte ve parazit gürültüden daha az etkilenmektedir. Sonuç olarak bu çalışmada denklem (8)'deki imgeye bağlı  $F$  fonksiyonu faz eşlenimi haritası  $E$  cinsinden  $F = \frac{1}{1+E^2}$  olarak hesaplanır.  $F$ 'in gradyanı  $\nabla F$ 'de yumuşatılmış bir türev operatörü şeklinde hesaplanır ve [9]'daki GVF yayılımı ile gradyan alanının yakalama uzaklığı artırılmış olur.

## 4. Sonuçlar

Video dizisinin ilk imgesinde beş kontrol noktası tıklanarak bir eğri ilklenir. Bu ilkleme ile eğrinin uzunluğu  $L_o$  tanımlanmış olur. Daha sonra  $w_1 = 1, w_2 = 1, w_3 = 0.1$  parametreleri kullanılarak denklem (12) 300 kere yinelenerek eğrinin pozisyonu güncellenir (bizim gerçekleştirmemizde bu 175 milisaniye sürmektedir). Örnek bir eğri evrimi Figür 2'de gösterilmektedir. Kobra eğrisi faz eşlenimi ile algılanan imge üzerindeki kılavuz telini yakalamak için pozisyonunu günceller ve aynı zamanda uzunluğunu da önsel olarak bilinen uzunluğa göre ayarlar. Bir imge üzerinde eğrinin hareketi yakınsandığı zaman, eğrinin pozisyonu bir sonraki imge çerçevesine taşınır. [2]'deki gibi karşılıklı ilinti kullanarak eğrinin yeni imgedeki ilk pozisyonunu



Şekil 2: Kobra eğrisi hareketi: Verilen ilk eğri ile (a) kontrol noktalarının hareket ettirilmesi sırasında bir ara sonuç eğrisi(b) ve hareketin sonunda elde edilen eğri (c). Bu eğri kullanılarak kontrol noktaları periyodik olarak tekrar hesaplanabilir (d). Eğrinin evrimlendirilmesi sırasında faz eşlenimi haritasının ilgili bölgesi üzerinde gösterilmiştir. İlgili bölgede dışındaki kontrol noktaları gösterilmemiştir (b) ve (c)de.

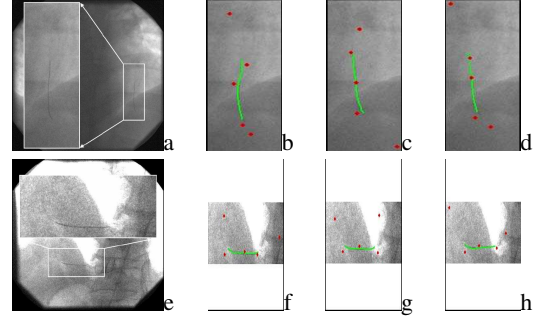
onu düzeltilir. Bu düzeltmeye x-ray video'sunda çerçeve hızının düşük olduğu durumlarda eğrinin çok uzak olmayan bir pozisyondan başlatılabilmesi için yer verilmiştir. Bu süreç bütün video'nun işlenmesi sırasında tekrarlanır.

**Geçerlilik sınımları:** Üç değişik x-ray floroskopi video'sundan 158 imge çerçevesi kullanarak geliştirilen teknik test edilmiştir. Figür 3'de izleme algoritmamızın bazı sonuçları iki video'dan üç ardışık imge çerçevesi için gösterilmiştir. İzleme metodu kobra eğrisinin pozisyonunu kılavuz telinin üzerine her imgede başarıyla oturtmaktadır. Eğri pürüzsüzlüğünü korurken imgeyi takip eder ve de uzunluk kısıtlama kuvveti ile de eğrinin boyunun bilinen ilk boyundan (bu örneklerde sırasıyla 100, 105, 95 piksel) kısılması engellenir .

Bu bildiride sunulan izleme algoritması ilklemesinin sonunda otomatiktir. Yine de izleme yeteneğinin imgede parazit ve hareket bulanıklığı sebebiyle kaybolduğu durumları gözlemlemiş bulunuyoruz. Hareket bulanıklığı durumlarında, kılavuz teli ayırt edici görünürlüğü zayıflar ve faz eşlenmesi haritası bile yeterli bilgiyi sağlayamaz. Parazit durumlarında, kılavuz telinin yakınlarında anatomik yapılara veya ameliyat enstrümanlarına ait imge kenarları bulunur ve bunlar kılavuz teli görünümünü alır. Bu durumlarda izleyici eğri yanlış kenarları takibe başlar. 158 test imgesinden 10 tanesinde bu durum gözlenmiştir, yani bu testlerdeki doğruluk oranı %93'tür. Bu sonuçlar [2]'dekilere yakındır, ama ayrıntılı bir karşılaştırma yapabilmek için her iki algoritmanın aynı imge seti üzerinde çalıştırılması gerekmektedir ki biz bunu ilerideki çalışmalarımıza bıraktık (elimizde aynı imge setleri bulunmamaktadır). İzlemenin başarısız olduğu durumlarda kullanıcı eğriyi fare tıklaması ile eldeki imge çerçevesi üzerinde yeniden ilkeleyebilir.

## 5. Tartışma

Bu bildiride kardiyak x-ray videoları üzerinde kılavuz teli izleme için varyasyonel bir yaklaşım sunulmuştur. Kobra eğrisinin imge üzerinde kılavuz teline oturması, pürüzsüz kalması ve uzunluğunu koruması için kontrol noktalarını hareket ettiren analitik denklemler türetilmiştir. Geliştirilen metotun etkinliği farklı endovasküler x-ray videoları üzerinde kılavuz teli izlenmesi ile gösterilmiştir. Devam edecek çalışmalarda ilave deneyler ve karşılaştırmalar yapılması, ve algoritmanın gürültüye karşı dayanıklılığının artırılması



Şekil 3: Geliştirilen izleme algoritmasının bazı sonuçları iki video'da gösterilmiştir (alt ve üst sıralar). Solda orijinal imge ve üzerindeki kılavuz telinin bulunduğu ilgili bölge zımlanmış, sağda da izleme sonuçları kobra eğrisinin üç ardışık imge çerçevesi üzerindeki pozisyonu ile gösterilmiştir.

için incelemeler öngörülmekle birlikte bu bildiride sunulan deneyler ve sonuçlar ile geliştirilen metotun kılavuz teli izlemede yararlı ve başarılı olma potansiyeli gösterilmiştir. Bu çalışmada sunulan metotun teorik olarak genel olması ile birçok değişik kobra eğrisi optimizasyonu ve uygulamalarına uyarlanabileceğini düşünüyoruz.

## 6. Kaynakça

- [1] Palti-Wasserman D. and Brukstein A., Beyar R., "Identifying and Tracking a Guidewire in the Coronary Arteries During Angioplasty from X-Ray Images", IEEE Trans. Biomedical Engineering, 44(2):152-164, 1997.
- [2] Baert S., Viergever M., Niessen W., "Guide-Wire Tracking During Endovascular Interventions", IEEE Trans. Medical Imaging, 22(8):965-972, 2003.
- [3] Kass M., Witkin A., Terzopoulos D., "Snakes: Active Contour Models", Int. Journal of Computer Vision, 1(4):321-331, 1987.
- [4] Caselles V., Kimmel R., Sapiro G., "Geodesic Active Contours", Int. Journal of Computer Vision, 22(1):61-79,1997.
- [5] Cremers D., Tischauser F., Weickert J., Schnorr C., "Diffusion Snakes: Introducing Statistical Shape Knowledge into the Mumford-Shah functional", Int. Journal of Computer Vision, 50(3):295-313, 2002.
- [6] Brigger P., Hoeg J., Unser M., "B-spline Snakes: A flexible tool for Parametric contour detection", IEEE Trans. Image Processing, 9(9):1484-1496, 2000.
- [7] Kovese P., "Image Features from Phase Congruency", Videre A Journal of Computer Vision Research, 1(3), 1999.
- [8] Foley J., van Dam A., Feiner S., Hughes J., "Computer Graphics: Principles and Practice", 2nd Edn. Addison-Wesley Reading 1996.
- [9] Xu C., Prince J.L., "Snakes, shapes, and gradient vector flow", IEEE Trans. Image Processing, 7(3):359-369, 1998.