

# Hacimsel Radyoloji Görüntülerinden Rastgele Kesit Almak İçin Stereo İzleme Sistemi

## A Stereo Tracking System For Arbitrary Slicing Of Volumetric Radiological Data

Enver Yağcı, Burak Acar

Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü, BUSİM / VAVlab  
Boğaziçi Üniversitesi, 34342, Bebek, İstanbul  
<http://www.vavlab.ee.boun.edu.tr>  
[enveryagci@yahoo.com](mailto:enveryagci@yahoo.com), [acarbu@boun.edu.tr](mailto:acarbu@boun.edu.tr)

### Özetçe

Bu bildiri hacimsel görüntülerden kesit almak için yeni bir arayüz çalışmasına yer verilmiştir. Rastgele kesit almak için uygun araçlardan biri olarak düzlemin normalini gösterecek bir kalem düşünülmüştür. Bu amaçla stereo kamera kullanılarak kalemin oryantasyon bilgisi, bilgisayar görme teknikleri ve stereo izleme algoritmaları yardımıyla hesaplanmıştır. Stereo izleme esnasında zaman boyutunda yumuşak ve kararlı bir hareket elde etmek için farklı kaynaklardan gelen gürültünün ve sistem kullanıcısının hareketlerinin filtrelenmesi gerekmektedir. Gürültüden ve kullanıcının elinin titremesinden kaynaklanan hataları düzeltmek için kent dağılımına dayalı bir Bayes yaklaşımı ve kalman filtre uygulanmış ve performansları karşılaştırılmıştır.

### Abstract

In this paper, we represent a new user interface for slicing from volumetric images. One of the most convenient ways of arbitrary slicing will be using a stylus which indicates orientation of slicing plane. For this reason, orientation information of the stylus is extracted with the aid of computer vision techniques and stereo tracking algorithms. During the stereo tracking process, noise from different sources and motion of the system user are need to be filtered so as to get smooth and stable motion throughout time sequence. To filter out all noises from system and tremble of hand of user, kent distribution based Bayesian filter and kalman filter are applied and comparison of performance of two filters is given.

### 1. Giriş

Tıbbi görüntüleme teknolojilerindeki hızlı gelişmeye paralel olarak bu verilerin görselleştirmesi ve analizi için giderek 3 boyutlu (3B) bilgisayar grafiklerinden yararlanmak kaçınılmaz olmuştur. Ancak 3B tıbbi veri görselleştirmesi için henüz standartlaşmış bir kullanıcı arayüzü bulunmamaktadır. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan arayüz elemanları olan klavye ve fare ise 2 boyutlu (2B) elemanlar olduklarından yeterli değildir.

Klavye/Fare ikilisine alternatif olacak ergonomik kullanıcı arayüzleri konusunda çalışmalar halen devam etmektedir. Önerilen yaklaşımlar arasında göz ve baş hareketlerini izlemeye dayalı sistemler [1] ile daha esnek olan el hareketlerini izlemeye dayalı sistemler [2-4] geniş yer

tutmaktadır. *Uçan Fare* olarak adlandırılan sistemde ele kablolar vasıtasıyla bilgisayara bağlanan özel bir eldiven giyilmektedir [2]. Bu yaklaşım, kullanıcının özel bir donanım kullanmasını gerektirmesine karşın kullanışlılık açısından oldukça uygun bulunmuştur. Bir başka ele dayanan uygulama ise *CyberGlove II* [3] dur. Ticari bir sistem olan *Cyber Glove* ile sanal bir direksiyonun kontrol edilmesi amaçlanmıştır. El hareketlerini izlemeye dayalı bir diğer yaklaşım da ise amaç kullanıcının özel donanım kullanmasını gerektirmeyecek bir sistem tasarlamak olmuştur [4]. Bu sistemde (doğruluk) doğruluktan (accuracy) fedakârlık yapılarak özel donanımlı bir eldiven yerine sabit renkli sıradan bir eldiven kullanılmış, stereo kamera kullanılarak el 3B’te izlenmiş ve HMM kullanılarak el hareketleri tanımlanmıştır. Bu sistemin ana amacı 3B el hareketlerinin tanınması olduğu için 3B izlemede doğruluk düşüklüğü sorun yaratmamaktadır.

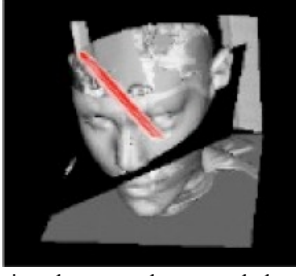
Bu çalışmalar, hedefimiz olan, 3B tıbbi görüntülerden rastgele düzlemsel kesit almak için ergonomik arayüz geliştirilmesi amacına doğrudan uygulanabilir değildir. Bunun başlıca nedeni de bu yöntemlerin düşük çözünürlük seviyeleridir. Aynı amaca yönelik yüksek çözünürlüklü bir sistemde ise oynak bir ekleme bağlı bir metre çapında daireden [5] ve özel geliştirilmiş 3B küre şeklinde bir monitörden yararlanılmaktadır.

Bu konuda yapılmış çalışmaların sayısı gün geçtikçe artmakta ve yeni çözümler yolları aranmaktadır. Çalışmamızın odak noktası, özel donanıma ihtiyaç duymayan, yeterli çözünürlükte, ergonomik bir 3B kesit alıcı arayüzü tasarlamaktır.

Bu makalede sırayla; önce tasarladığımız sistemi tanıtacağız ardından ortaya çıkan gürültü problemlerini bastırmak için tasarladığımız algoritmaları sırasıyla anlatacağız. Daha sonra da elde ettiğimiz sonuçlara yer vereceğiz.

### 2. Metod

Genel olarak ekranda görselleştirilmiş olan 3B veriden kesit almak için geliştirdiğimiz sistemimiz bir stereo kamera ve parlak renkli bir *kalem*den oluşmaktadır. Kullanıcı *kalemi* kesit aldığı düzlemin normal vektörü olarak kullanılmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Hacimsel görüntüden rastgele kesit almak için kullanılan sanal *kalem*in kesite göre pozisyonu

Önişleme aşamasında, koyu renk bir arkaplan önünde izlenen *kalem*, her iki kamerada da basit eşikleme ile bölütlenmekte, bulunan bölgeye LS yöntemi ile bir doğru oturtulmakta ve bu doğrunun bölütlenen bölgenin sınırları ile kesiştiği noktalar *kalem*in uç noktaları olarak belirlenmektedir. Projeksiyon parametreleri bilinen ve sabitlenmiş kameralar kullanıldığı için epipolar geometrinin kullanılarak, bulunan uç noktaların 3B koordinatları kolaylıkla hesaplanmaktadır. 3B'ta koordinatları bilinen bu iki noktadan geçen doğru hacimsel veriden kesit alınan düzlemi tanımlar.

Yukarıdaki anlatılan sistem, kameranın çözünürlüğünden kaynaklanan hatalar ve her sistemin içerdiği bilinen gürültü kaynaklarına ek olarak insan elinin titremesinden dolayı kararlı (stable) bir izleme sağlayamamaktadır. Bu durum da sistemin bu haliyle yüksek çözünürlük ve kararlılık gerektiren tıbbi uygulamalarda kullanılmasını engellemektedir. Bu nedenle, önişleme aşamasında hesaplanan doğrunun parametreleri, ikinci aşamada Bayes yaklaşımlarla filtrelenmektedir. Bu amaçla iki yaklaşım hayata geçirilmiş ve denenmiştir: Kalman filtreleme ve birim küre üzerindeki dağılımı kent Dağılımı ile modellemeye yönelik yaklaşım.

### 2.1. Kalman Filtreleme

Önişleme aşamasında hesaplanan birim vektör (oryantasyon bilgisi) standart kalman yaklaşımı ile filtrelenmiştir. Bu aşamada değişik varsayımlara dayalı iki farklı sistem dinamiği ve gözlem modeli kullanılmıştır: *Kalem*in hareketsiz olduğu ve sabit hızda hareket ettiği varsayımlarına dayalı modeller. Genel kalman filtresi sistem dinamiği ve gözlem denklemlerini şu şekilde ifade edebiliriz [6]:

$$x_i = H x_{i-1} \quad (1)$$

$$O_i = M x_i \quad (2)$$

Burada  $x$  bizim durum vektörünü,  $H$  sistemin dinamiğini,  $M$  ise gözlemler ile durum arasındaki ilişkiyi ifade eder. Yukarıda bahsedilen her iki modelde de  $M$  birim matristir.

Rastgele yürüyüş modeli kullandığımız ve *kalem*in hareketsiz olduğu varsayımına dayalı modelde  $H$  birim matris, gürültü modeli ise Gauss'tur (Ortalama=0.0, Standart sapma=0.01). Durum vektörü olarak 3B'de ölçtüğümüz birim vektör kullanılmıştır.

### 2.2. Kent Dağılımına Dayalı Bayes Yaklaşım

Yukarıda bahsedilen kalman yaklaşımındaki durum vektörü, (serbestlik derecesi iki olan) oryantasyon bilgisini artık (redundant) bir şekilde tutan üç boyutlu bir birim vektördür. Bu bilgiyi ifade etmek için polar koordinatlarda iki açı ( $\phi, \theta$ ) yeterlidir. Dolayısıyla sistemin kararlılığı için  $\phi$  (yükselti açısı) ve  $\theta$  (azimut)'nın filtrelenmesi yeterli olacaktır. Bayes yaklaşımı kullanabilmek için  $\phi$  ve  $\theta$ 'nin birim kürenin yüzeyindeki dağılımını modellemek gerekir. Bu amaçla kent Dağılımı kullanılmıştır [8].

Genel ifadeyle, kent dağılımı birim küre üzerine uyarlanmış Gauss dağılımına benzer. Bu dağılım aşağıdaki ODF (Olasılık Dağılım Fonksiyonu) ile ifade edilir:

$$f(x) = c(\kappa, \beta)^{-1} \exp\left(\kappa \gamma_1^T x + \beta \left[ (\gamma_2^T x)^2 + (\gamma_3^T x)^2 \right]\right) \quad (3)$$

$$c(\kappa, \beta) = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \exp\left(\kappa \cos\theta + \beta \sin^2\theta \cos 2\phi\right) \sin\theta d\phi d\theta \quad (4)$$

$\kappa$  dağılımın ne kadar yoğun olduğunu,  $\beta$  dağılımın ne kadar anizotropik olduğunu belirlerler.  $\gamma_1$  vektörü dağılımın birim küre üzerindeki ortalamasını (*mean*) ifade eder.  $\gamma_2$  ve  $\gamma_3$  ise birim küreye  $\gamma_1$  noktasındaki teğet düzlemi ve bu düzlem üzerinde ana dağılım eksenlerini belirtirler.

$\phi$  ve  $\theta$  ile parametrize edilmiş birim kürenin üzerinde,  $t$  anındaki oryantasyonu  $x_t$  ile ifade edersek, burada bahsedilen Bayes yaklaşım  $P(x_{t+1}|x_t, x_{t-1})$  olasılığının kent Dağılımı ile modellenmesine dayalıdır. Söz konusu dağılımın  $\gamma$  parametreleri buluşsal (heuristic) yöntemlerle  $\kappa$  ve  $\beta$  parametreleri ise parçacık filtreleri ile hesaplanmaktadır.  $\gamma$  parametreleri için kullanılan buluşsal kurallar şöyledir:

$$\gamma_1 = x_t, \gamma_2 = P_{\gamma_1}^\perp(x_t - x_{t-1}), \gamma_3 = \gamma_1 \times \gamma_2 \quad (5)$$

Burada  $P_{\gamma_1}^\perp$  operatörü  $\gamma_1$  vektörüne dik teğet düzleme projeksiyonu ifade etmektedir.  $\gamma$  parametreleri bu şekilde belirlendikten sonra önişleme sonucunda elde edilen  $\hat{x}$  oryantasyon vektörünün filtrelenmesinde (Bayes yaklaşımı ile belirlenen  $P(x_{t+1}|x_t, x_{t-1})$  olasılık dağılımına göre düzeltilmesinde) kullanılacak olan kent dağılımının ifade edilmesi için  $\kappa$  ve  $\beta$  parametrelerinin belirlenmesi gerekir. Bu parametreler hakkında herhangi bir önsel bilgiye sahip olmadığımız için bu amaçla Parçacık filtreleri kullanılmıştır [8].

Başlangıçta 0-5 arasında uniform kabul edilen  $\kappa$  ve  $\beta$  dağılımları, 100 parçacıktan oluşan parçacık filtreleri ile hesaplanmış ve bu dağılımlara dayanarak  $\kappa$  ve  $\beta$  belirlenmiştir.  $\kappa$  ve  $\beta$ 'yi  $q$  vektörü ile ifade edersek, hesaplamaya çalıştığımız dağılım

$$P(q_t | \hat{\theta}_t, \hat{\phi}_t, \theta_{t-1}, \phi_{t-1}) = P(q_t | z_t) \quad (6)$$

olmaktadır. Burada  $\hat{\theta}_t, \hat{\phi}_t$   $t$  anındaki önişleme çıktıları,  $\theta_{t-1}, \phi_{t-1}$  ise  $t-1$  anındaki filtrelenmiş (işlenmiş) çıktıları ifade

eder.  $P(q_t|z_t)$  dağılımını hesaplamak için Bayes kuramına göre

$$P(q_t|z_t) = k_t P(z_t | q_t) P(q_t) \quad (7)$$

şeklinde açabiliriz. Burada  $k_t$  normalizasyon katsayısıdır. Diğer yandan bağımsız ölçümlerden oluşan bir markov zinciri için  $P(q_t) \equiv P(q_t | z_t, z_{t-1}, \dots, z_0)$ .

$P(z_t|q_t)$  olabilirlik (likelihood) değerini hesaplamak için, kent dağılımı kullanıldı. Böylece  $t$  anındaki ölçümler kullanılarak  $P(q_t|z_t)$  hesaplandı. Ardından nokta kestirimi için OKH (Ortalama Karesel Hata, Mean Square Error) kullanarak  $P(q_t|z_t)$  dağılımının beklenen değeri hesaplandı. Bu şekilde hesaplanan  $\kappa$  ve  $\beta$  değerleri  $P(x_{t+1}|x_t, x_{t-1})$  olasılığının kent dağılımı ile hesaplanmasında kullanıldı. Parçacık filtreleri kullanılarak hesaplanan  $\kappa$  değerlerin empirik olarak belirlenmiş olan 0-5 aralığında olması zorlanmasının yanısıra  $\kappa > \beta/2$  sınırlamasına da dikkat edilmiştir.

Bayes filtreleme, buluşsal ve particle filtreden gelen parametre değerleri kullanılarak  $P(x_{t+1}|x_t, x_{t-1})$  olasılığı hesaplandıktan sonra, önişleme sonucunda bulunan oryantasyon bilgisinin ( $\hat{x}_{t+1}$ ) olasılığının önceden belirlenmiş bir eşik değeri ile karşılaştırılmasına, bu değer altındaysa,  $\hat{x}_{t+1}$ 'nin eşik değerine gelecek şekilde düzeltilmesine dayalıdır. Bu işlem şu şekilde ifade edilebilir:

$$P(\hat{x}_{t+1}|x_t, x_{t-1}) \geq 0.98 \times P(x_t|x_t, x_{t-1}) \Rightarrow x_{t+1} = \hat{x}_{t+1}$$

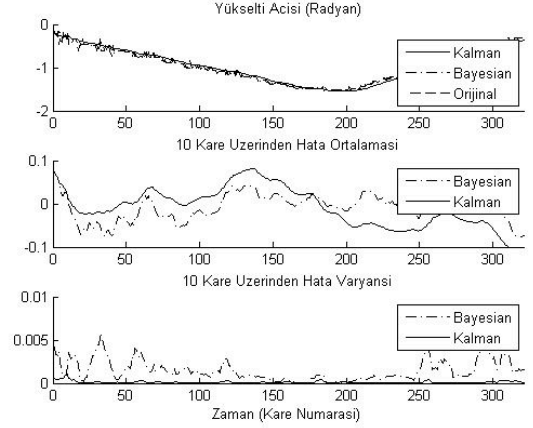
$$\text{aksi halde} \Rightarrow x_{t+1} = \hat{x}_{t+1} + a \times (x_t - \hat{x}_{t+1}) \text{ öyle ki}$$

$$P(x_{t+1}|x_t, x_{t-1}) = 0.98 \times P(x_t|x_t, x_{t-1})$$

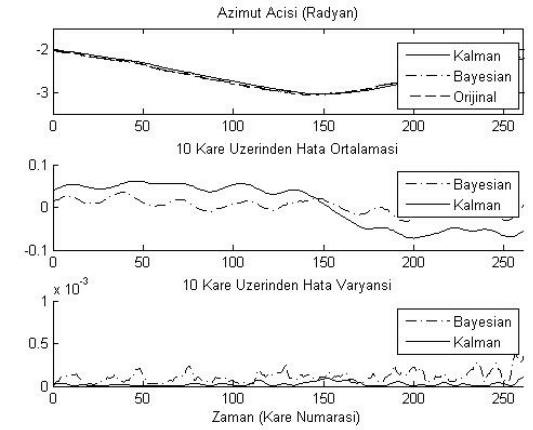
$a$  skalar bir parametre olup sözkonusu olasılığı eşik değerine çekecek şekilde seçilmektedir.

### 3. Deneyler

Deneyi düzeneği 640x480 çözünürlükte Bumblebee marka stereo kamera [9], ışıklı bir çubuktan oluşan *kalem* ve siyah bir arkaplandan oluşmaktadır. Çekimler sırasında 25 kare/saniye hız kullanılmıştır. Kaydedilen video görüntüleri çevrimdışı işlenmiştir. Deneyler sırasında  $\phi$  ve  $\theta$  açılarından biri değişip diğeri sabit olacak şekilde *kalem* kamera düzlemine dik veya paralel bir şekilde kullanıcı tarafından hareket ettirilmiştir. Performans değerlendirmesi bu iki açının zaman serilerine dayandırılmıştır.



Şekil 2. Kamera düzlemine dik hareket sırasında yükselti açısının ( $\phi$ ) zaman serisi, veriye oturtulmuş spline serisine göre ortalama hata ve hata varyansı



Şekil 3. Kamera düzlemine paralel hareket sırasında yükselti açısının ( $\theta$ ) zaman serisi, veriye oturtulmuş spline serisine göre ortalama hata ve hata varyansı

Şekil 2 ve Şekil 3'de kamera düzlemine dik ve paralel hareket sırasında değişen yükselti ( $\phi$ ) ve azimut ( $\theta$ ) açılarının zaman serileri, bu zaman serilerine oturtulmuş spline fonksiyonlarına göre ortalama (10 karelik kayan pencere üzerinden) hata ve hata varyansları verilmiştir. Birinci deneyde sabit kalması beklenen  $\theta$  açısı  $-0.076 \pm 0.122$  radyan, ikinci deneyde sabit kalması beklenen  $\phi$  açısı  $-1.404 \pm 0.046$  radyan olarak ölçülmüştür.

### 4. Tartışma

Bu sonuçlara baktığımızda hem Bayes hem de kalman filtresinin gayet iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Ancak, iki yöntem arasındaki temel farklılık ortalama hata ve hata varyansı grafiklerinde ortaya çıkmaktadır. Her iki deney için de, kalman filtresi Bayes yaklaşımına oranlar daha yüksek ortalama hata ancak daha düşük hata varyansı vermektedir. Yüksek ortalama düşük varyanslı hata aksine oranla daha yumuşak ve kararlı bir takip performansına işaret etmektedir. Söz konusu sistemin hacimsel tıbbi verilerden rastgele düzlemsel kesit alınması amacıyla kullanılacağı gözönüne

alındığında her iki kriterinde kullanılabilirlik açısında çok önemli olduğu görülür. Her iki yöntemde de gözlenen 0.05 radyan (~3°) mertebesindeki ortalama hataların kullanım açısından ciddi bir engel oluşturmayacağı düşünülürse, sistemin kullanılabilirliği açısından hata varyansının daha önemli bir kriter olduğu sonucuna varılabilir. Bu noktada kalman filtresine dayalı yaklaşım öne çıkmaktadır.

Şekil 2 ve Şekil 3’de açıkça gözlenmemesine karşın, kalman filtreleme yaklaşımının Bayes yaklaşıma göre bir eksikliği oryantasyon takibinde 5 kare mertebesindeki gecikmedir (lag). Bu 25 kare/saniye olan video hızında 0.2 saniyeye karşılık gelmektedir ve kullanım açısından sınırlayıcı değildir. Bayes yaklaşımli filtremizde ise herhangi bir gecikme gözlemlenmemektedir.

Şekil 2 ve Şekil 3’de gözlenen önemli bir fark ise hata varyanslarının farklı olmasıdır. Şekil 2’deki hareket kameraya dik olduğundan, hareket boyunca çubuğumuzun izdüşümünde ciddi değişiklikler olmakta, hatta kameraya dik baktığı durumda iz düşümü yuvarlak bir hal almaktadır. Bu izdüşüm değişiklikleri iki kamerada nokta eşleştirmesi sırasında hatanın büyümesine neden olmaktadır. Öte yandan Şekil 3’de hareket kameraya paralel olduğundan iz düşümü şekli hemen hemen hiç değişmemekte sadece ilgin dönüşümde (affine transformation) dönmeye karşılık gelecek bir değişim gözlemlenmektedir. Bu sonuc olarak hesaplamalarda yapılan hatanın küçülmesine yardımcı olmaktadır.

Bütün bu karşılaştırmalar göz önüne alındığında gürlütüğü bastırma konusunda Bayes yaklaşımı daha başarılı gözükmektedir. Ne var ki asıl amacımız başarılı bir filtreleme yapmanın yanında başarılı bir kullanıcı arayüzüne ulaşmaktır. Varyansı daha düşük olan kalman filtresi yumuşak/kararlı hareket sağladığı için kullanıcı açısından tercih sebebi olacaktır.

Bu noktadan sonra bu iki yaklaşımın birleştirilmesiyle daha başarılı bir sistem elde edileceğini düşünülmektedir. Olası bir sistem, Bayes yaklaşımı ile elde edilen sonuçların kalman filtresi ile işlenmesine dayalı bir sistemdir. Bayes yaklaşımda, parçacık filtreleri ile hesaplanan sonsal oryantasyon dağılımlarının filtrelenmemiş gözlemlerin elde edildiği önışleme aşamasında kullanılması da bir başka seçenek olarak değerlendirilmektedir.

Bir üçüncü seçenek, kalman filtresinde oryantasyonun değişmeyeceği varsayımına dayalı bir durum vektörü yerine, sabit hız varsayımına dayalı bir sistem dinamiği kullanarak filtreleme yapmaktır. Bu amaçla oryantasyon bilgisini artık (redundant) olarak tutan 3 vektör bileşenine ek olarak 3 tane de hız değişkeni eklenebilir. Böylece 6 boyutlu bir durum vektörü (x) kullanılır. Bu modelde sistem dinamiği

$$H = \begin{bmatrix} I_{3 \times 3} & I_{3 \times 3} \\ 0 & I_{3 \times 3} \end{bmatrix}$$

matrisi ile ifade edilecektir. Bu sistemin ani hareketleri takip etmede daha başarılı olacağı düşünülmektedir.

## 5. Teşekkür

Bu çalışma kısmen TÜBİTAK KARIYER-DRESS (104E035) projesi kapsamında desteklenmiştir.

## 6. Kaynakça

- [1] Ji Q, Zhu Z, “Eye and Gaze Tracking for Interactive Graphic Display” *Int. Symp. on Smart Graphics, Hawthorne, NY, USA. , June 2002*
- [2] Hachet, M., Guitton, P., Reuter, P., The CAT for efficient 2D and 3D interaction as an alternative to mouse adaptations, *ACM Trans. On Graphics, 23 (3): 731-731, AUG 2004 2003*
- [3] [http://www.immersion.com/3d/products/cyber\\_glove.php](http://www.immersion.com/3d/products/cyber_glove.php)
- [4] Keskin, C., Aran, O., Akarun, L., "Real Time Gestural Interface For Generic Applications", *EUSIPCO'05, Antalya, September 2005*
- [5] Grossman, T., Wigdor, D., and Balakrishnan, R. 2004. “Multi-finger gestural interaction with 3d volumetric displays”, *17th Annual ACM Symposium on User interface Software and Technology, October 24 - 27, 2004*
- [6] Forsyth, A. O. and Ponce J., “Computer Vision A Modern Approach”, *Prentice Hall ,380-388, 2003*
- [7] Kent J.T., ”The Fisher-Bingham Distribution on the Sphere”, *Journal of Royal Stat. Soc., 44:71-80, 1982*
- [8] Doucet, A., Andriue, C., Godsill, S., “On Sequential Monte Carlo Sampling Methods for Bayesian Filtering”, *Statistics and Computing, Vol. 10, no. 3, p197-208, 2000*
- [9] <http://www.ptgrey.com/products/bumblebee2/index.asp>