

# Radarla Hedef İzleme

Çağla Taşdemir, Sedef Kent  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
Elektronik Haberleşme Mühendisliği Bölümü  
Maslak, İstanbul  
[tasdemirca@itu.edu.tr](mailto:tasdemirca@itu.edu.tr), [kent@ehb.itu.edu.tr](mailto:kent@ehb.itu.edu.tr),

**Özet:** Bu çalışmada Kalman ve Genişletilmiş Kalman filtreleri kullanılarak hedef izleme gerçekleştirilmiştir. Bir sonraki kestirim için yeni elde edilen radar bilgisi ve önceki durum bilgisi kullanılarak gerçek zamanlı uygulamaları mümkün kılabilen Kalman filtresi ve doğrusal olmayan uygulamalar için de Genişletilmiş Kalman filtresi incelenmiştir.

## 1. Giriş

Radarla hedef izleme günümüzde askeri ve sivil uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Hedef izlemede karşılaşılan problemlerden bazıları hedefin bir ya da birden fazla olması ve sürekli manevralar yapması sonucu hareket modelinin değişmesi, hedef hareket modelinin doğrusal olarak elde edilmemesi ve bütün bunların sonucunda hedef izlemede izlenecek yöntem ve dolayısıyla kullanılacak algoritmanın karmaşık hale gelmesi olarak gösterilebilir, ancak artan işlemci hızı sayesinde bu problem ortadan kalkmış, incelenen Kalman filtresi ile daha önceki ölçüm değerlerini kullanan yöntemler yerine sadece son kestirime ait değerlerin kullanılması ile işlem yükü azalmıştır.

## 2. Standart Kalman Filtresi

Standart Kalman filtresinde Markov zinciri temel alınmakta, bir sonraki durum kestirimi için önceki durum kestirimi ve yeni ölçüm değeri kullanılmaktadır. Kestirim işleminde kullanılan durum vektörü; konum, hız, ivme gibi parametreleri içerirken hesaba katılan gürültü; işlem ve ölçüm gürültüsü olarak sıfır ortalamalı beyaz Gauss gürültüsü şeklinde modellenir. Durum vektörünü  $X_k$  ile ifade edersek  $X_k = [x_k \ y_k]^T$  denkleminde  $x_k$  ve  $y_k$ ,  $x$  ve  $y$  doğrultularındaki konumu göstermektedir.  $w_k$ ,  $Q_k$  kovaryanslı sıfır ortalamalı normal dağılıma sahip işlem gürültüsü  $w_k \sim N(0, Q_k)$ ,  $v_k$  ise  $R_k$  kovaryanslı sıfır ortalamalı normal dağılıma sahip ölçüm gürültüsü olarak  $v_k \sim N(0, R_k)$  şeklinde modellenebilir. Herhangi bir  $k$  anındaki gerçek ölçüm değeri ise  $z_k = H_k x_k + v_k$  şeklinde hesaplanabilir. Burada  $H_k$  gözlem modelini belirtmektedir.

Kalman filtresi özyineli bir algoritmaya sahiptir. Bir sonraki kestirim için hareket bağıntılarından elde edilen geçiş matrisinden ve önceki kestirimden yararlanır. Daha sonra ise radardan elde edilen, ölçüm gürültülü bilgi yardımıyla doğrulama işlemi gerçekleştirilerek ikinci bir kestirim yapılır. İşlemlerde kestirim hatasının kovaryansının da etkisi vardır. Kestirim hatasının kovaryansı ve tahmini ölçüm ile gerçek ölçüm arası farkın kovaryansı Kalman kazancını belirler. Kalman kazancı yeni tahminde radardan elde edilen ölçümlerin ne derece etkili olacağını belirleyen katsayıdır. Standart Kalman filtre denklemleri aşağıdaki gibi gösterilebilir: [1][2]

$$\hat{x}_{k|k-1} = F_k \hat{x}_{k-1|k-1} \quad P_{k|k-1} = F_k P_{k-1|k-1} F_k^T + Q_k \quad (1)$$

$$\tilde{y}_k = z_k - H_k \hat{x}_{k|k-1} \quad S_k = H_k P_{k|k-1} H_k^T + R_k \quad (2)$$

$$K_k = P_{k|k-1} H_k^T S_k^{-1} \quad (3)$$

$$\hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k|k-1} + K_k \tilde{y}_k \quad P_{k|k} = (I - K_k H_k) P_{k|k-1} \quad (4)$$

Burada durum geçiş matrisi  $F_k$ , ilk kestirim  $\hat{x}_{k|k-1}$  ve hata kovaryansı  $P_{k|k-1}$ , gerçek ölçüm ile tahmini ölçüm arasındaki fark  $\tilde{y}_k$  ve kovaryansı  $S_k$ , yeni tahminde radardan elde edilen ölçümlerin ne derece etkili olacağını

belirleyen katsayı olan Kalman kazancı  $K_k$ , sonuç olarak elde edilen durum kestirimi  $\hat{x}_{k|k}$  ve ilerki adımda bir sonraki durum kestirimi için kullanılacak hata kovaryansı  $P_{k|k}$  olarak gösterilmiştir.

Simülasyonda ilk değerler;  $F = \begin{bmatrix} 1 & dt \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ ,  $H = [1 \ 0]$ ,  $Q = 0.01 * \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ ,  $R = 100$ ,

ilk durum vektörü =  $\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ , ilk kestirim hata kovaryansı = Q olarak alınırsa Kalman filtre performansı; hedefin

gerçek, ölçüm ve tahmini konum değerleri ile Şekil 1'deki gibi gösterilebilir. Ölçüm gürültüsü küçüldüğünde gerçek ölçüm ile tahmini ölçüm farkının kovaryansı azalacak, bu durumda Kalman kazancı artacaktır. Kalman kazancının artması ile bir sonraki durum kestiriminde ölçümün etkisi artacaktır. Şekil 2 ve Şekil 3'te ölçüm gürültü varyansının 100 ve 10000 kez küçültülmesi ile elde edilen sonuçlarda da kestirimin ölçüm değerine yaklaştığı görülmektedir.

Ayrıca, ilk kestirim hata kovaryansı küçüldükçe Kalman kazancı azalacaktır. Kestirim hata kovaryansının a ile çarpılarak küçültülmesi ile ölçüm değerlerinin kestirimdeki öneminin azaldığı Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da görülmektedir.

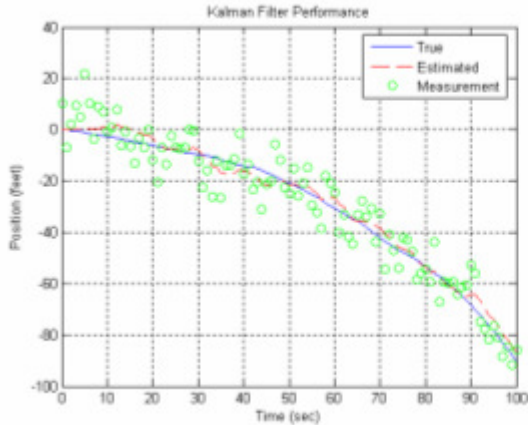
## 2. Genişletilmiş Kalman Filtresi

Kalman filtresi ancak lineer hareket modelleri için kullanılmakla birlikte lineer olmayan uygulamalar için Genişletilmiş Kalman filtresi kullanılabilir, lineer olmayan model lineerleştirilerek hedef hareketinin kestirilmesi yolu izlenmektedir. Durum geçiş matrisi ve gözlem modeli durum matrisinin doğrusal fonksiyonu olmak zorunda değildir. [1][2]

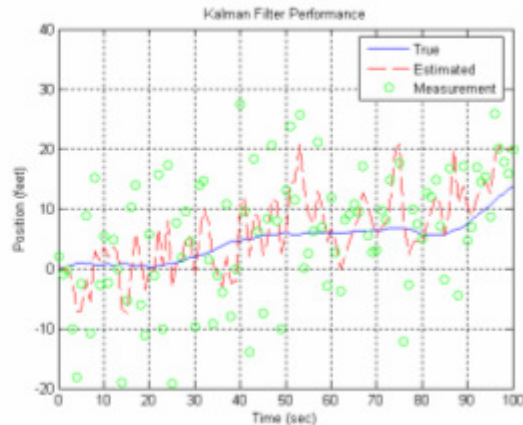
Simülasyonda  $F = -0.1x_k + \cos(x_k)$  ve  $H = (x_k)^2$ , işlem gürültü varyansı=0.01, ölçüm gürültü varyansı=0.1 alınarak elde edilmiş grafik Şekil 7'de gösterilmiştir.

## 3. Sonuçlar

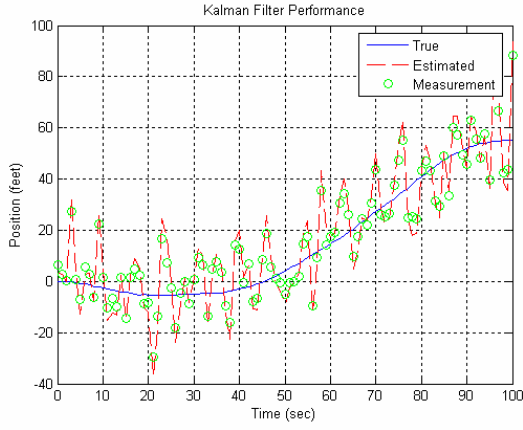
Standart Kalman Filtresi ile hedef izleme gerçekleştirilirken en son kestirimden ve yeni ölçümlerden yararlanılmakta, Kalman kazancı ile de ölçümlerin kestirimi ne derece etkileyeceği belirlenmektedir. Hedefin daha önceki hareketleri ile ilgilenilmediğinden işlem hızı yüksek olan Standart Kalman Filtresi ancak doğrusal hareket modelleri için kullanılmakta, doğrusal olmayan hareket modelleri için ise Genişletilmiş Kalman Filtresi kullanılmaktadır.



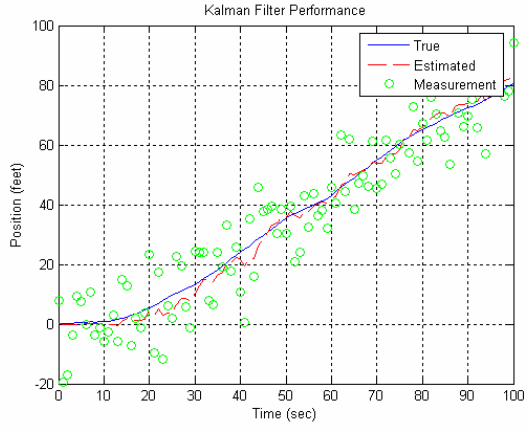
Şekil 1 Standart Kalman Filtre Performansı



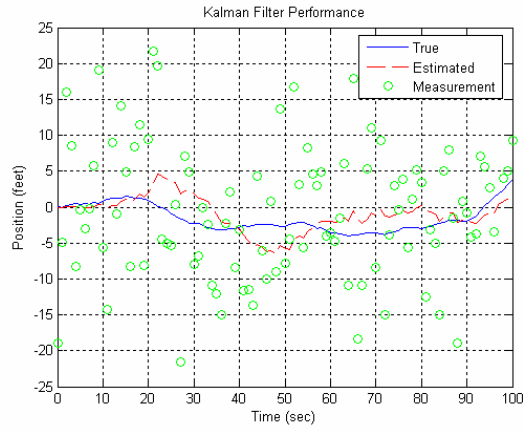
Şekil 2 100 kez küçültme



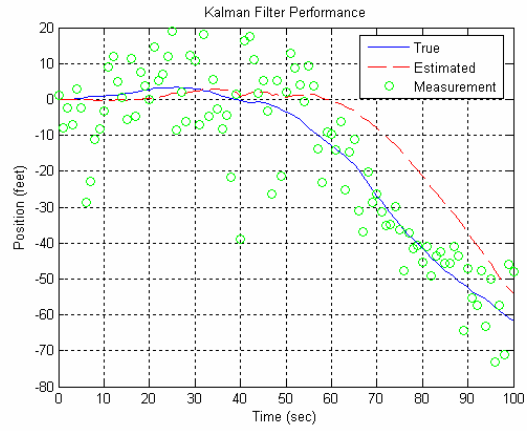
Şekil 3 10000 kez ölçüme



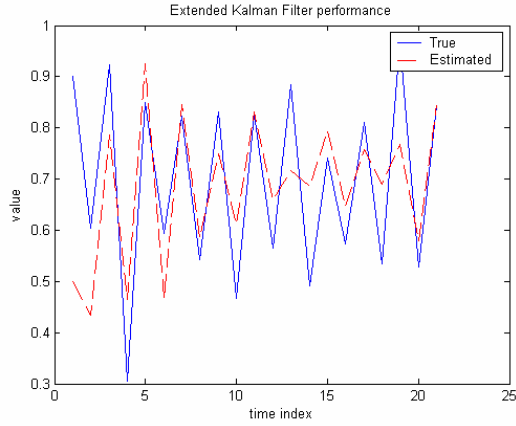
Şekil 4 a=1



Şekil 5 a=0.5



Şekil 6 a=0.2



Şekil 7 Genişletilmiş Kalman Filtre performansı

## Kaynaklar

- [1]. Lana A., Kalman Filtresi ve Olasılıksal Veri İlişkilendirme Yöntemlerini Kullanan Çoklu Hedef İzleme Algoritmaları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 77s, 2001
- [2]. Welch G.ve Bishop G., An Introduction to the Kalman Filter, SIGGRAPH - Course 8,2001