

BULANIK DENETLEÇ UYUMLAMASI KULLANILAN KALMAN FİLTRESİ İLE GÖRÜNTÜ STABİLİZASYONU

M.Kemal GÜLLÜ¹

Eylem YAMAN²

Sarp ERTÜRK³

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü

Mühendislik Fakültesi

Kocaeli Üniversitesi, İzmit, Kocaeli

¹e-posta: kemalg@kou.edu.tr

²e-posta: eylem@kou.edu.tr

³e-posta: sertur@kou.edu.tr

Anahtar sözcükler: Görüntü Stabilizasyonu, Kalman Filtreleme, Bulanık Denetleç

ABSTRACT

Image stabilization is performed to prevent unstable vibrations caused by unwanted camera motion, which might occur in amateur videos or image sequences captured from moving vehicles. In order to preserve image content, long time camera motion is preserved and unstable vibrations are smoothed by the stabilization process.

Dependent on two Kalman filters which are working in parallel, and one of which is taken as reference, a fuzzy control process is performed to enhance filter characteristics. This enhanced kalman filter is applied as the stabilizing filter.

By adapting the stabilizing filter characteristics through a fuzzy control process, an improved stabilization/deliberate motion preservation capability is achieved.

1. GİRİŞ

Görüntü stabilizasyonunun, amatör bir kameraman tarafından yapılan veya hareket halindeki araçlardan yapılan çekimlerde, görüntülü cep telefonları ve robot-kamera uygulamaları gibi istenmeyen kamera hareketinin sebep olduğu düzensiz titreşimlerin gözlemlendiği alanlarda uygulamaları mevcuttur. Genel olarak kaymanın sebep olduğu titreşimlerin arındırılması “iki-boyutlu görüntü dizini stabilizasyonu”, kaymanın yanında rotasyon ve zoomun sebep olduğu düzensizliklerin arındırılması “üç-boyutlu görüntü dizini stabilizasyonu” olarak adlandırılmaktadır.

Video görüntülerinde, kamera hareketinden dolayı oluşan ve çerçevenin yer değişimi şeklinde gözlenen “global hareket” ve çerçeve içindeki bir objenin hareketi olarak beliren “yerel hareket” olmak üzere iki çeşit hareket şekli gözlenmektedir. Görüntü stabilizasyonu açısından global hareketin, kameranın yer değişiminden dolayı gerçekleşen “istenilen” ve titreşimlerden dolayı gözlenen “istenmeyen” hareket bileşenleri mevcuttur. Görüntü çerçevesini kaybetmemek için uzun süreli kamera hareketi

korunarak, istenmeyen ani değişimli hareketler stabilizasyon işlemi ile bastırılmaktadır [1].

Görüntü dizini stabilizasyon (GDS) sistemini iki parçaya ayırmak mümkündür: 1)hareket tahmin sistemi, 2)hareket düzeltme sistemi.

Hareket tahmin sistemi GDS sistemi için önemlidir. Çünkü bu aşamada yapılabilecek bir hata aynı zamanda doğrudan hareket düzeltme sistemini de etkileyecektir. Hareket tahmin işlemi için genel olarak blok karşılaştırması, FFT tabanlı faz korelasyonu ve özellik karşılaştırması kullanılmaktadır. Hareket tahmin sisteminde, görüntü dizini için, global hareket vektörleri bir önceki çerçeveye göre hesaplanmaktadır. Herhangi bir çerçevenin birinci çerçeveye göre gösterdiği toplam yer değişimi, o görüntü ve ondan önceki tüm görüntülerin global hareket vektörleri toplamına eşittir. Hareket düzeltmesi işlemi için hareket vektörü entegrasyonu ve çerçeve konum düzeltmesi önerilmiştir [2].

Kalman filtresi kullanarak çerçeve konum düzeltmesi ile gerçekleştirilen görüntü stabilizasyonu sistemi [3] de tanıtılmış ve adaptif işlem gürültüsü ile etkin bir stabilizasyon gerçekleştirilirken düzeltme vektörünün izin verilen azami değeri aşmasının önüne geçilebildiği de gösterilmiştir[4]. Bu bildiride sunulan stabilizasyon sisteminde, paralel olarak işlev gören ve biri referans olarak kullanılan iki kalman filtresine bağlı olarak yapılan bulanık kontrol işlemi ile yeni bir kalman filtresi katsayısı elde edilmektedir. Elde edilen yeni değerle çalışan kalman filtresi ile işlem gürültüsüne daha etkin bir adaptiflik kazandırılarak kalman filtreli stabilizasyon sisteminin daha verimli çalışması sağlanmıştır.

2. KALMAN FİLTRESİ İLE GÖRÜNTÜ STABİLİZASYONU

Kalman Filtresi, doğrusal dinamik ve doğrusal gözlemlenme denklemleri ile tanımlanmış bir sistemin ayrık zamanlı durum tahminini gerçekleştirir[5]. Sabit hızlı bir kamera modeli ile Kalman filtresi kullanarak görüntü dizini stabilizasyonu ayrıntılı olarak [3] ve

[4]de gösterilmiştir. Buna göre çerçeve konumlarının orjinal değeri ile Kalman filtrelenmiş değeri arasındaki fark olarak bulunan düzeltme vektörüne göre her çerçevenin stabilizasyon sağlanmış konuma getirilmesi sağlanmaktadır.

2.1. Kalman Filtresinin Görüntü Stabilizasyonunda Kullanılması

Kalman Filtresi, Gauss sistem gürültüsüne bağımlı olan doğrusal dinamik ve Gauss ölçüm gürültüsüne bağımlı olan doğrusal gözleme sistemleriyle tanımlanmış, ayrık zamanlı bir işlemin durum tahminini gerçekleştirmektedir [2]. Kalman filtresi matematiksel özellikleri bakımından gerçek zamanlı olarak çalışmaktadır. Kalman filtre yapısı içerisinde tanımlanmış işlem gürültüsü ve ölçüm gürültüsü sayesinde, sistem modeli tam olarak sistemin davranışını temsil etmese dahi, Kalman filtresi yapısı itibariyle aldığı giriş ölçümlerine göre davranışını ayarlayabilmektedir. Video dizinindeki hareketli bir cismin hareket tahmininin yapılmasının zor olduğu örtme problemi (örneğin bir cismin çerçeve girmesi veya çerçeveden çıkması, yada arka planda önceden gözükmeyen bir alanın ortaya çıkması) gibi olaylarda Kalman Filtresi, cismin bir önceki çerçevedeki yörüngesine dayanan bir hareket tahmini yapabilmektedir.

Kalman Filtresi, $x(t+1)=F*x(t)+w(t)$ eşitliğinde, ayrık zamanlı sürecin durum tahminini yapan, doğrusal dinamik bir sistem formundadır. Bu eşitlikte $x(t)$ sistem durumu olmak üzere, F matrisi ikinci dereceden kinematik bir model, $w(t)$ de Gauss işlem gürültüsü olarak tanımlanmaktadır. $y(t)=H*y(t)+v(t)$ eşitliği, gerçekleştirilen tahminler için baz alınan ölçüm değerlerini sistem yapısıyla ilişkilendiren gözleme sistemidir. Bu eşitlik, durum gözlemi olan $y(t)$ ile sistem durumu olan $x(t)$ arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır. Bu ilişki H matrisi ve $v(t)$ ölçüm gürültüsüyle tanımlanmaktadır. $v(t)$ ile gösterilen ölçüm gürültüsü hareket tahmini sırasında gerçekleşebilecek hataları kapsamaktadır. İşlem ve ölçüm gürültüsü birbirinden bağımsız, beyaz ve normal dağılımlı olarak $w \sim N(0,Q)$ ve $v \sim N(0,R)$ şeklinde tanımlanmıştır.

2.2. Kalman Filtre Parametreleri

İşlem gürültüsü ve ölçüm gürültüsü, Kalman Filtre parametrelerini oluşturmaktadırlar. Bu parametreler, Kalman Filtresinin çalışma biçimini doğrudan etkilediklerinden, bunlar için kullanılan varyans değerleri önemlidir.

İşlem gürültüsü varyansı Q , stabilizasyon işlemi için kamera hareketinin yön ve hızında meydana gelebilecek değişimlere ayak uydurabilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Q küçük alındığında, sistem çalışmasını kararlılığa zorlar ve filtrelenmiş bileşen,

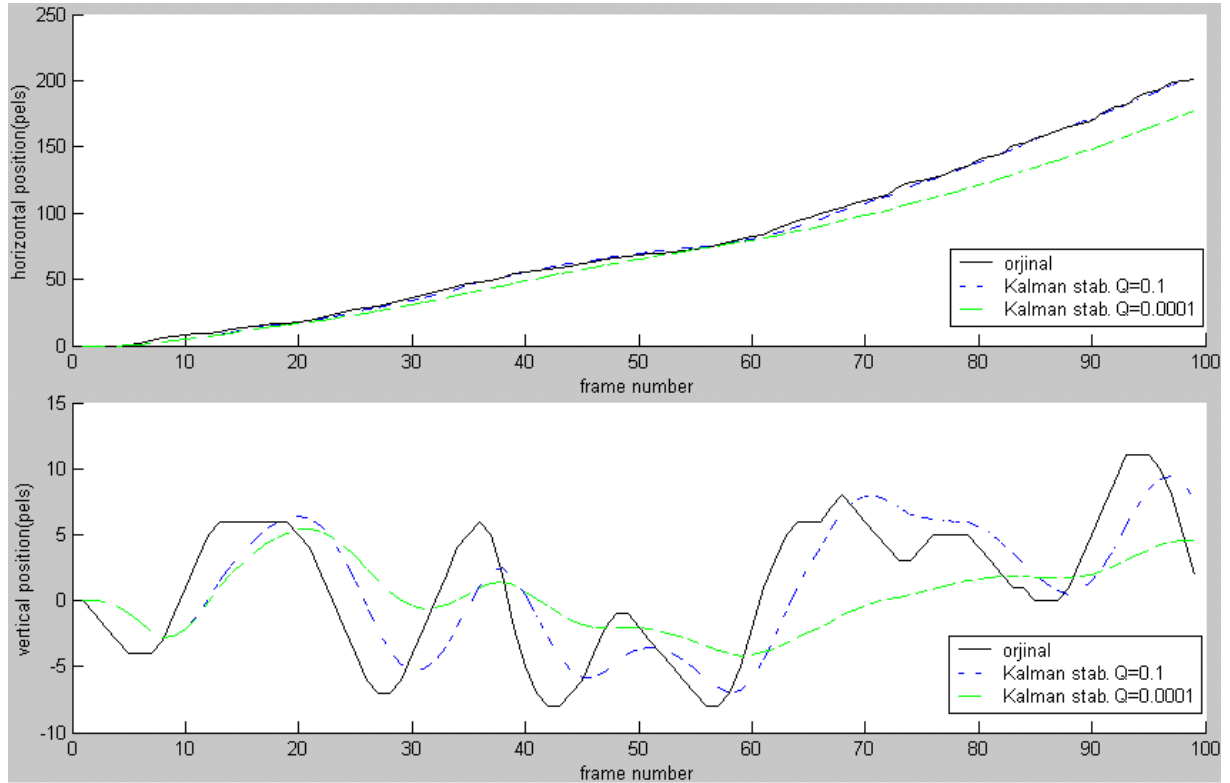
orjinal bileşenin hareket dinamiğinde meydana gelen değişiklikleri iyi takip edemez ve sapmalar gösterir. Buna karşın üst düzeyde stabilizasyon sağlar. Q büyük alındığında ise orjinal hareketteki değişiklikler yakından takip edilmektedir fakat stabilizasyon performansı düşmektedir. Sağlıklı bir düzgülendirme için Q , tipik olarak 0 ile 1 arasında tanımlanmalıdır.

Ölçüm gürültüsü varyansı R , Kalman Filtresinin ölçüm değerleri için kabul edilebilecek titreşim bileşenin değışme miktarını belirler. R değeri küçük alındığında sistem, ölçüm değerlerini iyi kabul etmekte yani harekette titreşimlerin olmadığını varsaymaktadır. Böylece hareketteki küçük değerli titreşimler de takip edilmekte ve stabilizasyon yoğunluğu düşmektedir. R değeri büyük alındığında sistem, ölçüm değerlerini kötü kabul etmekte ve bu değerlere gecikmeli olarak tepki vermektedir. Bu durumda stabilizasyon yoğunluğu yüksek olmakta, fakat kamera hareketi tam olarak takip edilememektedir. En iyi Kalman Filtre performansını sağlamak için R değeri tanım itibariyle, görüntülerdeki titreşim bileşenlerinin görüntü elemanı cinsinden gösterdiği standart sapmanın karesi olarak alınmalıdır.

Şekil 1'de eğimli bir arazide ilerleyen bir araçtan yapılan çekimde, paralel yolda ilerleyen aracın görüntü çerçevesi, sabit hızlı hareket modeline göre $Q=0.0001$ ve $Q=0.1$ iken Kalman Filtresinden geçirilen konum bileşenleri görülmektedir.

Videoda, aracın hareketinden dolayı oluşan yataysal kamera yer değışiminin yanında, düşeyde arazinin engebeli olmasından kaynaklanan sallantılar görülmektedir.

Tahmin sisteminden gelen yatay konum bileşenleri, ilk çerçeve pozisyonuna göre, aracın hareket hızına bağılı bir artış göstermektedir. Dikey konum bileşeni ise kameranın bulunduğu aracın hareket ettiği arazinin yapısını göstermektedir. $Q=0.0001$ iken yatay pozisyonda, filtrelenmiş bileşenlerdeki titreşimlerin giderildiği, ancak yaklaşık ellinci çerçeveden sonra aracın hareket dinamiğinde meydana gelen değışimlerin tam olarak takip edilemediği görülmektedir. Dikey düzlemde, istenen şekilde bir stabilizasyon gerçekleşmekte, ancak filtrelenmiş konum bileşenleri hareket tahmin sisteminden gelen konum bileşenlerine biraz gecikmeli olarak cevap vermektedir. $Q=0.1$ değerine çıkarıldığında taktirde yatay ve dikey pozisyonlarda, Kalman Filtresi hareket dinamiğinde meydana gelen değışimlere kolay adapte olmakta ve özellikle dikey pozisyonda hareket dinamiği ile beraber hareketteki sallantılar daha yakından takip edilmektedir.



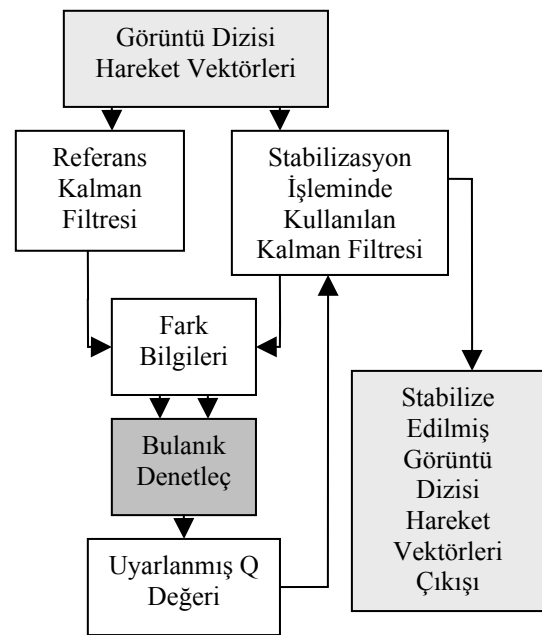
Şekil-1. Eğimli Bir Arazide İlerleyen Araçtan Yapılan Çekimde Görüntü Çerçevesi

3. BULANIK DENETLEÇ İLE KALMAN FİLTRESİ İŞLEM GÜRÜLTÜ VARYANSININ UYARLANMASI

Düşük işlem gürültü varyansı daha iyi bir stabilizasyon sağlamasına rağmen, sistemi kararlı kıldığı için kasıtlı kamera hareketinde meydana gelen değişimlere kolayca ayak uyduramamaktadır. Bu durumlarda daha yüksek işlem gürültü varyans değeri kullanılması tercih edilmelidir. Hem obje hareketini yakından takip etmek, hem de yüksek yoğunluklu bir stabilizasyon gerçekleştirmek için işlem gürültü varyans değeri, objenin hareket dinamiğine göre uyarlanabilir. Bunun için öncelikle filtrenin kasıtlı kamera hareketindeki ani değişiklikleri algılayabilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda [4]de orjinal çerçeve değerleri ile Kalman filtrelenmiş çerçeve değerlerinin arasındaki fark gözlenmekte ve bu fark izin verilen azami düzeltme vektörü boyutuna yaklaştığında işlem gürültüsü varyansı artırılmaktadır. Fakat orjinal çerçeve konumu ile Kalman filtrelenmiş konum arasındaki fark, esasında hareketten bir sapma olmaksızın bir titreşim anında titreşimin etkisinden dolayı da yüksek değere çıkabilmektedir. Bunu engellemek için paralel olarak çalışan iki Kalman Filtresi' nin kullanılması sayesinde bu filtrelerden birinin işlem gürültüsü varyansı sürekli olarak $Q=0.1$ (yüksek işlem gürültü varyansı) değerinde tutularak, hareket dinamiğinde meydana gelecek değişimler için bir referans oluşturulması sağlanabilir. Stabilizasyon için kullanılan diğer Kalman filtresi, ilk çalıştırıldığında ön değer olarak $Q=0.0001$ (düşük işlem gürültüsü varyansı) değerini

alır. Stabilizasyon filtresinin Q değerleri işlem boyunca, referans olarak alınan Kalman filtresi ile arasındaki fark bilgileri bulanık denetlece girilerek hareket dinamiğine göre uyarlanır. Önerilen bu sistem Şekil-2' de gösterilmiştir.

Yatay ve düşey düzlemde birbirinden bağımsız stabilizasyonun gerçekleştirilebilmesi için, yatay ve düşey düzlem ayrı ayrı ele alınmaktadır. GDS sistemi için ikisi yatayda, ikisi de dikeyde olmak üzere dört adet Kalman Filtresi kullanılmaktadır.



Şekil-2. Gerçeklenen Filtrenin Blok Gösterimi

3.1. Bulanık Denetleç

Referans ve ve stabilizasyon filtrelerinin çıkışları arasındaki fark

$$d_{x,y}(n-1) = X_{Klmstabx,y}(n-1) - X_{Klmsrefx,y}(n-1) \quad (1)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Buna göre bulanık denetleç girişleri

$$(giriş1)_n = d_{x,y}(n-1) - d_{x,y}(n-2) \quad (2)$$

$$(giriş2)_n = (giriş1)_n - [d_{x,y}(n-2) - d_{x,y}(n-3)] \quad (3)$$

şeklinde oluşturulmaktadır. (2) ve (3) eşitliklerinden de görüleceği gibi bulanık denetleç, çıkartım için bir önceki ve iki önceki kalman filtre çıkışları arasındaki farkları kullanmaktadır.

Bu çalışmada giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları olarak üçgen üyelik fonksiyonları kullanılmıştır ve sistemin çalışma verimliliğine ve deneyimlere bağlı kalınarak üyelik fonksiyonlarının ağırlıkları belirlenmiştir.

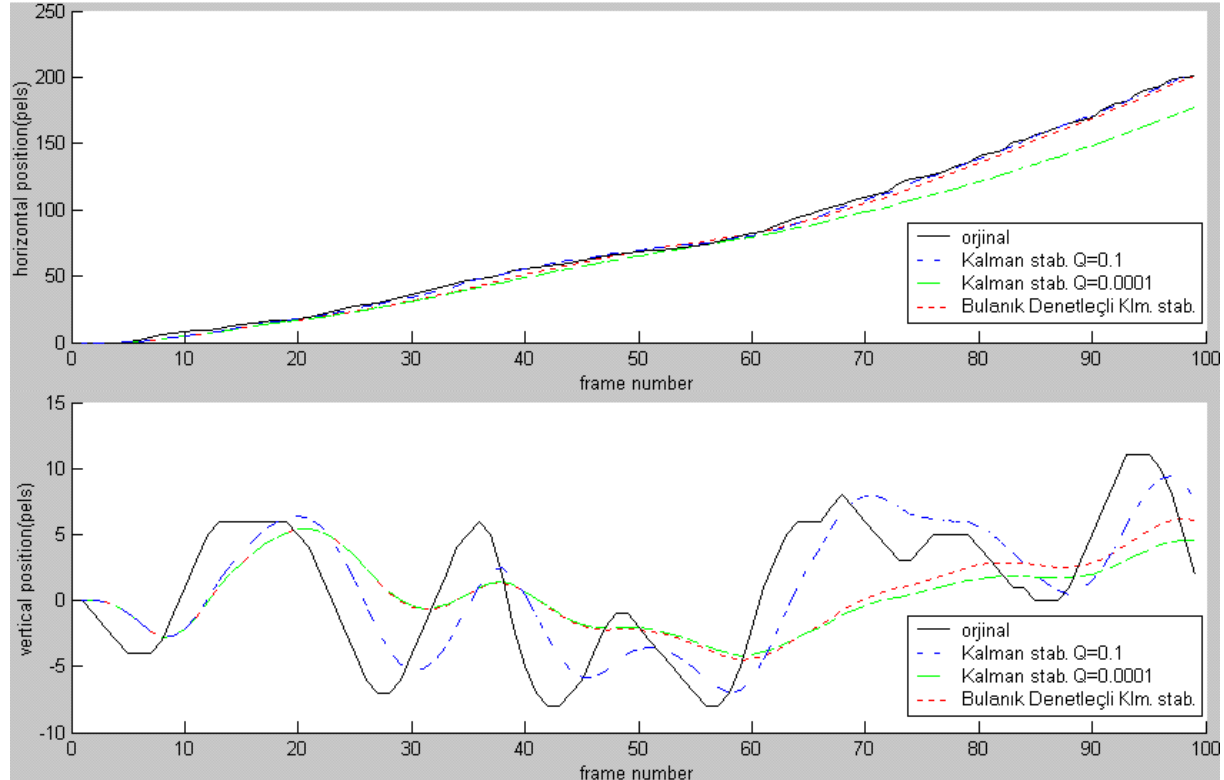
Bulanık denetleç için kural tabanı Tablo-1' de verildiği gibi seçilmiştir.

Tablo-1. Bulanık Denetleç İçin Kural Tabanı

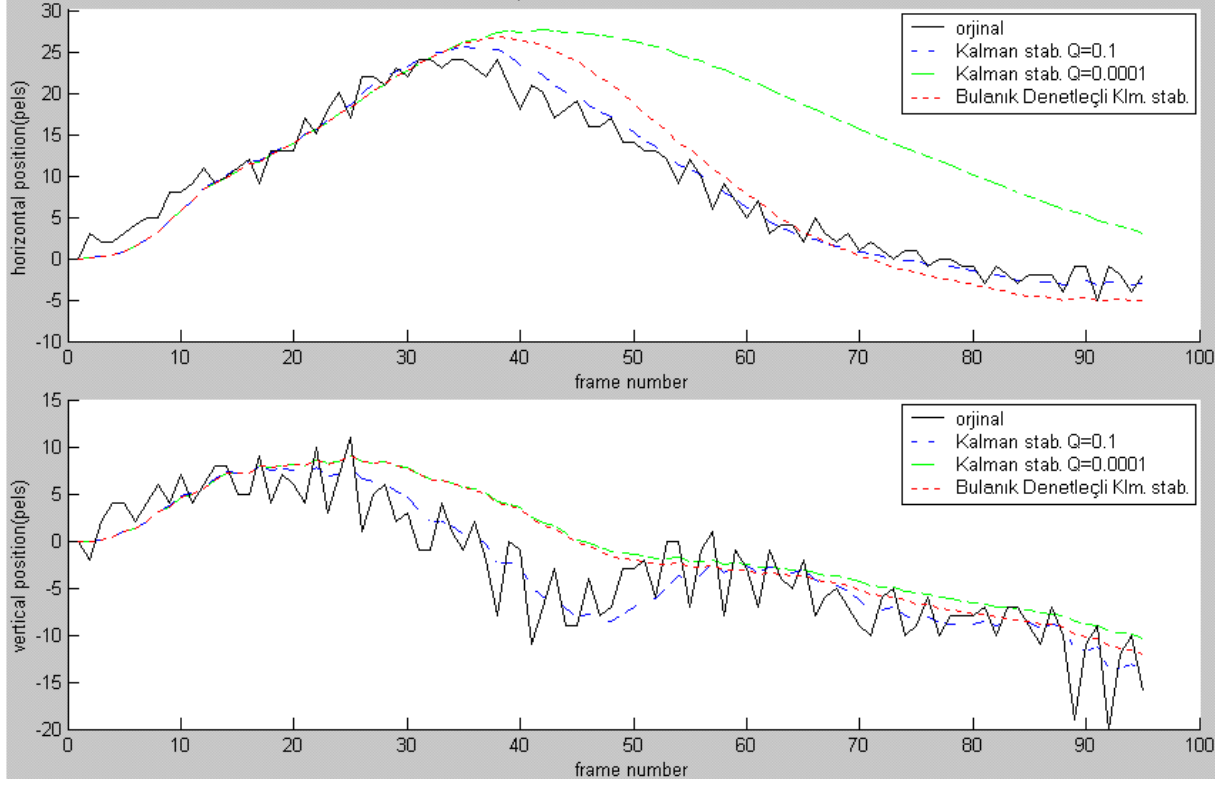
g1 \ g2	NB	N	S	P	PB
NB	NB	NB	N	P	PB
N	NB	N	P	PB	Z
S	N	P	PB	P	N
P	Z	PB	P	N	NB
PB	PB	P	N	NB	NB

*NB=Negatif Büyük, N=Negatif, S=Sıfır, P=Pozitif, PB=Pozitif Büyük

Sonuçta elde ettiğimiz filtreyi şekil-1' de verilen eğimli bir arazide ilerleyen araçtan yapılan çekimden elde edilen görüntü dizisi hareket vektörlerine uyguladığımızda Şekil-3' de görüldüğü gibi sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlardan da görüleceği gibi kasıtlı kamera hareketleri iyi takip edilmesinin yanında, istenmeyen kamera hareketlerinin de önüne geçilmiştir.



Şekil-3. Bulanık Denetleç Kullanılarak Yapılan Filtrenin Araba Dizisi İçin Stabilizasyon Sonuçları



Şekil-4. Bulanık Denetleç Kullanılarak Yapılan Filtrenin Motosiklet Dizisi İçin Stabilizasyon Sonuçları

İkinci bir görüntü dizini için yapılan çekimlerde düzensiz titreşimlerin net bir şekilde görülebilmesi için bir kamera, hareket halindeki motosikletin arkasına, ön cepheyi çekmek üzere, biraz gevşek bir şekilde monte edilmiştir. Şekil 4' de motosiklet dizini için, yatay ve dikey düzlemlerde, çerçeve numarasına göre piksel olarak yer değişim vektörleri, $Q=0.1$, $Q=0.0001$ değerlerindeki Kalman Filtre çıkışları ve bulanık denetleç kullanılarak yapılan yeni filtrenin stabilizasyon sonuçları görülmektedir. Görüntüde titreşimden kaynaklanan ani değişimler, dikey düzlemde daha yüksek genlikte olmakla beraber her iki düzlemde de görülmektedir. Bulanık denetleçli kalman stabilizasyon sistemi her iki düzlem için titreşimlerin giderilmesiyle beraber hareket dinamiğindeki değişimlerin takibini de başarılı bir şekilde gerçekleştirmektedir.

4. SONUÇ

Bu bildiriye, görüntü stabilizasyonu için kullanılan Kalman filtresine getirilen bulanık denetleçli adaptiflik sayesinde etkin bir stabilizasyon gerçekleştirilirken aynı zamanda kasıtlı kamera hareketlerini de koruyan, gerçek zamanlı çalışan verimli bir görüntü stabilizasyon sistemi sunulmaktadır. Düşük işlem gürültü varyansının daha kuvvetli bir stabilizasyon sağlaması nedeniyle hareket dinamiğinde değişim olmadığı durumlarda düşük işlem gürültü varyansı kullanılmaktadır. Hareket dinamiğinde ani değişim gözlemlendiği takdirde ise

yüksek bir işlem gürültü varyans değeri kullanılarak kamera hareketinin izlenmesi sağlanmaktadır. Bulanık denetleç ile kontrol edilen işlem gürültü varyansının bulanıklık sayesinde çok daha etkin bir şekilde uyumlanması gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] E.Yaman, F. Tekin, S. Ertürk, Kalman Filtresi İle Görüntü Stabilizasyonu, EEBM 9. Ulusal Kongresi, Kocaeli, sf 557-560, 2001.
- [2] S. Erturk, T. J. Dennis, Image Sequence Stabilization Based on DFT Filtering, IEE Proc. on Image Vision and Signal Processing, Vol 147, No 2, pp 95-102, 2000.
- [3] S. Erturk, Image Sequence Stabilization Based on Kalman Filtering of Frame Position, Electronics Letters, 37, (20), pp 1217-1219, 2001.
- [4] E. Yaman, S. Ertürk, Image Stabilization by Kalman Filtering Using a Constant Velocity Camera Model With Adaptive Process Noise, International Conference on Electrical and Electronics Engineering ELECO' 2001, Bursa, 2001 Electronics Vol., sf 152-157

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, TÜBİTAK, tarafından EEEAG/101-006 nolu araştırma projesi kapsamında desteklenmiştir.