

Adaptif LMS Algoritması ile Polinom Filtresinin Görüntü Stabilizasyonuna Uygulanması

Fatma Özbek Sarp Ertürk

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Kocaeli Üniversitesi, 41040, İzmit, Kocaeli
fozbek@kou.edu.tr sertur@kou.edu.tr

Özetçe

Bu bildiri video görüntü dizininde istenmeyen titreşimleri yok etmek amacıyla, hareket tahmin işlemi önceden yapılmış, iki boyutlu çerçeve konumu düzeltme işlemi için geliştirilen Adaptif Polinom Filtresiyle görüntü dizini stabilizasyonu yöntemi sunulmaktadır. LMS algoritması kullanılarak elde edilen Adaptif Polinom Filtresi ile görüntü dizinin düzgünleştirilmesi sonucu titreşim tamamen giderilirken aynı anda istenen global kamera hareketleri de korunmaktadır. Polinom filtresine LMS algoritmasıyla etkin bir adaptiflik kazandırılarak gerçek-zamanlı çalışan ve iyi bir performans veren stabilizasyon yöntemi sağlanmaktadır.

1. Giriş

Görüntü stabilizasyonu, hareket halindeki araçlardan yapılan çekimler, görüntülü cep telefonları ve robot-kamera uygulama alanlarında olduğu gibi video görüntülerinde de istenmeyen kamera hareketlerinden dolayı oluşan düzensiz titreşimlerin giderilmesini amaçlamaktadır. Görüntü stabilizasyonunda, kamera hareketinden dolayı oluşan ve çerçevenin yer değişimi şeklinde gözlenen bütünsel hareketin istenmeyen bileşeni ayrıştırılırken sadece gerekli bütünsel hareketler muhafaza edilir.

Görüntü dizini stabilizasyon sistemi hareket tahmin sistemi ve hareket düzeltme sisteminden oluşur. Görüntü stabilizasyonu için vektör entegrasyonu, frekans uzayında çerçeve konum filtrelemesi, zaman uzayında FIR ve IIR filtreler ile çerçeve konum filtrelemesi ve Kalman filtresi [1] ile çerçeve konum düzeltmesi yöntemleri önerilmiştir. Bu bildiri polinom filtresine LMS Algoritmasıyla (En küçük kareler algoritması) adaptiflik getirilerek iki boyutlu çerçeve konum düzeltmesi ile görüntü stabilizasyonu önerilmektedir. Global çerçeve konumlarının adaptif polinom filtresi ile düzgünleştirilmesi sonucu görüntüler titreşimden arındırılırken aynı anda istenen kamera hareketleri de korunmaktadır. Yaklaşım parametresi μ nün , değişimleri yeterli hızda izleyecek şekilde adaptif olarak ayarlanması sağlanarak, polinom filtresi ile bütünsel hareketin yüksek frekanslarda görülen titreşim öğeleri atılırken, düşük frekans elemanlarına karşılık gelen kamera hareketleri korunmaktadır. Görüntülerin gerekli pozisyona getirilmesi sonucu titreşim

öğelerinden arındırılmış video dizini oluşturulur. Polinom filtresine LMS algoritmasıyla etkin bir adaptiflik kazandırılarak gerçek-zamanlı çalışan bir stabilizasyon yöntemi sağlanmaktadır.

1.1. Adaptif LMS Algoritmanın Polinom Filtreye Uyarlanması

LMS algoritması, RLS (özyineli en küçük kareler) algoritmasına kıyasla düşük hesap yükünden ve hareketi iyi izleme performansından dolayı adaptif filtrelemede yaygın olarak kullanılmaktadır [2].

Bir görüntü dizininde, yatay yer değişim vektörünü \mathbf{X} , düşey yer değişim vektörünü \mathbf{Y} ile gösterilirse, m . dereceden N -uzunluklu polinom filtresi kullanarak adaptif LMS algoritmasına dayalı stabilizasyon gerçekleştirilir. $\mathbf{X}(i)$ ve $\mathbf{Y}(i)$ ile ifade edilen i . andaki giriş işaretleri aşağıdaki gibi gösterilir.

$$\begin{aligned}\mathbf{X}(i) &= [x(i) \ x(i-1) \ \dots \ x(i-N+1)]^T \\ \mathbf{Y}(i) &= [y(i) \ y(i-1) \ \dots \ y(i-N+1)]^T\end{aligned}\quad (1)$$

Aşağıdaki denklemlerde kullanılan \mathbf{u} değişkeni \mathbf{X} yada \mathbf{Y} konum değerlerini ifade etmektedir.

Gürültülü rastgele bir işaret oluşturan video görüntü dizinin titreşime maruz kalmış \mathbf{u} çerçeve konum değerlerinin hatayı minimum yapacak LMS algoritmasıyla polinom filtresine uyarlanması sonucu, titreşimlerden arındırılmış görüntü dizinin olması gereken konum değerleri elde edilir. Bu filtreleme, küçük N -uzunluklu adaptif filtreye \mathbf{u} orijinal çerçeve konum işareti verilerek \mathbf{W} ağırlık katsayı vektörü, hata değeri minimum olacak şekilde ayarlanır. y filtre çıkışı ile d istenen işaretin karşılaştırılmasıyla ayarlanabilen ağırlık katsayıları belli bir değerde sabitlenir. Adaptif filtrelerde yaklaşımda, adım boyu parametresi (ağırlaştırma oranı) μ 'nün tespiti çok önemlidir. μ adım boyu parametresi en başta istenen oranda yaklaşım yaratmak üzere deneysel olarak seçilir. Adım boyu parametresi, λ_{\max} giriş ilişki matrisinin en büyük öz değeri olmak üzere, $0 \leq \mu \leq 2/\lambda_{\max}$ şartını sağlamalıdır. μ adım boyunun büyük değerleri daha hızlı yakınsama sağlar ancak bu, hata değerinin

artmasına ve algoritmanın kararsız hale gelmesine sebep olabilir. Pratikte böyle problemler genellikle adım boyunun adaptif değişimiyle [3] ya da sabit adım boyunun ılımlı bir seçimiyle [4] giderilir. Bizim uygulamamızda, her çerçeve için μ adım boyu λ_{\max} değerinin tersine göre uyarlanmıştır. Filtrenin performansını etkileyen diğer bir faktör, ağırlık katsayı vektörünün başlangıç değeridir. $\mathbf{W}(0)$ değeri yaygın olarak $0 \leq \mathbf{W}(0) < 1$ değerleri arasında alınır. Uygulamamızda filtrenin uzunluğu hesaba katılarak oldukça iyi performans veren $0.8/N$ değeri seçilmiştir.

Adaptif LMS Algoritmanın d istenen işaretini, küçük m -derece polinomlu, N -uzunluklu polinom filtre çıkışıyla elde edilir. Bir tek değişkene bağımlı ve bu değişkenin tam sayı güçlerinin ağırlıklı toplamını oluşturan basit matematiksel fonksiyonu içeren polinom filtresi aşağıdaki gibi tanımlanabilir [5].

$$f_i = \sum_{j=0}^m a_j h_i^j \quad (2)$$

Polinom filtresinde, bütünsel hareket tahmini ile elde edilen çerçeve konumlarına düşük dereceli bir polinomun uydurulması sonucu adaptif filtrenin d istenen işaretini elde edilmektedir. Burada n çerçeve sayılı video dizini için polinomu m . dereceden olan N -uzunluklu polinom filtresinde a_j polinom katsayılarını, h_i gözlemeleme bilgisi olup görüntü dizinin çerçeve numarasını vermektedir. d istenen işaretini, gözlemeleme matrisi ile polinom katsayı matrisinin çarpımının beklendiği değeri ile elde edilir. Bu işareti veren H gözlemeleme matrisi şu şekilde alınır:

$$H = \begin{bmatrix} 1 & h_0 & h_0^2 & \dots & h_0^m \\ 1 & h_1 & h_1^2 & \dots & h_1^m \\ 1 & h_2 & h_2^2 & \dots & h_2^m \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & h_{N-1} & h_{N-1}^2 & \dots & h_{N-1}^m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & 2 & 4 & \dots & 2^m \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & (N-1) & (N-1)^2 & \dots & (N-1)^m \end{bmatrix} \quad (3)$$

d istenen işaretin eldesi için i . ve $N-1$ önceki çerçevelerin yatay ve düşey konum bilgilerini içeren tap-giriş vektörleri aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\begin{aligned} \mathbf{X}(i) &= [x(i-N+1) \ x(i-N+2) \ \dots \ x(i)]^T \\ \mathbf{Y}(i) &= [y(i-N+1) \ y(i-N+2) \ \dots \ y(i)]^T \end{aligned} \quad (4)$$

Kolaylık için d istenen işaretin alınan yönüne bağlı olarak \mathbf{u} giriş işareti, \mathbf{X} ya da \mathbf{Y} vektörlerini tanımlamaktadır. Orijinal çerçeve konumları (çerçevelerin stabilize edilmemiş konumları) ile adaptif filtrenin istenen işareti (polinom filtre çıkışı) arasında minimum karesel hata olacak şekilde yatay ve düşey konum bilgisini içeren d istenen işaret, en küçük çikareler düzlem metoduyla hesaplanmaktadır [6]. Kısaca adaptif polinom filtrenin istenen işareti aşağıdaki gibi bulunur.

$$d(i) = E[H(H^T H)^{-1} H^T \mathbf{u}(i)] \quad (5)$$

LMS algoritması, kare, ortalama ve diferansiyel alma gibi karmaşık işlemler gerektirmediği için genellikle kullanımı kolay bir algoritmadır. LMS algoritmasının özeti Tablo 1 de adım adım gösterilmiştir.

Tablo 1: LMS algoritmanın özeti

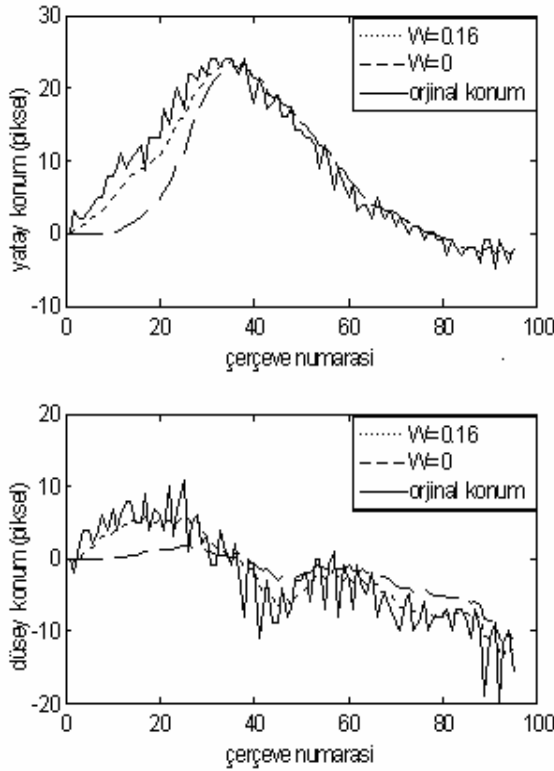
Başlangıç değerleri	$\mu(0)$, $\mathbf{W}(0)$
1. Şart	$\mu(0) = 0.0001$
2. Şart	$\mathbf{W}(0)=0$ yada $\mathbf{W}(0)=0.8/N$
i. andaki değerler	$\mathbf{u}(i)$, $\mathbf{W}(i-1)$, $\mu(i)$ ve $d(i)$
1. Adım	$y(i) = \mathbf{u}^T(i) \mathbf{W}(i-1)$
2. Adım	$e(i) = d(i) - y(i)$
3. Adım	$\mathbf{W}(i) = \mathbf{W}(i-1) + \mu(i-1) \mathbf{u}(i) e(i)$
4. Adım	$\mu(i) = 1/\lambda_{\max}$

1.2. Adaptif Polinom Filtre ile Görüntü Stabilizasyonu

Gürültülü rastgele bir işaret oluşturan video görüntü dizinin titreşime maruz kalmış çerçeve konum değerlerinin LMS algoritmasıyla polinom filtresine uyarlanması sonucu, titreşimlerden arındırılmış görüntü dizinin olması gereken konum değerleri elde edilir. Bu filtreleme sonucunda kaymanın sebep olduğu yatay ve düşey hareket düzlemlerindeki titreşimlerin arındırılması için iki boyutlu çerçeve konum düzeltmesi gerçekleştirilir. Buna göre çerçeve konumlarının orijinal değeri ile adaptif polinom filtrenin değeri arasındaki fark olarak bulunan düzeltme vektörüne $\mathbf{V} = (\mathbf{X}, \mathbf{Y}) - (\mathbf{y}_x, \mathbf{y}_y)$ göre her çerçevenin stabilizasyonu sağlanmış konuma getirilmesi gerçekleştirilmektedir.

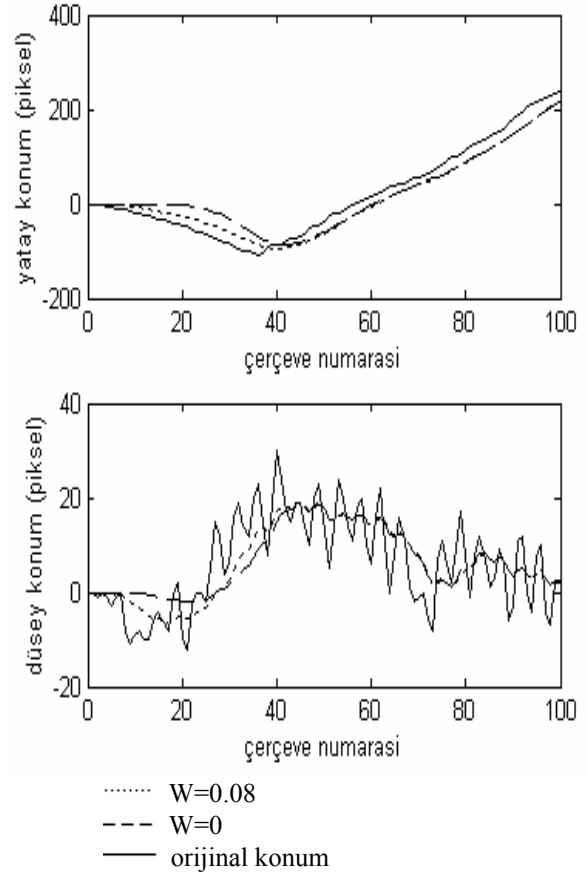
2. Deneysel Sonuçlar

Hesapsal yükün az olduğu uzunluğu 5 ve 10 olan adaptif filtrelere, stabilize edilmiş çerçeve konumlarında ani değişimler göstermeyen bununla beraber bilinçli kamera hareketlerinin takip edilebildiği 2. dereceden polinom uygulanarak deneysel sonuçlar incelenmiştir. Şekil 1'de hareket halindeki bir motosikletin arkasına bağlanan bir kameradan çekilmiş bir örnek dizin için çekimin yapıldığı aracın hareketinden dolayı oluşan kamera yer değişimlerini ve LMS Algoritmayla adaptifleştirilen polinom filtresi ile düzgünleştirilmiş yer değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 1: Motosiklet dizini için N=5 adaptif ile düzgünleştirilmiş yatay ve düşey konum bileşenleri.

Daha iyi performansı sağlamak için adaptif filtre uzunluğunu yeterli derecede artırarak amatör bir kameraman tarafından çekilmiş örnek bir görüntü dizini ele alınmıştır. Şekil 2' de duran bir aracı örnekleyen görüntü dizini için kameranın titreşiminden oluşan bütünsel hareketin 10 uzunluklu adaptif polinom filtresiyle düzgünleştirilmiş yer değişimleri gösterilmiştir.

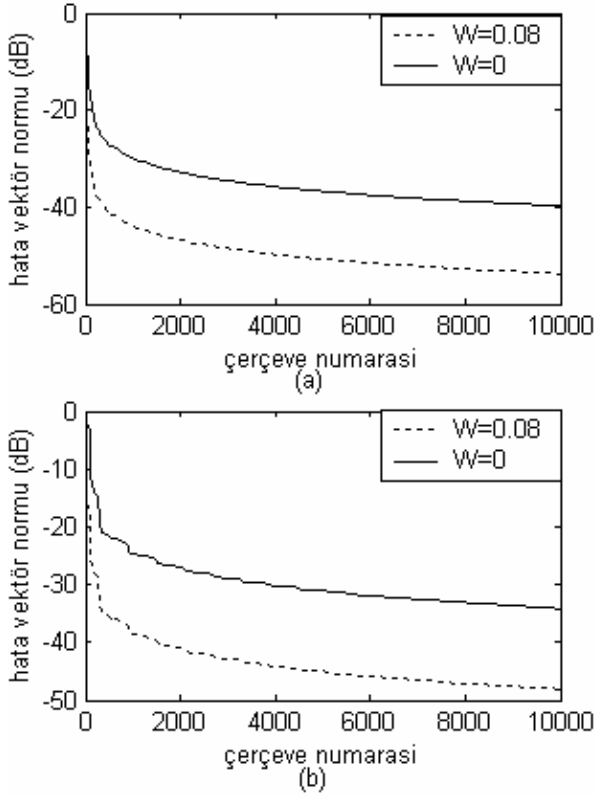


Şekil 2 : Araç dizini için N=10 adaptif ile düzgünleştirilmiş konum bileşenleri.

Adım aralığı μ parametresinin başlangıç değerini 0.0001 gibi hareketteki değişimleri yeterli hızda izleyecek kadar küçük alarak kararlılık şartını her bir çerçeve değeri için uygulanması sonucu adaptiflik sağlanmıştır. Stabilizasyonu etkileyen diğer bir faktör, ağırlık katsayı vektörün başlangıç değeri sıfır alındığında yüksek yoğunlukta stabilizasyon sağlanırken bütünsel hareketteki ani değişimler yeterli yakınlıkta izlenememektedir. Yapılan deneysel sonuçlarda en iyi performansı veren başlangıç katsayıları $0.8/N$ bulunmuştur. Bu değerde titreşimler giderilirken gerekli bütünsel hareketler de korunmaktadır. Uygulamalar sonucu gerçek zamanlı çalışmada fazla işlem yükü gerektirmeyen N=10 adaptif polinom filtresiyle ve $W(0)=0.08$ değeriyle yapılan filtrelemede titreşimlerin daha iyi bastırıldığı görülmektedir. Öğrenme eğrilerinden de görüleceği gibi stabilizasyona bu değerle başlamanın daha küçük bir sürekli-durum değerinde kalmasını sağlayarak istenen global hareketler daha yakından takip edilirken titreşim öğeleri atılmıştır.

5. Kaynakça

- [1] Ertürk, S., "Image Sequence Stabilisation Based on Kalman Filtering of Frame Positions", *Electronics Letters*, 37, (20), 1217-1219, 2001.
- [2] Nascimento, V. H., "Improving the Initial Convergence of Adaptive Filters: Variable-Length LMS Algorithms", *DSP 2002 14th IEEE Int. Conf. on DSP*, 667-669, July 2002
- [3] Milisavljevic, M., "Delayed Error and Update Scheduling of LMS Algorithms", *ICASSP 2002 Int. Con. On Acous. Speech and Sig. Proc.*, 1409-1412, May 2002.
- [4] Haykin, S., "Adaptive Filter Theory", 3rd Edition, New Jersey, Prentice-Hall Inc., 1996.
- [5] Valiviita, S., Ovaska, S. J., and Vainio, O., "Polynomial Predictive Filtering in Control Instrumentation: A Review", *IEEE Trans. on Ind. Electronics*, Vol. 46, No: 5, 876-888, 1999.
- [6] Özbek, F., Ertürk, S., "Polinom Filtresi ile Görüntü Stabilizasyonu", *10. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, Pamukkale*, 806-811, 2002.
- [7] Mathews, V.J., "Adaptive Polynomial Filters", *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 8, No 3, pp. 10-26, July 1991.



Şekil 3 : 10000 çerçeveli örnek bir görüntü dizi için N=10 adaptif polinom filtrenin farklı başlangıç katsayılarıdaki LMS algoritmanın a-) yatay konumda b-) düşey konumda öğrenme eğrileri. Öğrenme eğrileri adaptif polinom filtre çıkışlarının sapma değerlerinin karesel ortalamasını dB olarak vermektedir [7].

3. Sonuçlar

Bu bildiriye, polinom filtresine LMS algoritmasıyla getirilen adaptiflik sayesinde etkin bir stabilizasyon gerçekleştirilirken aynı zamanda kasıtlı kamera hareketlerini de koruyan, gerçek zamanlı çalışan verimli bir görüntü stabilizasyon sistemi sunulmuştur. Küçük bir adım aralığıyla yakınsayan ve yeterli değerde bir başlangıç katsayılarıyla kararlılığa ulaşan adaptif polinom filtre ile görüntü stabilizasyonuna farklı bir yöntem getirilmiştir.

4. Teşekkür

Bu çalışma EEEAG/101-006 nolu TÜBİTAK Projesi ile desteklenmektedir.