

Arşiv Filmlerinde Kırpışma Etkisinin Giderilmesi

Flicker Removal for Archive Films

M.Kemal GÜLLÜ, Oğuzhan URHAN, Sarp ERTÜRK

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

Özetçe

Bu çalışmada, arşiv filmlerindeki kırpışma etkisinin giderilmesi için referans çerçeveye ihtiyaç duymayan özgün bir yöntem önerilmektedir. Önerilen yöntemde öncelikle sahne boyunca imgelerin ortalama ve değışinti değerleri hesaplanmakta ve bu değerler zamansal olarak alçak geçiren süzgeçten geçirilerek kırpışma parametreleri bulunmaktadır. Bulunan parametreler kullanılarak doğrusal düzeltme modeli ile bütünsel ön düzeltme yapılmaktadır. Yerel kırpışma giderme için öncelikle bütünsel hareket gözünde bulundurulurken yerel çerçeve ortalama ve değışinti değerleri zamansal olarak alçak geçiren süzgeçten geçirilmektedir. Her bir çerçeve için ön-düzeltilmiş ve zamansal süzgeçlenmiş yerel çerçeve ortalama ve değışinti değerleri kullanılarak yerel kırpışma parametreleri çıkartılmaktadır. Elde edilen kırpışma parametreleri farklı düzeltme işlemlerinden geçirilmekte, düzeltilen bu parametreler aradeğerleme ile imge piksel boyutuna üst örneklenerek, ön düzeltme kısmında da uygulanan doğrusal model ile piksel temelinde son düzeltme işlemi yapılmaktadır. Önerilen yöntem çok sayıda arşiv videosuna uygulanmış olup, elde edilen sonuçlar diğer yöntemlerin sonuçları ile karşılaştırılmış ve geliştirilen yöntemin yüksek başarımlı sağladığı görülmüştür.

Abstract

A novel automatic flicker compensation technique for archive films that does not require a flicker-free reference frame is presented in this paper. Initially, mean and variance values of image frames are calculated for the entire scene and flicker parameters are computed from original and temporally low-pass filtered mean and variance values. Global pre-correction is carried out using these values with a linear correction model. Then, local mean and variance values are temporally low-pass filtered for local flicker correction after compensating for global motion. Local flicker parameters are calculated using globally corrected and temporally low-pass filtered mean and variances for each image frame. These flicker parameters are processed using two separate approaches and then up-sampled to pixel level. Afterwards pixel based flicker correction is executed using the linear model. The proposed method is applied to several archive videos and obtained results show that the proposed method provides superior flicker compensation performance.

1. Giriş

Arşiv videolarının onarımı görsel kalitenin artırımını amaçlamakla birlikte, sıkıştırma verimliliğini de artırarak videoların sayısal ortamlarda daha verimli saklanmasını ve iletilmesini sağlamaktadır. Video onarım sistemleri genel hatlarıyla sahne geçişlerinin ayırt edilmesi ve videoların

sahnelere ayrılması, kırpışma giderimi, kir ve çizgilerin kaldırılması, gürültü giderme ve video stabilizasyonu konularını kapsamaktadır.

Arşiv videolarındaki kırpışma etkisi, sahnenin kendisinde olmayan fakat film yaşlanması, pozlama zamanındaki farklılıklar, ortamın ışıklılık miktarındaki değışim, pislik ve kimyasal bozulmalar gibi etkenlerden dolayı videoda gözlenen ani ve düzensiz ışıklılık değışimleridir. Kırpışma etkisi, arşiv videolarda sıklıkla rastlanan bozulmalardan biri olmasının yanında, görsel kalitenin büyük ölçüde bozulmasına neden olduğu ve diğer onarım işlemlerinin performansını düşürdüğü için arşiv videolardan öncelikle arındırılması gereken bir bozulmadır.

Kırpışma etkisinin giderilmesi için ardışıl çerçevelerin her birinin yerel ortalama değerlerinin yumuşatılması ve histogramlarının normalize edilmesi [1]'de önerilmektedir. Fakat bu yöntem kırpışma etkisinin giderilmesi için genel bir çözüm üretememektedir. [2]'deki çalışmada kırpışma etkisi bütünsel olarak ele alınmış ve kırpışma etkisinin giderilmesi için o anki çerçevenin histogramının, bütünsel histogram dönüşümü ile komşu çerçevelerin histogramlarının ortalamasına eşlenmesi önerilmiştir. Yöntem, bütünsel dönüştürmeden dolayı yerel kırpışma etkisi ve bozulma durumlarında kötü sonuç vermektedir. [2]'deki bütünsel doğrusal olmayan modeli, eğriler aradeğerleyerek uzamsal değışimlerle birleştiren ve imge ışıklılık değerlerinin yerel birleşik dağılımına bağlı olarak sapıklık (yerel hareket ve kayıp verilerden kaynaklanan) ayırma tekniği kullanan yeni bir yöntem [3]'de önerilmektedir. [3]'de önerilen yöntemin getirdiği yenilik, orjinal imge çerçeveleri arasındaki ışıklılık değışimlerinin kırpışmasız referans imgeye gerek duyulmadan yumuşatılmasıdır. Kırpışma etkisinin giderilmesi için uzamsal farklılığı gözönünde bulunduran farklı bir yöntem [4]'de önerilmektedir. Yöntemde imge çerçeveleri örtüşen bloklara ayrılmakta, her bir blok için en küçük kareler yöntemi kullanılarak kazanç ve ofset değerleri kestirilip doğrusal model ile kırpışma etkisi giderilmeye çalışılmaktadır. [4]'deki yöntem kırpışma etkisini düzeltebilmek için kırpışma etkisi bulunmayan orjinal bir referans çerçeveye ihtiyaç duymaktadır. Yöntemin çalışması sırasında sürekli kırpışmasız çerçeveye gereksinim olduğundan, bir önceki düzeltilmiş çerçeve referans çerçeve olarak kullanılmaktadır. Bu durumda, başlangıçtaki çerçeveye bağlı olarak hata artabileceğinden bir unutmaya faktörü kullanılmakta ve düzeltilen çerçeve ile orjinal çerçeve arasındaki ilişki korunmaya çalışılmaktadır. Yerel hareket ve eşleşmeyen blok etkilerini azaltmak için, örtüşen kısımlarında aşırı farklılık gösteren bloklar hareket algılayıcısı ile algılanmakta ve bu bloklara ait parametreler komşu blok değerlerinden successive over-relaxion (SOR) yöntemi ile ara değerlendirilerek elde edilmektedir. Aşırı yerel hareket, kamera yakınlaştırma-uzaklaştırma etkisi ve dönme gibi durumlar için

hareket algılayıcısı imge çerçevesinin büyük kısmı için hareket algılamakta, bu durumda sistem çalışmamakta ve kırpışma etkisi giderilememektedir. [4]'deki kırpışma modelini kullanan iki aşamalı kırpışma giderme yöntemi [5]'de önerilmektedir. [5]'deki yöntemde öncelikle bozuk imge çerçevesi uzamsal sabit düzeltme parametreleri ile düzeltilmekte (bütünsel düzeltme), daha sonra katsayıları gürbüz bağlanım ile kestirilen ikinci dereceden polinom kullanılarak uzamsal değişken düzeltme parametreleri elde edilmekte ve bu düzeltme parametreleri ile son düzeltim yapılmaktadır. Hurter-Driffield Yoğunluğunun logaritmik pozlandırmaya karşı karakteristiğini (Hurter-Driffield Density versus log Exposure characteristic) hesaba katarak pozlandırma düzensizliğinden kaynaklanan kırpışma etkisini kestiren doğrusal olmayan kırpışma düzeltme modeli [6]'da önerilmektedir. Çalışmada, kırpışmanın her bir piksel seviyesi için aynı değerde değişmeye neden olduğu varsayılmakta ve kırpışmanın uzamsal değişkenliği hesaba katılmamaktadır. [6]'daki yaklaşımda her bir ışıklılık seviyesi için imge çerçeveleri arasındaki fark histogramının en büyük değerleri bulunmakta ve bu değerlere üçüncü dereceden polinom uydurularak her bir ışıklılık seviyesi için kırpışmadan kaynaklanan farklılık bulunmaktadır. Her bir ışıklılık seviyesi için bulunan hatanın, düzeltilecek imgenin ilişkin ışıklılık seviyelerinden çıkartılması ile kırpışma giderilmeye çalışılmaktadır. Yöntem, yerel hareket, uzamsal değişim kırpışma etkisi durumlarına karşı dayanıksız olup, düzeltim için kırpışma etkisi gözlenmeyen referans çerçeveye gereksinim duymaktadır. Yöntemin diğer bir eksikliği ise imge çerçevelerinde tanımlanmamış ışıklılık seviyesi olduğunda (örneğin; sıkıştırılmadan kaynaklanan) polinom uydurma işleminin kötü sonuçlar vermesi, bu durumda sistemin kırpışma etkisini gideremeyip kararsız çalışmasıdır.

Bu çalışmada, [4]'da önerilen doğrusal kırpışma modelini kullanan ve referans imge çerçevesi gerektirmeyen yeni bir yöntem önerilmektedir. Kırpışma giderme, bütünsel ve yerel düzeltme olmak üzere iki aşamalı yapılmaktadır. Yerel düzeltme kısmında elde edilen kazanç ve fark kırpışma parametreleri yerel hareket hesaba katılarak güncellenmekte ve son düzeltme işlemi yapılarak kırpışma giderilmektedir.

2. Önerilen Yöntem

Kırpışma etkisini giderme için önerilen yöntemler genellikle orjinal imge çerçevesinin ortalama ve değışinti değerlerini referans çerçevenin değerlerine bağılı olarak düzeltmektedir. Bu çalışmada, düzeltme için kırpışmasız referans çerçevenin ortalama ve değışinti değerlerini kullanmak yerine, imge çerçevelerinin ortalama ve değışinti değerlerinin zamansal alçak geçiren süzgeçten geçirilmesi ile elde edilen değerler kullanılmaktadır. Yöntemde öncelikle sahne boyunca imgelerin ortalama ve değışinti değerleri hesaplanmakta ve bu değerler zamansal olarak alçak geçiren süzgeçten geçirilerek kırpışma parametreleri bulunmakta, aynı zamanda orjinal ve süzgeçlenmiş çerçeve ortalama değerlerinden kırpışma derecesi çıkartılmaktadır. Bulunan kırpışma parametreleri kullanılarak doğrusal düzeltme modeli ile bütünsel ön düzeltme işlemi yapılmaktadır. Sonraki adımda, kırpışma etkisine karşı gürbüz olan faz korelasyonu [7] kullanılarak bütünsel hareket hesaplanmakta ve bu hareket gözönünde bulundurulularak blok çerçeve ortalama ve değışinti değerleri zamansal olarak alçak geçiren süzgeçten geçirilmektedir. Her bir çerçeve için ön-düzeltilmiş ve zamansal süzgeçlenmiş

çerçeve blok ortalama ve değışinti değerleri kullanılarak kırpışma parametreleri çıkartılmaktadır. Ortalama ve değışinti değerlerine bağılı olarak elde edilen kazanç ve fark kırpışma parametreleri sırasıyla değışinti bilgisine bağılı çalışan bir fonksiyon ve SOR temelli bir yumuşatma işlemi ile güncellenmektedir. Son olarak, her bir imge çerçevesi için elde edilen blok kırpışma parametreleri Bicubic aradeğerleme ile orjinal imge piksel boyutuna üst örneklenerek, ön düzeltme kısmında da uygulanan doğrusal model kullanılarak piksel temelli son düzeltme işlemi yapılmaktadır.

2.1. Kırpışma Modeli

Önerilen yöntemde kırpışma modeli olarak [4]'de tanımlanan uzamsal model temel alınmaktadır. Bu çalışmada kırpışma aşağıdaki formülle modellenmektedir.

$$I_f(x, y, t) = \alpha(x, y, t) \times I_o(x, y, t) + \beta(x, y, t) \quad (1)$$

Bu eşitlikte x ve y uzamsal koordinatları, t çerçeve numarasını, I_f kırpışma etkisinin gözleendiği orjinal imgeyi, I_o kırpışmasız referans imge çerçevesini göstermektedir. α ve β sırasıyla kırpışmaya neden olan çarpımsal ve toplamsal parametrelerdir. İdeal durumda kırpışma yok iken her bir piksel için $\alpha = 1$ ve $\beta = 0$ 'dır. (1)'deki denklem kullanılarak orjinal imge çerçevesinden α ve β parametrelerine bağılı olarak kırpışmasız imge aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

$$\hat{I}_o(x, y, t) = (I_f(x, y, t) - \beta(x, y, t)) / \alpha(x, y, t) \quad (2)$$

Burada \hat{I}_o kırpışma etkisi giderilmiş imgeyi göstermektedir. İmge çerçevesi için α ve β kırpışma parametreleri [6]'da önerilen model parametrelerinden çekilerek aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\alpha(t) = \sqrt{\frac{\text{var}[I_f(t)]}{\text{var}[I_o(t)]}} \quad (3)$$

$$\beta(t) = E[I_f(t) - \alpha(t)E[I_o(t)]] \quad (4)$$

2.2. Ön Düzeltme

Kırpışma etkisinin azaltılması için yöntemde öncelikle bütünsel kırpışma düzeltmesi yapılmaktadır. Sahne içerisindeki bütün imge çerçeveleri için ortalama ve değışinti değerleri zamansal alçak geçiren süzgeçten geçirilerek hedeflenen ortalama ve değışinti değerleri elde edilmektedir. Her bir imge çerçevesi için (3) ve (4) kullanılarak birer α ve β kırpışma parametresi elde edilmekte ve (2)'deki doğrusal düzeltme modeli kullanılarak bütünsel ön düzeltme yapılmaktadır. Ön düzeltme ile bütünsel etki gösteren kırpışmaların giderilmesi, yerel etki gösteren kırpışma etkisinin de azaltılması amaçlanmaktadır. Zamansal alçak geçiren süzgeç için (5)'de verilen basit bir özyineli ortalama alan süzgeç kullanılmaktadır. Sahne başında ya da sonunda kırpışma etkisinin olabileceği gözönünde bulundurulularak, bu durumda da etkin düzeltme yapılabilmesi için kullanılan süzgece simetrik dolgulama özelliği eklenmiştir.

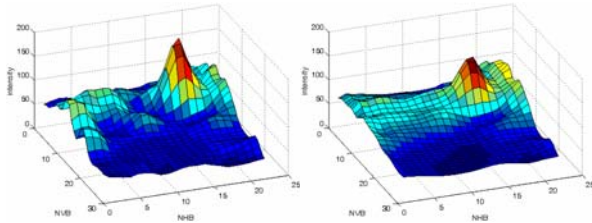
$$y(t) = [x(t-1) + 2x(t) + x(t+1)]/4 \quad (5)$$

Orjinal ortalama değerleri aynı zamanda kırpışma derecesinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Kırpışma derecesini (KD) ıkartmak için (5)'de verilen kayan pencere ($2w-1$ uzunluğunda) yapı kullanılmaktadır.

$$KD(t) = \left\{ \frac{1}{2w+1} \sum_{n=t-w}^{t+w} E[I_f(n)] \right\} - E[I_f(t)] \quad (6)$$

2.3. Yerel Düzeltme

Kırpışma etkisi genellikle yerel olarak değişkenlik gösterdiğinden, bu etkinin giderilebilmesi için yerel düzeltme yapılması gerekmektedir. Bu amaçla çalışmada blok temelli bir düzeltme yöntemi önerilmektedir. Öncelikle genel ön düzeltmeden geçirilen imge çerçeveleri $M \times M$ boyutlarında örtüşmeyen bloklara ayrılmakta ve her bir blok için ortalama ve değişinti değerleri sırası ile ilgili blokları kapsayan $3M \times 3M$ boyutlarındaki makro blokların ortalama ve değişinti değerleri ile belirlenmektedir. Bu sayede bloklar arasındaki ilişki korunmaya çalışılmaktadır. Her bir imge erevesi için bütünsel hareket hesaba katılarak elde edilen blok ortalama ve değişinti değerleri, ön düzeltme işleminde de kullanılan alçak geçiren süzgeç ile süzgelenerek her bir imge erevesi için hedeflenen ortalama ve değişinti değerleri elde edilmektedir. "Mount" videosu 1982. ereve için orjinal ve zamansal süzgeçlenmiş blok ortalama değerleri şekil 1'de görülmektedir.



şekil 1: "Mount" videosu 1982. ereve için orjinal ve zamansal süzgeçlenmiş blok ortalama değerleri.

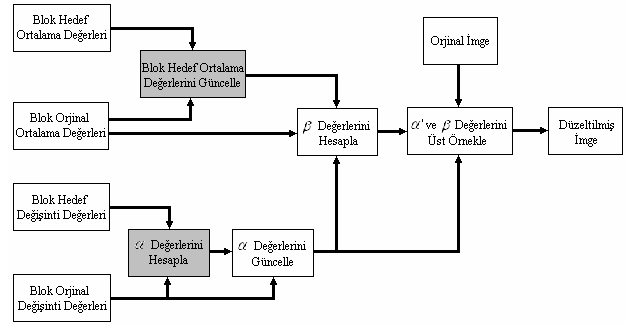
şekil 1'den de görüldüğü gibi ortalama değerlerinin zamansal süzgeçlenmesi ve blok ortalama ve değişinti değerlerinin makro bloklardan alınması hedef ortalama değerlerin yumuşamasına neden olmaktadır. Hedef ortalama ve değişinti değerlerindeki makro bloklarla çalışmadan kaynaklan yumuşamayı telafi edecek ve yerel hareketin etkisini gözönünde bulunduracak biçimde kırpışma parametrelerinin düzenlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla önerilen kırpışma düzeltme sisteminin genel yapısı şekil 2'de verilmektedir.

α değerleri oransal, β değerleri ise farksal değerler olduklarından, bu değerlerin güncellenmesinde farklı iki işlem uygulanmaktadır. α değerleri önce hedef blok değişinti değerlerine bağlı olarak hesaplanmakta, daha sonra (6)'daki fonksiyon kullanılarak güncellenmektedir.

$$\alpha'(m, n, t) = (1 - \alpha(m, n, t)) \times \sqrt{1 - \frac{\sigma_f(m, n, t)}{\max(\sigma_f(:, :, t))}} + \alpha(m, n, t) \quad (7)$$

Bu eşitlikte m ve n bloğa ilişkin parametrelerin konumunu, σ_f orjinal imge blok standart sapmasını, α' ise düzeltilen α değerlerini belirtmektedir. Yapılan bu güncelleme ile değişintinin düşük olduğu bölgelerde α değeri "1" e yakın tutulmakta, değişintinin yüksek olduğu bölgelerde ise α' 'nin yüksek değerlerine belirli ölçüde izin verilmektedir.

Hedef ortalama değerleri, SOR temelli basit bir yöntem ile güncellenmekte ve α' ile güncellenen hedef ortalama değerlere bağlı olarak β değerleri elde edilmektedir. Bu işlemde her bir imge erevesi için orjinal ortalama değerleri ile hedef ortalama değerlerinin farkı alınmakta, bu fark SOR temelli basit bir yumuşatma yöntemi ile yumuşatılmakta ve bu fark değerleri orjinal ortalama değerlerinden çıkartılarak güncelleme yapılmaktadır. Burada yumuşatma derecesi, kırpışma derecesine (KD) bağlı olarak belirlenmektedir. Daha sonra α' ve β değerleri Bicubic aradeğerleme ile orjinal imgenin piksel boyutuna üst örnekleme ve (2)'deki eşitlik kullanılarak piksel bazında düzeltme geerleştirilmektedir.

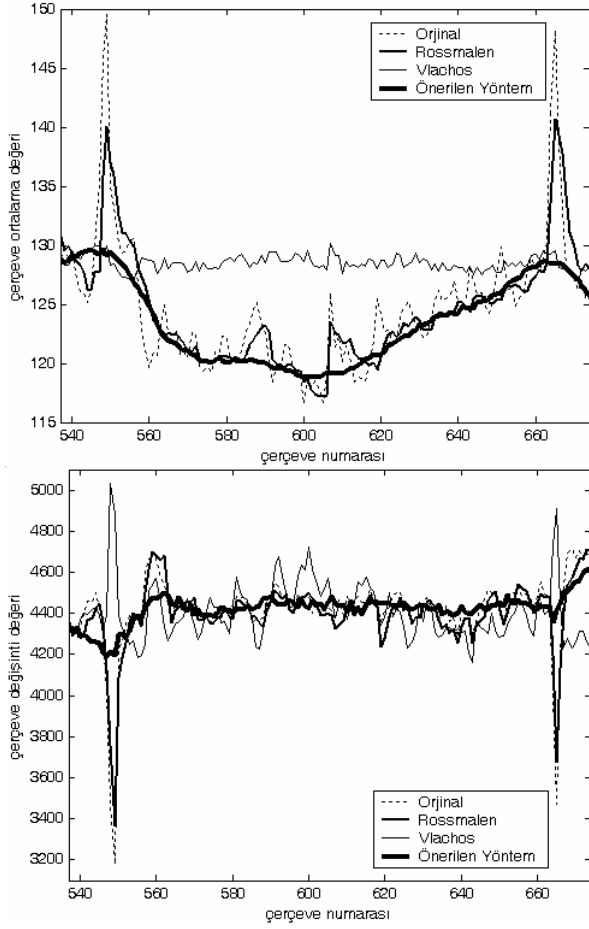


şekil 2: Kırpışma düzeltme sisteminin blok yapısı.

3. Deneysel Sonuçlar

Kırpışma düzeltme yöntemlerinin performans karşılaştırması için halen kesin bir metrik olmamasına rağmen [2, 4, 5]'deki çalışmalarda görüntü dizisi için orjinal ve düzeltilmiş imge çerçevesinin ortalama ve değişinti değerlerine bakılmakta, [3]'deki çalışmada ise ek olarak MPEG-4 video sıkıştırma performansları karşılaştırılmaktadır. İlk metrik yöntemlerin görsel düzeltme performansları hakkında kesin bilgi vermemekte, video sıkıştırma performansı bu bağlamda daha iyi fikir vermektedir. Önerilen yöntem "Mount" arşiv videosunun kırpışmaya ek olarak kir, çizik ve gürültü içeren, durağan ve hareketli sahneleri için denemiştir. "Kule" sahnesi için önerilen yöntemin düzelttiği görüntü dizisi için ortalama ve değişinti değerleri ile Vlachos [6] ve Rossmalen ve diğ. [4] tarafından önerilen yöntemlerin sonuçları karşılaştırmalı olarak şekil 3'de verilmektedir.

şekil 3' den de görüldüğü üzere önerilen yöntem kırpışma etkisinin görüldüğü bölgelerde genel dinamiği korumakta ve diğer yöntemlerden daha iyi sonuçlar vermektedir. [4]'Kırpışma etkisi giderilmiş görüntülerin MPEG-4 sıkıştırma (Microsoft kodlayıcı kullanılarak) performansına etkisini gösterir sonuçlar Tablo 1'de verilmektedir.



Şekil 3: “Mount” videosu “Kule” sahnesi için ortalama ve değışinti değerlerinin karşılaştırılması.

Tablo 1: Kırpışma etkisinin giderilmesinin sıkıştırma performansına etkisi.

Sahne\Yöntem	Önerilen Yöntem (%)	Rossmalen [4] (%)	Vlachos [6] (%)
Kule	7.17	3.74	-18.07
Tren1	8.47	6.35	-5.82
Tren2	3.73	2.24	-21.64
Ortalama	6.46	4.11	-15.18

Videoların sıkıştırma oranları incelendiğinde önerilen yöntemle elde edilen sonuçların [4] ve [6]’deki yöntemlere göre daha yüksek sıkıştırılabilirliğe sahip olduğu görülmektedir.

4. Sonuç

Bu çalışmada, arşiv filmlerindeki kırpışma etkisinin giderilmesi için sağlam referans çerçeveye ihtiyaç duymayan özgün bir yöntem önerilmektedir. Önerilen yöntemde öncelikle sahne boyunca imgelerin ortalama ve değışinti değerleri hesaplanmakta ve bu değerler zamansal olarak alçak geçiren süzgeçten geçirilerek kırpışma parametreleri bulunmaktadır. Bulunan parametreler kullanılarak doğrusal bir düzeltme modeli ile bütünsel ön düzeltme işlemi yapılmaktadır. Yerel kırpışma giderme için bütünsel hareket gözünde bulundurularak çerçeve yerel ortalama ve değışinti

değerleri zamansal olarak alçak geçiren süzgeçten geçirilmektedir. Her bir çerçeve için ön-düzeltilmiş ve zamansal süzgeçlenmiş yerel ortalama ve değışinti değerleri kullanılarak yerel kırpışma parametreleri çıkartılmaktadır. İmge çerçeveleri için elde edilen yerel kırpışma parametreleri aradeğerleme ile piksel boyutuna üst örneklendirilerek, ön düzeltme kısmında da uygulanan doğrusal model kullanılarak son düzeltme işlemi piksel temelli yapılmaktadır. Önerilen yöntem çok sayıda arşiv videosu için denenmiş ve elde edilen sonuçlar geçmişteki yöntemler ile karşılaştırılmış olup, önerilen yöntemin diğer yöntemlerden daha iyi sonuçlar verdiği ve yüksek başarımlı sağladığı görülmüştür.

5. Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, TÜBİTAK tarafından EEEAG103E007 nolu araştırma projesi kapsamında desteklenmiştir.

Çalışmada kullanılan arşiv videosu (Mount Tamalpais Gravity Railroad - 1917) Open Video Project (<http://www.open-video.org>)’den sağlanmıştır.

6. Kaynakça

- [1] P. Richardson, and D. Suter, “Restoration of historic film for digital compression: a case study,” in Proc. of the International Conference on Image Processing (ICIP-1995), pp. 49-52, May 1995.
- [2] V. Naranjo, and A. Albiol, “Flicker reduction in old films,” In Proc. of the International Conference on Image Processing (ICIP-2000), pp. 1300-1303, Sep. 2000.
- [3] F. Pitié, R. Dahyot, F. Kelly, and A.C. Kokaram, “A New Robust Technique for Stabilizing Brightness Fluctuations in Image Sequences,” 2nd Workshop on Statistical Methods in Video Processing in conjunction with ECCV 2004 Prague, Czech Republic, May 16, 2004.
- [4] P.M.B. van Roosmalen, R.L. Lagendijk, and J. Biemond, “Correction of intensity flicker in old film sequences,” IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 9, No. 7, pp. 1013–1019, Oct. 1999.
- [5] T. Ohuchi, T. Seto, T. Komatsu, and T. Saito, “A robust method of image flicker correction for heavily-corrupted old film sequences,” in Proc. of the International Conference on Image Processing (ICIP-2000), pp. 672-675 Sep. 2000.
- [6] T. Vlachos, “Flicker Correction for Archived Film Sequences Using a Nonlinear Model,” IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 14, No. 4, pp. 508-516, April 2004.
- [7] A. M. Tekalp, Digital Video Processing. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1995.