

Kısıtlanmış Bir-Bit Dönüşümü, Seyrek Arama Noktaları ve Kısmi Hata Araması Kullanarak Hızlı Görüntü Stabilizasyonu

Fast Digital Image Stabilization using Constrained One-Bit Transform, Sparse Search Points, and Partial Distortion Search

Oğuzhan Urhan

Kocaeli Üniversitesi İşaret ve Görüntü İşleme Laboratuvarı - KULİS
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Kocaeli Üniversitesi
urhano@kou.edu.tr

Özetçe

Bu çalışmada, iki-boyutlu tam arama temelli sayısal görüntü stabilizasyonu işlemini hızlandırmak için bazı iyileştirmeler önerilmektedir. Öncelikle, hesapsal yükü azaltmak amacıyla kısıtlanmış bir-bit dönüşümü temelli stabilizasyon yaklaşımında kullanılan çekirdek değiştirilmiştir. Sonrasında, bir seyrek arama yaklaşımının kullanılması ele alınmıştır. Son olarak, kısmi hata arama yaklaşımı dairesel arama yöntemi ile birleştirilmiştir. Deneyler benzer başarımın 10-20 kata kadar daha düşük hesapsal karmaşıklıkla elde edildiğini göstermektedir.

Abstract

Several improvements are proposed to speed-up the two dimensional full search based digital image sequence stabilization process in this work. Firstly, the kernel used in the constrained one-bit transform based stabilization approach is modified to reduce the computational load. Next, the utilization of a sparse search point approach is investigated. Finally, a partial distortion search approach using spiral scanning combined with a sparse search point approach. Experiments show 10 to 20 times reduction of computational complexity without much decrease in the performance.

1. Giriş

Sayısal görüntü stabilizasyonu sistemi el-kameraları (camcorder) ve yeni nesil mobil telefonlar gibi video kayıt özelliği taşıyan cihazlarının vazgeçilmez bir parçasıdır [1]. Bunun temel nedeni ise, yapılan çekimler sırasında görüntünün maruz kaldığı istenmeyen titreşimlerin kayıt sırasında giderilmesinin istenmesidir. Bu istenmeyen titreşimler, bir yakın çekim sırasında kameramanın elinin titreşmesi veya hareketli bir araç/platformdan çekim yapılması sırasında meydana gelebilir. Sayısal görüntü stabilizasyonu sisteminin temel amacı kasıtlı kamera hareketlerini korurken istenmeyen kamera hareketlerini bastırmaktır. Bu amaçla geliştirilen stabilizasyon sistemleri hareket kestirim ve düzeltim sistemi olmak üzere genellikle iki temel kısımdan oluşmaktadır. Cihazın bütünsel hareketi, hareket kestirim sistemi tarafından tespit edilirken; stabilizasyon işlemi, hareket düzeltim sistemi tarafından gerçekleştirilmektedir. Hareket düzeltim sistemi genellikle daha düşük işlem yüküne sahiptir ve [2-4]'de önerilene benzer yaklaşımlar iyi sonuçlar

vermektedir. Diğer taraftan hareket kestirim sisteminin işlem yükü göreceli olarak oldukça fazladır. Bütünsel hareketin doğru tespiti düzeltme sisteminin başarımını da etkileyeceği için oldukça önemlidir. Bütünsel hareket kestirimi amacıyla görece düşük hesapsal yükü nedeniyle iki-boyutlu hareket kestirim yaklaşımları kullanılarak cihazın hareketi bir öteleme hareketi şeklinde ele alınır. Ancak doğrudan imge uzayında tam arama temelli blok uyulmaması kullanılarak gerçekleştirilecek iki-boyutlu hareket kestirimi işleminin hesapsal yükü taşınabilir düşük güç kapasiteli cihazlar için uygun değildir.

[5-7]'de imge çerçevelerinin düşük bit derinliğindeki gösterimleri bütünsel hareket kestirimi için kullanılarak hareket kestirim sisteminin işlem yükü düşürülmüştür. Gray-kodlanmış bit-uzaylarının uyumlanması temelli [5]'de önerilen yaklaşım, doğrudan bit-uzayı uyumlamasına göre daha iyi bir başarımla sağlamaktadır. Dört alt imge kullanan bir-bit dönüşümü temelli bir hareket kestirim sistemi [6]'da önerilmektedir. Bir-bit temelli bu yaklaşım gray-kodlanmış bit uzaylarının uyumlanması yaklaşımına göre oldukça iyi başarımla göstermiştir. Yakın geçmişte önerilen kısıtlanmış bir-bit dönüşümü temelli hareket kestirimi yaklaşımı [7], bir-bit dönüşümü temelli yaklaşımın önemli noksanlıklarını gidererek, hareket kestirim başarımını artırmıştır. Bu yaklaşımla, bir-bit dönüşümünün yapısından kaynaklanan yakın değerli piksellerin yanlış sınıflanmasının yarattığı olumsuz etki bir kısıtlama maskesi aracılığı ile giderilmeye çalışılmıştır. [7]'deki çalışmada ayrıca stabilizasyon amaçlı dört küçük alt-imge kullanılması yerine, bu dört alt-imgenin toplam büyüklüğünde tek bir alt-imgenin kullanılması önerilmektedir. Böylelikle, dört alt-imgeden gelen hareket vektörlerinin hatalı yorumlanmasının önüne geçilmektedir. Yöntemde yapılan bu iyileştirmelere rağmen kullanılan tam arama temelli blok uyulmaması yaklaşımı nedeni ile hesapsal karmaşıklık hala yüksek seviyededir.

Bu çalışmada, [7]'de önerilen kısıtlanmış bir-bit dönüşümü temelli hareket kestirimi yaklaşımının hesapsal yükünü başarımda fazla bir kayba neden olmadan düşürecek yaklaşımlar önerilmektedir. Öncelikle, kısıtlanmış bir-bit dönüşümünde kullanılan çekirdek değiştirilerek ikili bir-bit imgelerin daha hızlı/daha düşük hesapsal karmaşıklıkla elde edilmesi sağlanmıştır. Sonrasında, düzenli bir seyrek arama yaklaşımı ile dairesel arama kullanan kısmi hata uyulması yaklaşımı birleştirilerek hareket kestirim sisteminin daha da hızlı çalışması sağlanmıştır. Çalışmada kullanılan bu yaklaşımlar yöntemin başarımında göz ardı edilebilir bir

kayba neden olurken, hesapsal yükte önemli miktarda düşüş sağlanmaktadır.

İleriki bölümlerde, öncelikle bir-bit ve kısıtlanmış bir-bit temelli hareket kestirim yaklaşımları temelli hareket kestirim sistemleri ele alınacak, sonrasında bu çalışmada kullanılması önerilen yaklaşımların detayları açıklanıp, son olarak deneysel sonuçlarla önerilen yöntemin başarımı nesnel olarak değerlendirilecektir.

2. Bir-Bit ve Kısıtlanmış Bir-Bit Dönüşümü Temelli Hareket Kestirimi

Bir-bit dönüşümü temelli hareket kestirimi yaklaşımında imge çerçevesi öncelikle çoklu bant-geçiren bir süzgeçten geçirilmektedir. Sonrasında, orijinal ve süzgeçlenmiş imge çerçeveleri karşılaştırılarak orijinal piksel değerinin süzgeçlenmiş değerden büyük olması durumunda çıkış imgesinin ilgili pikseline "1" aksi takdirde "0" atanmaktadır. Bu şekilde ikili imge elde edildikten sonra, uyumsuz noktaların sayısı (number of non-matching points - NNMP) ölçütü (1)'deki gibi hesaplanarak blok uyulmaması hata ölçütü olarak kullanılmaktadır.

$$NNMP(m, n) = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} \{B^t(i, j) \oplus B^{t-1}(i+m, j+n)\}, \quad (1)$$

$$-s \leq m, n \leq s$$

(1)'de (m, n) , aday hareket vektörünü; s , arama bölgesinin büyüklüğünü; \oplus ise ÖZEL-VEYA (Exclusive OR - XOR) işlemini göstermektedir. NNMP ölçütü, ÖZEL-VEYA işlemini kullandığı için imge uzayında kullanılan ortalama mutlak fark (mean absolute error - MAD) gibi ölçütlerden özellikle donanımsal uygulamalar söz konusu olduğunda daha hızlı hesaplanabilir.

[6]'da önerilen görüntü stabilizasyonu yaklaşımı yukarıda açıklanan bir-bit dönüşümü temelli yapıyı dört alt-imge üzerinde kullanmaktadır. Böylelikle alt-imageler sayesinde işlem yükünün düşmesi sağlanmıştır. Ancak, o anki çerçevenin bütünsel hareket vektörünün, dört alt-imge ve önceki çerçevenin hareket vektörünün ortanca değeri (median) alınarak hesaplanması nedeniyle yerel hareketler gibi etkenlerden dolayı ortanca süzgecin yetersiz kalması söz konusudur. Bu gibi durumlarda, bulunan hareket vektörünün doğruluğu azalmaktadır. Ayrıca, [6]'da önerilen yaklaşımda kullanılan çoklu bant-geçiren süzgeç çekirdeği (kernel) 25 adet "1" içerdiğinden, ikili imgeyi elde ederken normalizasyon aşamasında tam sayılı işlemlere nazaran daha yüksek işlem yüküne sahip kayan noktalı işlemlere (floating point operations) gereksinim duyulmaktadır. [7]'de önerilen kısıtlanmış bir-bit dönüşümü temelli görüntü stabilizasyonu yaklaşımı temelde bu sorunlara çözümler önermektedir.

Kısıtlanmış bir-bit dönüşümü temelli hareket kestirim yaklaşımı, dönüşümde kullanılan eşik değere yakın pikselleri izole ederek arama işlemine dâhil etmemektedir. Bu amaçla (2)'deki gibi bir kısıtlama maskesi oluşturulmaktadır.

$$CM(i, j) = \begin{cases} 1, & \text{if } |I(i, j) - I_F(i, j)| \geq D \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

Öyle ki, bir pikselin kısıtlama maskesindeki değeri (constrain mask - CM) ancak o pikselin değeri dönüşüm eşliğinden D kadar uzakta ise "1" olacaktır. Böylelikle dönüşüm eşliğine yakın piksellerin farklı sınıflara atılması engellenerek, sadece güvenilir piksellerin arama işlemine katılması sağlanmış olur [7]. (2)'deki I ve I_F , sırasıyla orijinal ve süzgeçlenmiş imge çerçevelerini göstermektedir. Kısıtlama maskesini hata ölçütü hesabına katmak için [7]'de kısıtlanmış uyumsuz noktaların sayısı (constrained number of non-matching points - CNNMP) ölçütü aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$CNNMP(m, n) = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} \left[\left[CM^t(i, j) \parallel CM^{t-1}(i+m, j+n) \right] \right] \odot \left[B^t(i, j) \oplus B^{t-1}(i+m, j+n) \right], \quad (3)$$

$$-s \leq m, n \leq s-1$$

Burada \parallel ikili VEYA işlemini gösterirken, \odot ikili VE işlemini göstermektedir.

Kısıtlanmış bir-bit temelli görüntü stabilizasyonu yaklaşımında önerilen diğer bir geliştirme ise süzgeçleme aşamasında kullanılan süzgecin değiştirilmesidir. Kullanılan yeni süzgeçte sadece 8 adet "1" katsayısı bulunmaktadır. Böylelikle, süzgeçleme aşamasında her bir piksel için 8 adet toplama ve bir adet kaydırma işlemi yeterli olmaktadır. [6]'da önerilen yöntemde süzgeçleme için gerekli normalizasyon kayan noktalı ve görece olarak yüksek hesapsal karmaşıklığa sahip işlemler gerektirirken, [7]'deki yaklaşımla bölme işlemi yerine aritmetik kaydırma işlemi ($8, 2$ 'nin 3. dereceden kuvveti olduğunu için) kullanılarak hesapsal yük azaltılmaktadır. [6]'da önerilen yöntemde ayrıca dört alt-imge yerine, bu dört alt-imagenin toplam boyutunda tek bir alt-imge kullanılarak ortanca süzgecin yol açabileceği sorunlarında üstesinden gelinmiştir.

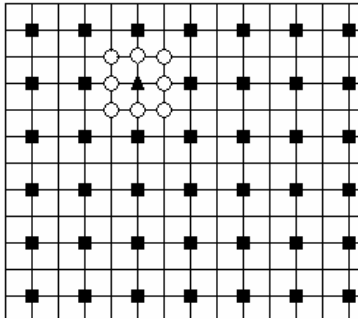
3. Önerilen Yöntem

Bu çalışmada sunulan yaklaşım [7]'de önerilen kısıtlanmış bir-bit temelli görüntü stabilizasyonu yöntemine üç iyileştirme getirmektedir. Öncelikli süzgeçleme işleminde kullanılan çekirdek (4)'deki şekle getirilmiştir.

$$K = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Önerilen bu yeni çekirdek, öncekilerle benzer biçimde bant-geçiren bir yapı sağlarken, sadece dört tane sıfırdan farklı bileşen içerdiğinden süzgeçleme işleminde her bir piksel için dört adet toplama ve bir adet kaydırma işlemi gerekmektedir. Bütün bu işlemler tamsayı aritmetiği ile gerçekleştirilebilmektedir. Süzgeçleme işleminde gerekli toplama işlemi sayısı [7]'de önerilen yöntemde göre yarıya indiğinden, şimdi ikili imgeleri daha az hesapsal karmaşıklıkla elde etmek mümkündür. Önerilen çekirdeğin stabilizasyon başarımına etkisi deneysel sonuçlar kısmında ele alınacaktır.

Bu çalışmada getirilen diğer bir yenilik ise, tam arama yaklaşımı yerine seyrek bir arama yaklaşımının stabilizasyon amaçlı bir-bit temelli yöntemler ile kullanılmasıdır. [8-9]'da standart blok uyumlaması için kullanılan bu yaklaşım, bu çalışmada görüntü stabilizasyonuna uygulanmıştır. Bir-bit ve kısıtlanmış bir-bit temelli stabilizasyon yaklaşımlarında $s=32$ seçildiği zaman, her iki yöntemde $65 \times 65 = 4225$ noktanın kontrolünü gerektirmektedir. Bu arama noktalarının sayısı, bir seyrek arama noktası yaklaşımı kullanılarak basitçe azaltılabilir. Bu çalışmada, öncelikle çift sayılı arama noktalarının kontrol edilmesi ve sonrasında bu aşamada en iyi sonucu veren adayın etrafında 8 noktada yapılacak ikinci bir arama işlemi ile arama noktası sayısının azaltılması önerilmektedir. Bu yaklaşım Şekil 1'de gösterilmektedir. Koyu dolgulu noktalar ilk aşamada aranan bölgeleri gösterirken, üçgenin bulunduğu noktanın ilk aşamada en küçük hatayı veren nokta olduğunu varsayalım. İkinci aşamada ise bu üçgen etrafındaki sekiz noktada (çemberler ile gösterilen yerler) arama işlemi yapılmaktadır. Böylelikle $s=32$ için $33 \times 33 + 8 = 1097$ adet arama noktasını kontrol etmek yeterli olacaktır. Bu sayede arama noktası sayısı yaklaşık dört kat azaltılarak, işlem yükünde önemli miktarda düşüş sağlanmaktadır. Deneysel sonuçlar kısmında önerilen bu yaklaşımın [7]'deki yöntemin başarımını düşürmediği gösterilecektir.



Şekil 1: Önerilen iki aşamalı arama yaklaşımı

Hareket kestiriminde yaygın olarak kullanılan kısmi hata araması yaklaşımı bu çalışmada önerilen yaklaşımda da kullanılmıştır. Kısmi hata aramasının temel amacı bir aday vektörün o ana kadar hesaplanan toplam hatasının o blok için hesaplanmış olan en küçük hatadan büyük olması durumunda bu aday blok için daha fazla işlem yapmayarak hesapsal yükü azaltmaktır. Bu amaçla bu çalışmada her bir satırın hatası hesaplandıktan sonra, toplam hata kontrol edilmektedir. Bu çalışmada kısmi hata aramasının etkinliğini artırmak için klasik sıralı tarama (raster scanning) yerine, dairesel tarama (spiral scanning) yaklaşımı tercih edilmiştir. Kısmi hata araması yaklaşımı temelde basit bir hesapsal püf noktası kullandığı için başarımında herhangi bir düşüşe yol açmamaktadır. Deneysel sonuçlar kısmında, dairesel tarama ile birleştirilen kısmi hata araması yaklaşımının toplam işlemsel yükü önemli ölçüde düşürdüğü gösterilecektir.

4. Deneysel Sonuçlar

Sayısal görüntü stabilizasyonu sistemlerinin hareket kestirimi kısmının nesnel başarımı değerlendirmek için genellikle

kareköksel ortalama karesel hata (root mean square error - RMSE) ölçütü kullanılmaktadır. Bu ölçüt;

$$RMSE = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{k=1}^N (x_k - \hat{x}_k)^2 + (y_k - \hat{y}_k)^2} \quad (5)$$

şeklinde tanımlanabilir. Burada (x_k, y_k) ortalama karesel hata ölçütü ile tam arama yapılarak bulunan referans hareket vektörünü gösterirken, (\hat{x}_k, \hat{y}_k) karşılaştırmada kullanılan yöntemle bulunan hareket vektörünü göstermektedir.

Bu çalışmada önerilen yöntem, [6]'da önerilen bir-bit temelli ve [7]'de önerilen kısıtlanmış bir-bit temelli yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Bir-bit temelli yöntemlerin [5]'de önerilen gray-kodlanmış imgelerin bit-uzayı uyulmaması yaklaşımına göre daha yüksek başarımlar sağlanması nedeniyle bu yöntem karşılaştırmaya dâhil edilmemiştir.

Tablo 1: Test dizilerinin bütünsel hareket vektörleri için hata değerleri

Yöntem	RMSE	
	Motorcycle Dizisi	Off-road Dizisi
Sub-1BT, KE=25 [6]	0.1710	0.1377
S-Sub-C-1BT, KE=8 [7]	0.1139	0.0693
S-Sub-C-1BT, KE=4	0.1172	0.0678
S-Sub-C-1BT, KE=4 SSP	0.1143	0.0678

Karşılaştırma amacı ile "Motorcycle" ve "Off-road" görüntü dizileri kullanılmış ve farklı yöntemler için elde edilen RMSE sonuçları Tablo-1'de verilmiştir. Standart dört alt-imgeli bir-bit temelli yaklaşım (Sub-1BT, KE=25) ile gösterilirken, [7]'de önerilen kısıtlanmış bir-bit temelli yaklaşım, (S-Sub-C-1BT, KE=8) ile gösterilmektedir. Kısıtlanmış bir-bit dönüşümü temelli yöntemle, bu çalışmada (4)'de önerilen çekirdek ile elde edilen sonuçlar S-Sub-C-1BT, KE=4 ile gösterilmekte, yeni çekirdek ve seyrek arama ile elde edilen sonuçlar ise S-Sub-C-1BT, KE=4 SSP ile gösterilmektedir. KE kısaltması çekirdekteki sıfırdan farklı eleman sayısını göstermek için kullanılmaktadır. Kısmi hata araması başarımı değiştirmedikleri için değerler tabloda tekrar verilmemiştir. Bu tabloda verilen sonuçlar için (2)'deki $D=22$ olarak deneysel sonuçlar doğrultusunda seçilmiştir.

Tablo 1'de görüldüğü gibi bu çalışmada önerilen ve içerisinde sıfırdan farklı dört eleman bulunan çekirdek [7]'deki sekiz elemanlı çekirdekle benzer başarımlar sağlamaktadır. Böylelikle, her bir piksel için dört adet toplama işleminden kaçınılarak aynı başarımları elde etmek mümkün olmuştur. Dahası, önerilen seyrek arama yaklaşımı aynı şekilde başarımı benzer seviyede tutarak hesapsal yükü önemli ölçüde düşürmüştür. Seyrek arama yaklaşımı kullanılarak, hesapsal yük başarımında bir düşüşe neden olmadan $(65 \times 65) / (33 \times 33 + 8) = 3.8514$ kat azaltılmıştır.

Seyrek arama yaklaşımı, kısmi hata araması yaklaşımı ile birleştirildiği zaman, aynı başarımla hesapsal yükteki toplam düşüş, "Motorcycle" dizisi için 11.8 kat iken, "Off-road" dizisi için 19.5 kattır.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, düşük bit gösterimi kullanan görüntü stabilizasyonu sistemlerinin hareket kestirimi kısmının

hesapsal yükünü düşürmek için çeşitli iyileştirmeler önerilmektedir. Yapılan deneyler, başarımda önemli bir düşüşe neden olmadan kısıtlanmış bir-bit dönüşümü temelli görüntü stabilizasyonu yaklaşımına göre işlem yükünün 10-20 kat azaltılabileceğini göstermiştir. [10]'daki gibi etkin donanımsal tasarımlar ile yöntemin verimli şekilde çalıştırılabileceği düşünülmektedir.

6. Kaynakça

- [1] Ertürk, S., "Digital Image Stabilization with Sub-Image Phase Correlation Based Global Motion Estimation," *IEEE Trans. Consumer Electron.* 49(4):1320-1325, 2003.
- [2] Yaman, E. ve Ertürk, S., "Görüntü Stabilizasyonu için Paralel İşlev Gören İki Kalman Filtresiyle İşlem Gürültü Varyansının Adaptifleştirilmesi", 10. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU'2002) Bildirileri Kitabı, pp. 506-511, Haziran 2002.
- [3] Güllü, M.K. ve Ertürk, S., "Bulanık Süzgeç ile Görüntü Stabilizasyonu", 11. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU'2003) Bildirileri Kitabı, pp. 146-149, Haziran 2003.
- [4] Güllü, M.K. and Ertürk, S., "Membership Function Adaptive Fuzzy Filter for Image Sequence Stabilization," *IEEE Trans. Consumer Electron.*, 50(1):1-7, 2004.
- [5] Ko, S.J., Lee, S.H., Jeon, S.W., and Kang, E.S., "Fast Digital Image Stabilizer Based on Gray-coded Bit-plane Matching," *IEEE Trans. Consumer Electron.*, 45(3):598-603, 1999.
- [6] Yeni, A.A. and Ertürk, S., "Fast Digital Image Stabilization using One Bit Transform Based Sub-Image Motion Estimation," *IEEE Trans. Consumer Electron.*, 51(3):917-921, 2005.
- [7] Urhan, O. and Ertürk, S., "Single Sub-Image Matching based Low Complexity Motion Estimation for Digital Image Stabilization using Constrained One-Bit Transform," *IEEE Trans. Consumer Electron.*, 52(4): 1275-1279, 2006.
- [8] Lee, E.S., Urhan, O., and Chang T.G., "Multiplication-Free One-Bit Transform and Diamond Search Combination for Fast Binary Motion Estimation"15. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU'2007), Haziran 2007.
- [9] Urhan, O., "Constrained One-Bit Transform Based Motion Estimation using Hexagonal Predictive Search", *J. Electron. Imaging*, 16(3), Article ID:033019, 2007.
- [10] Çelebi, A., Urhan, O., Ertürk, S., ve Dündar G., "Kısıtlanmış 1-Bit Dönüşümü Temelli Hareket Kestirimi Algoritmasının FPGA Tabanlı Bir Mimari ile Gerçeklenmesi", 15. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU'2007), Haziran 2007.