

Mikroskopik Görüntüler için İçkin Görüntü Hesaplaması ve Görüntü Bulanıklığının Giderilmesi

Intrinsic Image Estimation and Image Deblurring for Microscopic Images

Eray Doğan Müjdat Çetin

Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi
Sabancı Üniversitesi, İstanbul

eraydogan@su.sabanciuniv.edu

mcetin@sabanciuniv.edu

Özetçe

Mikron düzeydeki görme araştırmalarında kullanılan stereo mikroskoplardan alınan sayısal görüntüler, ölçmek istediğimiz yansıtırlığı doğrudan sağlamaz. Bunun birkaç nedeni vardır: 1) Ölçüm sistemi yansıtırlıkta bulanıklaşmaya yol açar, 2) Ölçtüğümüz görüntü yansıtırlık ile aydınlanmanın bileşkesidir, 3) Toplanan verilerde rasgele gürültü mevcuttur. Biz bu çalışmada stereo mikroskoplar ile ölçülen verilerden yansıtırlık görüntüsünü bulmak için bir yöntem öneriyoruz. Önce ölçülen görüntüyü oluşturan iki içkin görüntüyü, yani yansıtırlık ve aydınlanma bileşenlerini buluyoruz. Ancak buradaki yansıtırlık bileşeni hala bulanıklık ve ölçüm gürültüsü içeriyor. Tikhonov ve kenar koruyan düzenleme yöntemlerini kullanarak bu sorunları gideriyor ve yansıtırlık görüntüsünü kestiriyoruz. Yöntemimizin başarımını gerçek veriler üzerindeki deneysel sonuçlar ile gösteriyoruz.

Abstract

Stereo microscopes used in micron-level vision research do not directly provide the reflectivity field that we would like to measure for a number of reasons: 1) The measurement system causes blurring in reflectivities, 2) The measured image is a composition of reflectivity and illumination, 3) The measured data contain some random noise. In this work, we propose a method for finding the reflectivity image from the measured stereo microscopic data. First, we find the two intrinsic images, reflectivity and illumination, that make up the measured image. However the reflectivity component here still contains blurring and measurement noise. We use Tikhonov and edge-preserving regularization to deal with these problems, and estimate the underlying reflectivity image. We demonstrate the performance of our technique through experimental results on real data.

1. Giriş

Günümüzde mikron/nano düzey sistemler ve mekanizmalar çok popüler araştırma alanları haline geldi. Bu tür çok küçük sistemlerin uygulamalarını gerçekleyebilmek için görme sistemleri en büyük ihtiyaç durumunda. Makro düzeyde tasarlanmış optik sistemler ne yazık ki bahsedilen küçüklükte parçaları ve mekanizmaları görmeye yeterli değil. Mikron düzeyde kullanılan görme sistemlerinin en önemli teçhizatı mikroskoplardır. Bu uygulamalarda genellikle stereo görmeyi sağlayabilmek için stereo mikroskoplar kullanılır. Ancak bu mikroskopların da en büyük problemi, istenilen düzeyde

büyültme sağlayıp, istenilen mikron/nano düzeyindeki yansıtırlığı görebilmek için ışık kaynağının bir yandan güçlü, öte yandan uzamsal bakımdan birörnek olması gereksinimidir. Ayrıca ışık kaynağı görülmek istenen alana çok iyi bir şekilde odaklı olmalıdır. Pratik sistemlerde bunların hepsini sağlamak mümkün olmamaktadır. Odaklamadaki hatalar (başka etkenlerle de birleşerek) bulanıklığa yol açar. Işık yeterince güçlü değilse ölçüm gürültüsü verilere hakim olur, ancak güçlü bir ışık kaynağı ise, mükemmel biçimde sahnenin her yerini birörnek olarak aydınlatmıyorsa, ölçülen verilerin yansıtırlık ve aydınlanma alanlarının bileşkesi olmasına yol açar.

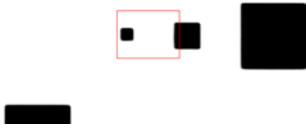
Bu uygulamalarda ve genel olarak bilgisayarla görme problemlerinde, aydınlanma ve yansıtırlık değişimlerinin yarattığı etkileri ayırmak çok önemlidir, çünkü ikisi de neredeyse her gerçek görüntüde mevcuttur ve çoğu görevler ikisinin ayrı olarak değerlendirilmesini gerektirir. Örneğin bir nesnenin bölümlendirilmesi için görüntüdeki aydınlanma etkisinden arındırılması gerekir. Aydınlanma ve yansıtırlık görüntülerine içkin görüntüler denir [1]. İçkin görüntüleri bulmak zor bir problemdir, çünkü bu aslında kötü konumlanmış bir problemdir. Tappen, Freeman and Adelson çalışmalarında [2], sahnedeki her uzamsal türevin ya aydınlanma ya da yansıtırlık yüzünden olduğunu varsayarak gözlemlenen görüntüden aydınlanma ve yansıtırlık görüntülerini ayırdılar. Weiss [3] ise içkin görüntüleri bulmak için yansıtırlığın sabit, aydınlanmanın değiştiği çok sayıda görüntü kullanmayı önerdi. Aydınlanmanın istatistiksel özelliklerini kullanarak içkin görüntüleri kestirmeyi başardı.

Bizim problemimizde içkin görüntüleri bulmak yetmiyor, çünkü yansıtırlık için bulunan içkin görüntü hala bulanıklık ve gürültü taşıyor. Bu tip sorunların giderilmesi için etkili bir yöntem düzenleme değildir. En yaygın düzenleme yöntemi Tikhonov düzenlemesidir [4]. Tikhonov yönteminin bazı sorunlarını gidermeye yönelik daha yeni bir fikir ise kenar koruyan düzenleme [5].

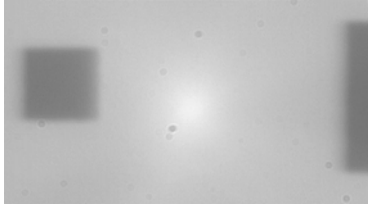
Bizi bu çalışmaya motive eden etken şudur: Mikroskopik araştırmalar için kullandığımız sistem (Şekil 1) üzerinde iki farklı kamera kullanıyoruz. Kameralardan birincisi düşük büyültmeye, dolayısıyla alçak çözünürlüğe sahip, ancak görüntü kalite açısından çok iyi (Şekil 2). Öte yandan ikinci kamera 6.5 kat daha büyük bir büyültmeye ve daha yüksek



Şekil 1 : Bu çalışmada kullanılan mikroskopik görü sistemi.



Şekil 2 : Düşük büyültmeli, alçak çözünürlüğe sahip kameradan alınan görüntü. (Ortadaki dikdörtgen diğer kameranın gördüğü alanı gösterir.)



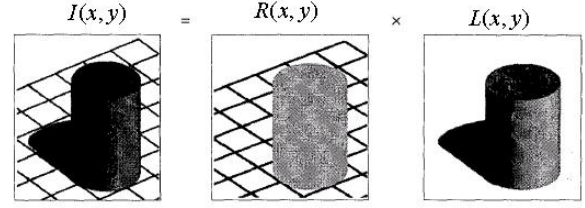
Şekil 3 : Yüksek büyültmeli ve yüksek çözünürlüğe sahip kameradan alınan görüntü.

çözünürlüğe sahipken, aydınlanmanın etkisini de içeren bulanık bir görüntü üretir (Şekil 3). Amacımız Şekil 3'teki gibi görüntülerden, aydınlanma etkilerinden arınmış ve kare şeklindeki bölgenin kenarlarının belirginleştiği yansıtırlık görüntüsünü elde etmek. Bu görüntüleri daha sonraki aşamada nesne tanıma amacıyla kullanmak istediğimizden, nesne sınırlarının yeteri kadar belirginleştirilmesi önem taşıyor. Bunun için önce Weiss'ın [3] yöntemini kullanarak aydınlanma ve yansıtırlık görüntülerini hesaplıyor, sonra da Tikhonov ve kenar koruyan düzenleme yöntemlerini kullanarak esas yansıtırlık görüntüsünü kestiriyoruz. Çalışmamızın özgün teknik katkısı için görüntü hesaplama ve bulanıklık giderme sorunlarını birarada çözmesidir.

2. İçkin Görüntülerinin Hesaplanması

İçkin görüntülerin gözlemlenmiş tek görüntüden geri kazanımı bilgisayarla görü sistemleri için zor bir problemdir. Bu problem klasik kötü konumlanmış bir problemdir: Bilinmeyenlerin sayısı denklemlerin sayısından iki kat fazladır. Gözlemlenen görüntü ile için görüntüler arasında şöyle bir ilişki vardır:

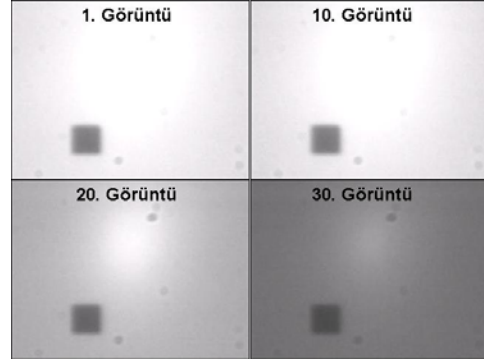
$$I(x, y) = R(x, y) \times L(x, y) \quad (1)$$



Şekil 4 : İçkin görüntü ayrışımı. (Bu resim Weiss'ın makalesinden [3] alınmıştır.)

Burada $I(x, y)$ gözlemlediğimiz görüntüyü, $R(x, y)$ yansıtırlık görüntüsünü ve $L(x, y)$ aydınlanma görüntüsünü ifade etmektedir. Bu ilişkiyi Şekil 4'te görebiliriz.

Weiss algoritmasında, yansıtırlığın sabit olduğu, aydınlanmanın değiştiği bir çok görüntü kullanarak yansıtırlık görüntüsünü hesaplamayı öneriyor. Bizim durumumuzda da farklı aydınlanmalı görüntüler kaydetmemiz mümkün, o nedenle için görüntüleri bulmak için Weiss'ın yöntemini kullanıyoruz. Biz deneylerimizde 40 farklı mikroskopik görüntü kullandık (Şekil 5). Bu görüntülerde aydınlatma kaynağının yeri aynı, ancak şiddeti değişmekte.



Şekil 5 : Mikrometre üzerinde bulunan 20µm kenarlı bir karenin bulunduğu sahnenin değişik aydınlanmalardaki mikroskopik görüntüleri.

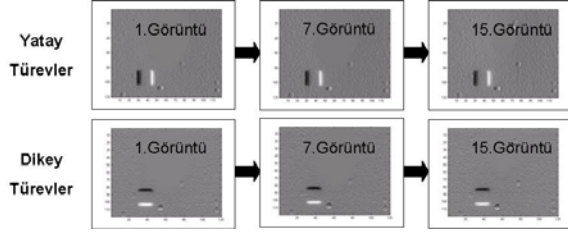
Algoritma yansıtırlık görüntüsünün hesaplanması için değişik aydınlanmadaki görüntülerin yatay ve dikey yöndeki türevlerinin her pikselde hesaplanan medyanlarını kullanıyor. Burada medyan kullanılmasının sebebi, doğa görüntülerinde de olduğu gibi, bizim görüntülerimizin de türevlerine baktığımızda, türevlerin dağılımlarının seyrek olduğunu gözlemlememizdir. Bu dağılımları Laplace dağılımı ile modelleyebiliriz. Bu modeli kullanarak yansıtırlığı en büyük olasılıkla kestirimi ile bulabiliriz. Olasılığın en büyük yapmak türev görüntülerindeki mutlak sapmaların toplamlarını en küçük yapmakla aynı şeydir. Mutlak değerlerin toplamı da medyan sayesinde en küçültülür. Türev görüntüleri (2) deki gibi bulunur:

$$F_{Yatay} = h_{Yatay} I(x, y)_{Vektör} \quad (2)$$

$$F_{Dikey} = h_{Dikey} I(x, y)_{Vektör}$$

$h_{Yatay/Dikey}$: gözlemlenen görüntünün yatay ve dikey yöndeki türevlerini bulmamızı sağlayan işleçlerdir. Birkaç farklı

görüntü için yatay ve dikey türev görüntülerini Şekil 6'da gösteriyoruz.



Şekil 6 : Türev Görüntüleri

Tüm türev görüntüleri kullanılarak, medyan görüntüleri (3)'teki gibi hesaplanır.

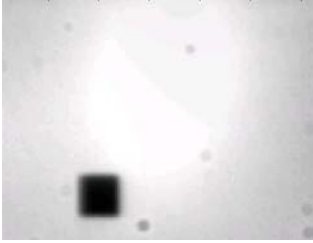
$$\begin{aligned} \hat{r}_{Yatay}(x, y) &= \text{medyan}_t F_{Yatay}(x, y, t) \\ \hat{r}_{Dikey}(x, y) &= \text{medyan}_t F_{Dikey}(x, y, t) \end{aligned} \quad (3)$$

Hesaplanmış Yansıtırlık Görüntü Türevleri Türev Görüntülerinin Medyan Görüntülerinin Hesaplanması

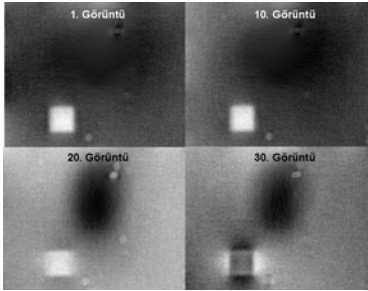
Burada “ t ” elimizdeki görüntüleri numaralayan dizindir, “ $F_{Yatay/Dikey}$ ” ise bu görüntülerin yatay ve dikey türevlerini belirtmektedir. Biliyoruz ki:

$$\hat{r}_{Yatay/Dikey} = h_{Yatay/Dikey} \hat{R}(x, y)_{Vektör} \quad (4)$$

Bu noktada “ $\hat{R}(x, y)$ ” yansıtırlık görüntüsünü sahte ters işlemi yaparak hesaplıyoruz. Yukarıda belirtilen işlemleri, 40 görüntüden oluşan verilerimize uyguladığımız zaman, elde ettiğimiz yansıtırlık görüntüsünü ve birkaç görüntü için elde ettiğimiz aydınlanma görüntülerini Şekil 7 ve Şekil 8'de görebilirsiniz. Şekil 8'de aydınlanma şiddetinin değişimini oldukça iyi biçimde kestirdiğimizi görüyoruz.



Şekil 7 : Hesaplanan (bulanıklığı giderilmemiş) yansıtırlık görüntüsü.



Şekil 8 : Kullanılan bazı görüntülerin aydınlanma görüntüleri.

3. Görüntü Bulanıklığının Giderilmesi

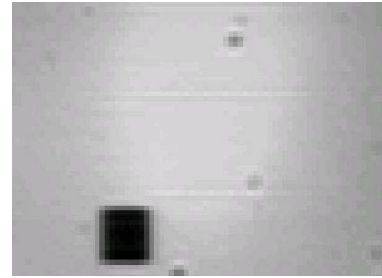
Bu noktaya kadarki işlemler sayesinde gözlemlenen görüntüleri için bileşenlerine ayırmış olduk. Ancak Şekil 7'deki yansıtırlık görüntüsü elbette bulanıklık ve gözlem gürültüsünü hala içinde barındırıyor. Şimdi amaç bu sorunu çözmek. Bunun için Şekil 7'deki görüntüyü girdi olarak kullandığımız iki yöntem sunuyoruz.

Birinci yöntemimiz en yaygın düzenleme yöntemi olan Tikhonov düzenlemesine [4] dayalı. Tikhonov düzenlemesinde, gözlemlenmiş görüntünün içinde olduğu aşağıdaki maliyet denklemi çözülür:

$$f_{Tik}(\lambda) = \arg \min_f \left\{ \left\| \hat{R}(x, y) - Hf \right\|_2^2 + \lambda \left\| \nabla f \right\|_2^2 \right\} \quad (7)$$

Bizim problemimizde, yukarıdaki denklemdeki “ $\hat{R}(x, y)$ ” Bölüm 2'deki gibi hesaplanan yansıtırlık görüntüsü, “ H ” bulanıklaştırma işleci, “ f ” oluşturmaya çalıştığımız esas görüntü, “ λ ” düzenleme katsayısı, ∇f esas görüntünün gradyanlarıdır. Bu yöntem bir yandan bulanıklığı gidermeyi, öte yandan gürültüyü bastırmayı hedefler. Tikhonov düzenlemesi karesel bir maliyet denklemi içerdiği için kapalı biçimli çözümü mevcuttur. Burada ihtiyacımız olan bulanıklaştırma işleci H 'yi deneysel olarak, aday işlemlerden hangisinin parametrelerinin verilere en iyi sadakati sağladığını belirleyerek buluyoruz.

Düzenleme katsayısı λ 'nın küçük değerleri için Tikhonov çözümü genellenmiş çözüme benzer, büyük değerleri için ise gradyan bilgilerine baskı yaptığı için görüntüyü aşırı biçimde yumuşaklaştırır ve bizim örnek görüntümüzdeki kare etrafında bulanıklaşmaya neden olur. Bu ön bilgiler ışığında seçilen en iyi düzenleme katsayısı ($\lambda = 0.001$) kullanılarak Tikhonov yöntemi ile bulduğumuz yansıtırlık görüntüsünü Şekil 9'da gösteriyoruz. Şekil 7'ye göre bulanıklığı azalttığımızı söyleyebiliriz.

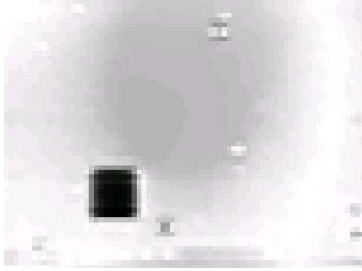


Şekil 9 : Tikhonov düzenlemesi sonucunda bulunan yansıtırlık görüntüsü.

Tikhonov düzenleştirmesi gürültüyü bastırmaya çalışırken aynı zamanda, istenmeyen biçimde, nesnelerin kenarlarını da bastırabilir. Bu sorunu gidermek için önerilen bir fikir olan kenar koruyan düzenleştirmeyi ikinci yöntem olarak kullanıyoruz. Kenar koruyan düzenleştirme de Tikhonov gibi bir maliyet denklemi üzerinden hesaplama yapmaktadır:

$$f_{kenarkoru}(\lambda) = \arg \min_f \left\{ \left\| \hat{R}(x, y) - Hf \right\|_2^2 + \lambda \left\| \nabla f \right\|_p^p \right\} \quad (9)$$

Burada görüntü gradyanları için Tikhonov'un aksine L_p normları ($p < 2$) kullanılması sayesinde kenar koruma sağlanır [5]. Biz deneylerimizde L_1 normunu kullanıyoruz. Böylece küçük kare etrafındaki kenarların daha sert ve belirgin olmasını sağlıyoruz. Kenar koruyan düzenleştirmede eğer L_1 norm kullanılırsa buna "Toplam Değişim" ismi verilir [5]. Denklem (9)'daki eniyileme sorununun kapalı biçimli bir çözümü yoktur ve çözüm için özyneli bir algoritma kullanılır. Kenar koruyan düzenleştirme algoritması ile oluşturduğumuz yansıtırlık görüntüsünü Şekil 10'da gösteriyoruz.



Şekil 10 : Kenar koruyan düzenleştirme sonucunda bulunan yansıtırlık görüntüsü.

4. Tartışma ve Vargılar

Biz bu çalışmada, stereo mikroskoptan alınan yüksek büyültmeye sahip bir görüntüdeki aydınlanma etkisini, bulanıklığı, ve gürültüyü temizleyip sahnenin gerçek yansıtırlığını kestirmek için bir yöntem önerdik. Aydınlanmanın farklı, ancak yansıtırlığın aynı olduğu görüntüler yardımıyla, önce aydınlanma etkisini yok etmeyi hedefledik. Elde ettiğimiz için görüntüler ışığında, bu hedefe başarılı bir biçimde eriştiğimizi söyleyebiliriz.

Aydınlanma ve yansıtırlık bileşenlerinin ayırt edilmesinden sonraki adım ise yansıtırlık üzerindeki bulanıklık etkisinin ortadan kaldırılıp, (kullandığımız örnek sahnede) 20µm kenarlara sahip olan küçük karenin kenarlarının daha sertleştirilmesi ve daha belirginleştirilmesiydi. Bunu başarabilmek için iki farklı algoritma üzerinde çalıştık. Bunlardan birincisi Tikhonov düzenleştirmesiydi. İkinci algoritma olan kenar koruyan düzenleştirme ise daha çok kenarlarda olması gereken belirginliği ve sertliği korumak ve arttırmak için kullanılan bir algoritmadır. Ancak bu algoritma farklı yeğinlikte olup, aralarında gerçek bir kenar olmayan bölgelerin farkını da daha belirgin hale getirebilir, ve bu da istenmeyen bir davranıştır. Bizim durumumuz için kenar koruyan düzenleştirme, karesel bölgenin etrafındaki

kenarları daha belirginleştirmesi açısından daha başarılı bir sonuç vermiştir. Ancak aydınlanmanın yoğun olduğu bölgeye de önem vererek orayı da kısmen belirginleştirmiştir. Tikhonov düzenleştirmesinde ise karenin kenarları daha az belirgin iken görüntünün genelinde aydınlanmanın etkisinden kurtulmuştur.

Bu çalışmadaki amacımız gürültülü ve bulanık olan ilk görüntümüzden temiz ve içinde bulunan karenin sınırlarının daha iyi belirginleştiği bir görüntü elde etmektir. Bundan sonraki adımın "cisim tanıma" olduğunu tartışmamıza eklersek, kenar koruyan düzenleştirme algoritmasının bizim için daha başarılı bir sonuç verdiğini söyleyebiliriz. Çünkü cisim tanıma için cisim sınırlarının yeterli belirginlikte olması gereklidir.

Bu çalışmada elde ettiğimiz sonuçları daha iyileştirmek mümkündür. Örneğin Weiss'in aydınlanma modeli bizim uygulamamız için en iyi model olmayabilir. Bunun dışında, elimizde olan 40 görüntüde yansıtırlık sabit, aydınlanma şiddeti değişmektedir. Işık kaynağının yeri sabittir. Bu 40 görüntü için, ışık kaynağının yerinin de değiştiği daha farklı durum bileşimleri oluşturulup daha iyi bir görüntü hesaplaması yapılabilir. En son olarak, bu çalışmada bulanıklaştırma işlecinin tahmini de belli parametrik modeller içinde sınırlı kalmıştır. Bu sorun da daha genel bir modelle ifade edilip elde edeceğimiz görüntünün daha da iyileşmesi sağlanabilir.

5. Teşekkür

TÜBİTAK Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı'na yüksek lisans öğrenimim için verdiği destekten dolayı teşekkür ederim. (Eray DOĞAN)

Bu çalışma Avrupa Komisyonu tarafından FP6-2004-ACC-SSA-2 numaralı proje (SPICE) ile kısmi olarak desteklenmiştir.

6. Kaynakça

- [1] H.G. Barrow and J.M. Tenenbaum. "Recovering intrinsic scene characteristics from images." In A. Hanson and E. Riseman, editors, *Computer Vision Systems*. Academic Press, 1978.
- [2] M. Tappen, W.T. Freeman, and E.H. Adelson. "Recovering intrinsic images from a single image." In S. Becker, S. Thrun, and K. Obermayer, editors, *Advances in Neural Information Processing Systems 25*, 2002.
- [3] Y. Weiss. "Deriving intrinsic images from image sequences". In *Proceedings International Conference on Computer Vision*, Vancouver, Canada, 2001, IEEE.
- [4] A.N. Tikhonov, "The Regularization of Ill-Posed Problems." *Dokl. Akad. Nauk. (SSR 153)*, No. 1, 1963, pp. 49-52.
- [5] C.R. Vogel and M.E. Oman, "Fast, robust total variation-based reconstruction of noisy, blurred images." *IEEE Trans. Image Processing*, vol.7, pp.813-824, June 1998