

# DÜŞÜK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ GÖRÜNTÜLERDEN AYKIRI DEĞER AYIKLAMASI KULLANARAK GÜRBÜZ YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ GÖRÜNTÜ ELDE ETME YÖNTEMİ

Kemal ÖZKAN<sup>1</sup>

e-posta<sup>1</sup> : kozkan@ogu.edu.tr

Erol SEKE<sup>2</sup>

e-posta<sup>2</sup> : eseke@ogu.edu.tr

<sup>1,2</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü,  
Batı Meşelik, Eskişehir

## ABSTRACT

One critical component of image super-resolution in order to achieve an efficient implementation is an accurate sub-pixel registration of input images and precise modeling of the imaging system. The overall performance of super-resolution algorithms is particularly degraded in the presence of persistent outliers, because of which the registration and/or the model blocks fail. In order to improve the robustness of algorithms against this problem, we propose a new method of super-resolution estimation in which outlier image components are rejected. Through experiments on synthetically altered images, we show that the proposed technique performs well in the presence of outliers. This relatively simple and fast mechanism establishes robustness in practical implementations of image super-resolution, while still being effective against Gaussian noise in the image formation model.

**Anahtar sözcükler :** süper çözünürlük, yinelemeli geri yayılım, aykırı değer

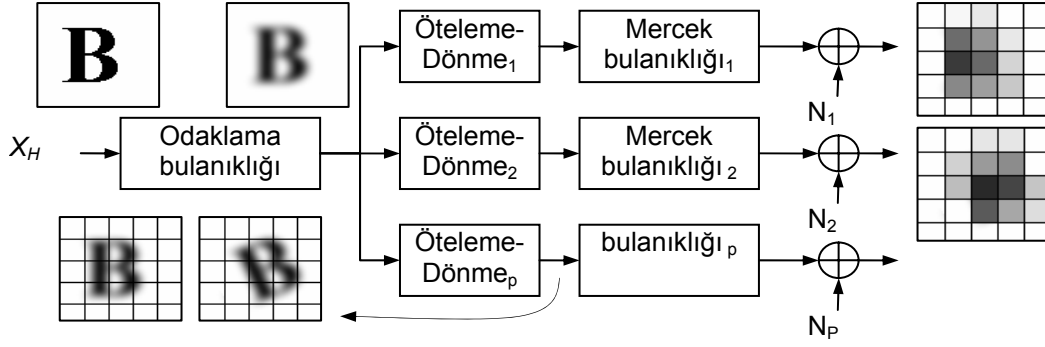
## 1. GİRİŞ

Bir sahnenin birden çok sayıdaki düşük çözünürlüklü (DÇ) görüntüleri kullanılarak tek bir yüksek çözünürlüklü (YÇ) sayısal görüntü elde etme işlemi (süperçözünürlük) uzun yıllardır kullanım alanı bulmaktadır. Görüntü algılayıcıların istenilen sayıda algılama hücresi içerecek şekilde üretilmemesi ile başlayan yaklaşım, eskiye göre oldukça kaliteli algılayıcıların üretilmesi ile durmamış, daha kaliteli ve çok sayıda görüntü elemanı (piksel) içeren görüntüler elde edilmeye yönelik şekilde çalışmalar devam etmiştir. Yani elde edilen sayısal görüntülerin kalitesi ve çözünürlüğü ne olursa olsun, bunlar kullanılarak daha iyilerinin üretilmesi çalışmaları daima araştırma – geliştirmeye açıktır. Ayrıca kamera merceklelerinden kaynaklanan bulanıklık, algılayıcıların sınırlı büyüklükleri ve yakalama işlemi sırasında ortaya çıkan gürültülerin etkisini azaltmak da yüksek çözünürlük çalışmalarından sayılır. Görüntüdeki çözünürlüğün artırılabilmesi için aynı alandan elde edilmiş ve aralarında alt-piksel kayma bulunan iki veya daha fazla sayıda DÇ görüntüye ihtiyaç vardır. YÇ çalışmaları ile ilgili en eski çalışma Huang ve Tsay [1]'in Landsat uydusundan elde

ettikleri görüntülerin çözünürlüğünü artırmak için önerdikleri yöntemdir. Onlar frekans alanında aşağı örneklenmiş ve gürültü olmadığı kabullenmesi ile YÇ görüntü tahmin etmişlerdir. Bu çalışmadan sonra YÇ elde etme çalışmaları değişik yöntemlerin önerilmesiyle daha da derinleşmiştir. Kim ve arkadaşları [2] de gürültülü ve bulanık görüntülerden YÇ görüntü tahmini için ağırlıklandırılmış en küçük kareler yöntemini önermişlerdir. Frekans alanındaki yöntemler basit ve hesaplaması kolay olmasına rağmen sınırlamaları vardır[3]. Ur ve Gross [4], Papoulis [5] ve Yen[6] genelleştirilmiş çok kanallı örnekleme kuramına dayanan ara değerlendirme ile YÇ görüntüyü tahmin eden yöntemler önermişlerdir. Irani ve Peleg[7,8] döngüsel geri yayılım yöntemi ile tahmini YÇ görüntüyü güncelleştirir. YÇ tahmini üzerinde Tekalp ve arkadaşları [9,10] dış bükey kümelerle izdüşüm yöntemi ile onarım yapmışlardır. Onarım problemi çözümü için uzamsal alanda döngüsel yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır [11,12,13,14,15,16,17,18,19,20]. Bir çok görüntü onarımında model ve devinim parametrelerin önceden hesaplandığı veya bilindiği kabul edilir. Bahsedilen parametrelerde yapılacak hatalar elde edilen sonuç görüntüsünün arzulanan kalitede olmamasına sebep olabilmektedir. Bu çalışmada, hatalı parametreler ve gürültü nedeni ile ortaya çıkan problemi çözmek için aykırı değerleri atan gürbüz bir onarım yöntemi önerilmiştir.

## 2. PROBLEMİN TANIMI

Görüntü bozulma problemi devinim, doğrusal blur, alt örnekleme ve Gaussian gürültü olarak modellenir [3,13,21,22]. Şekil 1'de odaklanma hatasından ve mercekten kaynaklanan bulanıklığı içeren, öteleme ve dönmeye izin veren böyle bir model gösterilmiştir. DÇ görüntüler bir sahnenin aynı kameranın çok az farklı kaymaları ile elde edilmiştir. Her birinin büyüklüğü  $N_1 \times N_2$  olan  $p$  adet DÇ görüntü kaydedildiğini kabul edelim. Arzulanan  $X$  YÇ görüntüsünün büyüklüğü,  $L_1$  ve  $L_2$  yatay ve dikey yöndeki aşağı örnekleme çarpanını göstermek üzere,  $N = L_1 N_1 \times L_2 N_2$  dir. DÇ görüntüler YÇ görüntüye devinim, bulanıklık ve alt örnekleme ile bağımlıdır.  $k=1,2,\dots, p$  olmak üzere  $k$  ıncı DÇ çerçevesi  $y_k = [y_{k,1}, y_{k,2}, \dots, y_{k,M}]$  olsun.



Şekil 1: Genel kabul görmüş öteleme ve dönmeyi de içeren görüntüleme modeli

Burada  $M=N_1 \times N_2$  dir. Bütün DÇ görüntü kümesi

$$Y = [y_1^T, y_2^T, \dots, y_p^T] = [y_1, y_2, \dots, y_{pM}]^T \quad (1)$$

Gözlenen DÇ resimler ile YÇ görüntü arasındaki ilişki (2)'deki modeldeki gibidir.

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ y_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} DB(\sigma)W_1 \\ DB(\sigma)W_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ DB(\sigma)W_p \end{bmatrix} X + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ n_p \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\Downarrow$$

$$Y = H X + n$$

Burada

- $D$  : aşağı örnekleme işleci
- $B(\sigma)$  : optik yayılma ve odaklama bulanıklığı
- $W_k$  : YÇ ızgarası ile DÇ ızgarası arasındaki ilgin dönüşüm
- $X$  : bilinmeyen ideal YÇ görüntüsü
- $n_k$  : gürültü vektörü

DÇ görüntü  $y_k$  verildiğinde aşağı örnekleme işleci  $D$  bilinmektedir. Bulandırma işleci ve kamera mercek karakteristiği genel olarak bilinmemektedir. Bununla birlikte, bulandırma işlemi uzamda değişmez kabul edilip, normalize edilmiş ve negatif elemanlara sahip olmayan  $m_1 \times m_2$  boyutlarında 2 boyutlu bir işleç ile iyi bir şekilde yaklaşım yapılabilir. Bundan dolayı, bu çalışmada  $5 \times 5$  boyutlarında standart sapması  $\sigma = 2$  olan bir Gaussian işleci kullanılmıştır. Ayrıca, her resmin referans resme göre sahne devinimi genel olarak bilinmemektedir. Her bir resmin alt piksel boyutlarında referans resme göre doğru bir şekilde çakıştırılması gerekmektedir. Görüntü çakıştırma işleminin kendi başına ayrı bir problem olarak ele alınması gerekmektedir. Bu konuda literatürde Brown [23] tarafından ayrıntılı bir gözden geçirme mevcuttur. Bu çalışmada, devinimin doğru bir şekilde hesaplandığı kabul edilmiştir. Son olarak, birçok birbirinden bağımsız gürültü kaynağı olarak

(1)'deki gibi gösterilebilir.

bilinmeyen değişintili beyaz Gaussian dağılımlı görüntü kabul edilmiştir.

### 3. AYKIRI DEĞER AYIKLAMALI ÖZYİNELEMELİ GERİ YAYILIM

#### ALGORİTMASI

Kaydedilen görüntülerin hemen hemen hepsinde bozukluk vardır ve bu bozukluk birincil olarak görüntüleme sistemindeki kusurlarından meydana gelir. Görüntüdeki bozukluk görüntü sistemi ile cisim arasındaki bağıl devinimden, lensin odaklama bozukluğundan veya görüntü alınan ortamın elverişsiz şartlarından kaynaklanabilir. Bu durum gürültünün eklenmesiyle daha da karmaşık hale gelir. Sonuç olarak elimizde bozulmaya uğramış, gürültülü bir resim var ve yeniden görüntü elde etme işleminden beklenen, asıl görüntüye en yakın görüntüyü elde etmektir. Birçok durumda elde görüntüdeki bozukluk ve gürültüye ait net bilgi yoktur ve hatta bu bilgiler olsa bile yeniden görüntü elde etme çözümü kötü konumlanmış bir problemidir. Şöyleki, verilerdeki küçük değişimler (gürültüden dolayı) bile sonuç üzerinde büyük etkiler doğurabilir. Sistem matrisinin ( $H$ ) büyüklüğünden ve kötü konumlanmış olmasından dolayı doğrudan çözümler neredeyse imkansız hale gelmektedir. Bundan dolayı bu tür kötü konumlanmış sistemlerde yinelemeli algoritmalar tercih edilmektedir. Yinelemeli yöntemler çözümü bulasıya kadar tekrarlı adımlar kullanan yöntemler olarak karakterize edilir. Her adımda aranan çözüme doğru yakınsadığı umulur. Üstelik, tek bir yineleme doğrudan çözümlenmeye göre çok daha kısa zaman almaktadır. Yinelemeli algoritmalarla çalışırken yakınsama olması ve yakınsama oranı çok önemlidir. Bir sonuçta varılabilmesi için algoritmanın kabul edilebilir yada uygulamaya uygun bir şekilde yakınsaması gerekir. Eğer yakınsama hızlıysa yineleme bir kaç adımda durmakta ve çözüm için iyi bir yaklaşım olmaktadır. Eşitlik 2'de tanımlanan sistemi çözebilmek için bildik yinelemeli geriye yayılım algoritması (3)'teki yineleme denklemi ile ifade edilebilir..

$$X_{k+1} = X_k + \beta(Y - HX_k) \quad (3)$$

Burada  $\beta$  yakınsama hızı parametresidir ve yeniden uyarlanabilir olarak (4) deki gibi hesaplanabilir.

$$\beta = \frac{\|r\|_2^2}{\|H^T r\|_2^2} \quad (4)$$

Burada  $r=Y-HX$  dir. (3) te verilen eşitlikte devinimin ve bulanıklığın tam olarak bilinmesi gerekmektedir. Devinin ve blurlanmanın global olduğu varsayılır. Dolayısıyla resimlerden herhangi birisinin tamamında veya belli bir bölgesinde yapılacak tahmin hataları sonuç görüntüsünde istenmeyen durumlar ortaya çıkarmaktadır. Bunun yanısıra tuz ve biber gürültüsü gibi lokal olarak etkili olan gürültülü ortamlarda verilen algoritma kötü sonuçlar üretebilmektedir. Bunlardan dolayı, bu çalışmanın da ana konusu olan ve lokal olarak ortaya çıkan aykırı değerlerin yok edilmesi gerekir. Bunun için hesaplama yükü az ve (3)'deki denkleme uygulanması kolay olan bir yöntem önerilmiştir. İlk önce YÇ görüntüsünün ilgilenilen pikselleri ile alakalı olan DÇ çerçeve dizisindeki pikseller arasındaki fark vektörü hesaplanmıştır.

$$Z_i = [r_{1,i}, r_{2,i}, \dots, r_{p,i}] \quad (5)$$

Burada  $r_{k,i} = Y_{k,i} - HX_k$ ,  $k$ 'inci çerçevenin  $i$ 'inci pikseli ile model matrisinin  $X$  vektörü ile çarpılması sonucu ortaya çıkan hata miktarıdır.  $Z_i$  vektöründeki ortalamadan büyük hata miktarları o noktadaki aykırı değerlere karşılık gelmektedir ve aykırı değerlerin hesaplarında kullanılmaması gerekir. Aykırı değerlere sahip olan piksellerin YÇ tahmin görüntüsü üzerindeki etkisini azaltabilmek için (6)'daki denklem ile ağırlık vektörü hesaplanır.

$$Z_i = \frac{1}{(\text{abs}(Z_i - \text{median}(Z_i))) + 1} \quad (6)$$

DÇ çerçevelerin bütün pikselleri için ağırlık vektörleri hesaplanır ve bu ağırlık vektörleri bütün sistemin ağırlık vektörü için bir araya getirilir.

$$Z = [Z_1, Z_2, \dots, Z_{MN}] \quad (7)$$

Hesaplanan sistem ağırlık vektörünün (3) numaralı denkleme uygulanması ise (8) deki gibidir.

$$X_{k+1} = X_k + \beta(Z \otimes (Y - HX_k)) \quad (8)$$

Burada sistem ağırlık vektörü ile hata vektörünün çarpımı,  $\otimes$ , karşigelen elemanların çarpımı ile hesaplanır.

#### ALGORİTMA

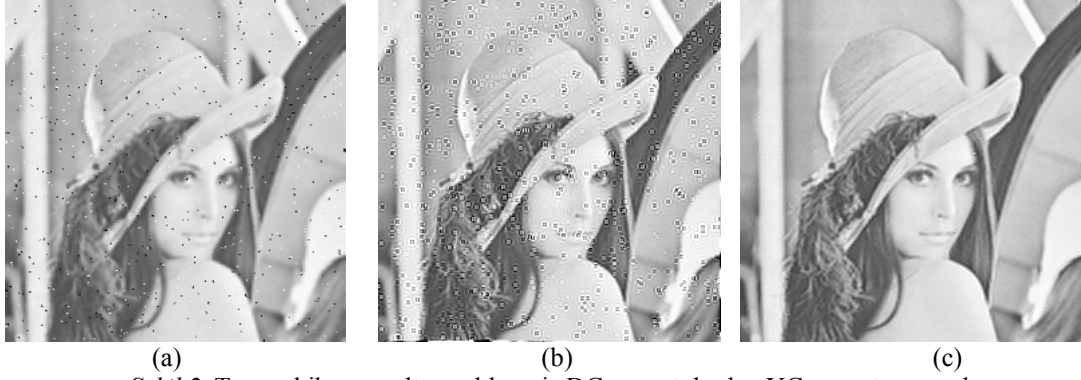
YÇ görüntü için başlangıç tahmini yap  
Her bir DÇ/YÇ piksel için hata miktarını hesapla ve hata vektörünü oluştur  
(6) ve (7)'yi kullanarak ağırlık vektörünü oluştur  
Hata vektörü ile ağırlık vektörünü eleman eleman çarp  
Çarpım sonucunu kullanarak YÇ görüntüyü düzelt  
Herbir resim için istenilen hata seviyesine ulaşıncaya kadar

#### 4. SONUÇLAR

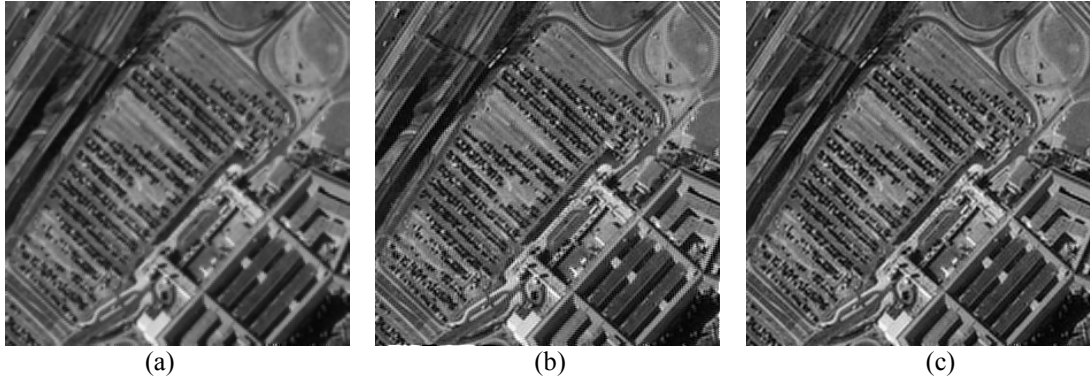
Algoritma, bilinen parametrelerle yapay olarak bozulmuş birçok görüntü ile denenmiştir. Bu deneylerin iki tanesinin sonuçları örnek olarak verilmiştir. Tablo 1'de sonuçları verilen deneylerde odaklanma bulanıklığı olarak 5x5 boyutlarında ve standart sapması 2 olan Gaussian işleç kullanılmıştır. Doğrusal devinim için [(0,0), (2.25,1.5), (0.75,-1.25), (-0.5,3;1), (75,0.75)], ve dönme için [0, 3, -1, 0.8, 0] parametre setleri kullanılmıştır. DÇ görüntüler üzerine sırasıyla 60 dB ve 40 dB Gaussian ve tuz & biber gürültüsü eklenmiştir. Ayrıca devinim hatalarını gösterebilmek için YÇ onarım algoritmasında en son çerçevedeki devinim parametreleri hatalı olarak (1.70, 0.65) alınmıştır. Ayrıca modelde olabilecek hatalara karşı algoritmanın gürbüzlüğünü gösterebilmek için standart sapması 2 olan Gaussian işleç yerine standart sapması 1 olan Gaussian işleç kullanılmış ve sonuçları Tablo 1 ve 2'de 'Model H' satır başlığı ile verilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, aykırı değerleri ayıklayan yeni algoritmanın kübik aradeğerleme ve yinelemeli geriye yayılım (YGY) sonuçları ile karşılaştırıldığında daha gürbüz olduğu görülmüştür. Çalışmalar model parametrelerini de yineleme sırasında hesaplayabilecek bir yöntem üzerine yönlendirilmiştir.

| Gürültü    | LENA    |            |          |
|------------|---------|------------|----------|
|            | Kübik   | Klasik YGY | Önerilen |
| YOK        | 29.0256 | 33.7588    | 34.1383  |
| 60 dB      | 29.0240 | 33.6677    | 34.0403  |
| 40 db      | 28.8764 | 30.7838    | 31.1699  |
| Tuz biber  | 24.1896 | 20.6794    | 31.8109  |
| Devinim H. | 28.9289 | 28.0049    | 31.5789  |
| Model H.   | 29.0256 | 31.3121    | 31.4351  |

Tablo 1. Lena görüntüsü sonuçları



Şekil 2. Tuz ve biber gürültüsü eklenmiş DÇ görüntülerden YÇ görüntü sonuçları  
a) Kübik ara değerlendirme b) Klasik YGY metodu c) Önerilen yöntem



Şekil 3. Çerçevelerden birinde devinim tahmin hatası olan DÇ görüntülerden YÇ görüntü sonuçları  
a) Kübik ara değerlendirme b) Klasik YGY metodu c) Önerilen yöntem

| Gürültü    | PENTAGON |            |          |
|------------|----------|------------|----------|
|            | Kübik    | Klasik YGY | Önerilen |
| YOK        | 24.2215  | 29.7293    | 30.2153  |
| 60 dB      | 24.1012  | 29.7196    | 30.2099  |
| 40 db      | 24.0111  | 27.6214    | 27.6400  |
| Tuz biber  | 22.8682  | 20.4036    | 27.1286  |
| Devinim H. | 23.8905  | 24.8269    | 27.1233  |
| Model H.   | 24.0215  | 27.2271    | 27.2916  |

Tablo 2. Pentagon görüntüsü sonuçları

## KAYNAKLAR

- [1]. T. Huang and R. Tsay, Multiple frame image restoration and registration. In T.S. Huang, Ed, Advances in Computer Vision and Image Processing, Vol 1, JAI, Greenwich, CT, 1984, pp. 317–339.
- [2]. S.P. Kim, N.K. Bose, and H. M. Valenzuela, Recursive reconstruction of high resolution image from noisy undersampled multiframe, IEEE Trans Acoustics, Speech, Signal Process 38 (1990), 1013–1027.
- [3]. S. Borman and R. Stevenson, Super-resolution from image sequences—a review, Proce pp. 1998 Midwest Sympos Circuits and Systems, vol 5, 1998.
- [4]. H. Ur and D. Gross, Improved resolution from subpixel shifted pictures, CVGIP: Graphical Vision and Image Process 54 (1992), 181–186.
- [5]. A. Papoulis, Generalized sampling expansion, IEEE Trans Circuits Syst 24 (1977), 652–654.
- [6]. L. Yen, On nonuniform sampling of bandwidth limited signals, IRE Trans. Circuits Theory, 3 (1956), 251–257.
- [7]. M. Irani and S. Peleg, Improving resolution by image registration, CVGIP: Graphical Models and Image Process, 53 (1991), 231–239.
- [8]. M. Irani and S. Peleg, Motion analysis for image enhancement: resolution, occlusion, and transparency, J Visual Commun Image Represent 4 (1993), 324–335.
- [9]. A. Tekalp, T. Ozkan, and M. Sezan, High resolution image reconstruction from low-resolution image sequences, and space varying image restoration, IEEE Int Conf Acoustics, Speech, Signal Process, 3 (1992), 169–172.
- [10]. H. Stark and P. Oskoui, High resolution image recovery from image-plane arrays, using convex projections, J Opt Soc Am 6 (1989), 1715–1726.
- [11]. N. Bose and K. Boo, High-resolution image reconstruction with multisensors, Int J Imaging Syst Technol 9 (1998):294–304.
- [12]. M. Elad and A. Feuer, Restoration of a single superresolution image from several blurred, noisy and undersampled measured images, IEEE Trans. Image Process 6 (1997), 1646–1658.
- [13]. M. Elad and A. Feuer, Superresolution restoration of an image sequence: adaptive

- filtering approach, *IEEE Trans Image Process*, 8 (1999), 387–395.
- [14]. M. Elad and Y. Hel-Or, A fast super-resolution reconstruction algorithm for pure translational motion and common space-invariant blur, *IEEE Trans. Image Process* 10 (2001), 1187–1193.
- [15]. M. Hong, M. Kang, and A. Katsaggelos, An iterative weighted regularized algorithm for improving the resolution of video sequences, *IEEE Int Conf. Image Process* 1997.
- [16]. T. Komatsu, K. Aizawa, T. Igarashi, and T. Saito, Signal-processing based method for acquiring very high resolution image with multiple cameras and its theoretical analysis, *IEE Proc Commun, Speech, Vision* 140 (1993), 19–25.
- [17]. M.K. Ng and N. Bose, Analysis of displacement errors in high-resolution image reconstruction with multisensors, *IEEE Trans Circuits and Systems I: Fund Theory Appl* 49 (2002), 806–813.
- [18]. M.K. Ng, J. Koo, and N. Bose, Constrained total least squares computations for high resolution image reconstruction with multisensors, *Int J Imaging Syst Technolo* 12 (2002), 35–42.
- [19]. M. Ng, R. Chan, T. Chan, and A. Yip, Cosine transform preconditioners for high resolution image reconstruction, *Linear Algebra and Its Applica*, 316 (2000), 89–104.
- [20]. N. Nguyen, P. Milanfar, and G. Golub, A computationally efficient superresolution image reconstruction algorithm, *IEEE Trans Image Process* 10 (2001), 573–583.
- [21]. N. Nguyen and P. Milanfar, An efficient wavelet-based algorithm for image superresolution, *IEEE Int Conf Image Process* 6 (2000), 351–354.
- [22]. N. Nguyen and P. Milanfar, A wavelet-based interpolation-restoration method for superresolution, *IEEE Trans Circuits, Systems, Signal Process* 19 (2000), 321–338.
- [23]. L. Brown, "A survey of image registration techniques", *ACM Comput. Surv.*, vol.24, no. 4, pp.325-376, Dec.1992