

Sıfır Atamalı Süzgeç Kümeleri ile Renkli ve Gri Düzey İmge Damgalama Color and Grey Level Image Watermarking via Zero Assigned Filter Banks

Zeynep Yücel, A. Bülent Özgüler

Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
Bilkent Üniversitesi, Ankara

zeynep@ee.bilkent.edu.tr, ozguler@ee.bilkent.edu.tr

Özetçe

Bu bildiride sayısal imge damgalamaları için sıfır atamalı süzgeç kümelerine ve tümleşik sıfır ağacı (TSA) dalgacıkları algoritmasına dayalı yeni bir sayısal imge damgalama yöntemi sunulmaktadır. Durdurma bandı civarına sıfır atanan bir süzgeç kümesi tarafından iki ya da üç aşamalı ayrıştırma yapısında işlenen imgenin damgalanacak katsayıları TSA algoritmasına göre seçilir. Bu yöntem sadece saldırılara karşı dayanıklı bir damgalama algoritması sağlamakla kalmaz, aynı zamanda verimli bir sıkıştırma stratejisi olarak da kullanılabilir. Algoritma Beyaz Gauss Gürültüsüne ve JPEG sıkıştırmaya karşı sınamıştır. Yüksek seviyede bozulmalara maruz kaldığında dahi dayanıklı olduğu tesbit edilmiştir.

1. Giriş

Verimli bir damgalama algoritması bozulmalar, sıkıştırma, döndürme, süzülme, permütasyon, nicemleme gibi saldırılara karşı dayanıklı olmalı, [12], ancak aynı zamanda kullanıcıya karşı da saydam olmalıdır.

Dalgacıklar yoluyla, ayrıştırma kısımlarının üzerine, [5], yani imgenin ayrık dalgacık dönüşümündeki HL, LH, HH bantlarının üzerine, beyaz gürültü eklenerek gerçekleştirilen erken damgalama yöntemlerinden biri Xia *et al.* tarafından sunulmuştur, [15], [8]. Sıkıştırma yöntemleri en çok HH bandını bozduğundan sıkıştırmaya karşı dayanıklılık açısından LH ya da HL bantları tercih edilir. [15]'in çözümüleme yöntemi, çözümlenen damga ve özgün damga işareti arasındaki ilintinin hesaplanmasına dayanır ve bu da kodlanan damganın saklanıp alıcı kısmına iletilmesini gerektirir. Tümleşik sıfır ağacı algoritması damganın kodlanması için en uygun ayrıştırma katsayılarının seçilmesinde kullanılmıştır, [4], [9]. Çözümüleme safhasında, sıfır ağacı üzerinde olduğu bilinen katsayıların ortalaması hesaplanır ve ortalama değerin işaretine göre kodlanan bit tesbit edilir. [6]'de ise TSA fikrine dayalı T_1 ve T_2 eşik değerleri arasında kalan "kısıtlı önemli katsayılar" üzerinden başka bir yöntem önerilmektedir.

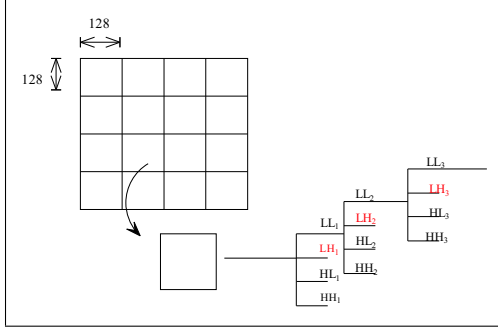
Daha önceki çalışmamızda, [17], erkek sesi, bayan sesi, duraklamalar içeren erkek sesi ve müzik işareti gibi değişik türlerdeki ses işaretlerine metin verisi kodlanmıştır. Damganın kodlanması için en kısa uzunluğa (EKU) sahip, sonlu dürtü yanıtı (SDY), alçak geçiren ve sırasıyla, f_0 ve f_1

frekanslarında atanmış sıfırlara sahip ayrıştırma süzgeçleri kullanılarak tasarlanan FB_0 ve FB_1 gibi iki değişik süzgeç kümesi kullanılır. Bu yöntemde ses işareti öncelikle belli sayıda zaman çerçevelerine bölünür ve her çerçeve o çerçeveye kodlanacak bite bağlı olarak ya FB_0 ya da FB_1 tarafından dalgacık dönüşümüne uğratılır ve 3. seviyedeki ayrıştırma katsayıları sıfıra eşitlenir. Birbirini izleyen çerçevelere kodlanmış '0' ve '1'ler dizisi metin bilgisini damga olarak kodlamamızı sağlar. Çözümüleme safhasında her çerçeve, her iki süzgeç kümesi tarafından işlenir ve o çerçeveye kodlanmış biti tesbit etmek için ayrıştırma katsayılarının uygun bir normu incelenir. Esas itibarıyla en kısa uzunluktaki, sıfır atamalı, mükemmel yeniden inşa (MYİ) özelliğinde, sonlu dürtü yanıtı süzgeç kümeleri eşsiz olduklarından, [1], damganın tesbitinde kullanılmak üzere saklanacak gerekli anahtar bilgi miktarı en düşüktür.

Burada [17]'nin sıfır atamalı süzgeç kümesi yöntemini, tümleşik sıfır ağacı dalgacıklarının kullanılmasıyla saldırılara karşı daha dayanıklı hale getirerek imge damgalamalarına uyarlıyoruz. Önceki imge damgalama yöntemlerinin avantajlarını muhafaza ederek, çözümüleme safhasında ihtiyaç duyulan anahtar bilgi miktarını azaltıyoruz. Önerilen yöntem damgayı sıfır ağacı elemanlarının genliğini $+m$ ya da $-m$ ile değiştirerek algısal olarak saydam kısımlara kodlar ve bu da iletilen bilgi miktarında bir azalmaya sebep olur. Damga imge üzerine uygulanan bir gürültü gibi düşünüldüğünde, PSNR (doruk işaret gürültü oranı) algısallığın iyi bir ölçüsüdür ve mümkün olduğunca yüksek olmalıdır. Öte yandan, damganın mümkün olduğunca düşük PSNR altında başarılı bir şekilde tesbiti, bozulma türü saldırılar karşısındaki dayanıklılığının bir ölçüsüdür. Burada tanımlanan yöntemin, Gauss gürültüsü ve sıkıştırma saldırıları altında [11], [7], ve [2]'de önerilen yöntemleri geliştirdiğini ayrıntılı bir şekilde gösteriyoruz. Bu çalışma önemli ölçüde daha önceden gerçekleştirilen [18]'ün sonuçlarına dayanmaktadır.

2. Yöntem Bilgisi

Mükemmel yeniden inşa özelliğine sahip bileşik dördül ikiz (BDİ) süzgeç kümelerinde, sentez süzgeçleri tamamen analiz süzgeçleri tarafından belirlenir, [13]. Böylece süzgeç kümesinin inşası problemi ayrıştırma süzgeçlerinin inşasına indirgenir. Yöntemimizdeki sıfır atamalar birim çembere göre arzu edilen yerlerde (ya da arzu edilen frekanslarda) atanmış sıfırlara sahip, sonlu dürtü yanıtı, dördül bileşik ikiz



Şekil 1: Genel Algoritma; Bir Çerçeveye Bit Kodlamak

ve en kısa uzunluktaki ayrışım süzgeçlerinin inşasına atıfta bulunmaktadır, [1], [17].

Gri Düzey İmgelerde Damga Kodlama ve Çözümleme

Genel olarak konuşacak olursak, yöntem gri düzey bir imgeye ikili veri kodlamaktan oluşur. Şekil 1'de gösterildiği gibi imge çerçevelere ayrılır ve her çerçeveye bir bit, '0' ya da '1', kodlanır. '0' ya da '1' bitlerine işaret etmek üzere, aynı dereceye, fakat durdurma bantlarına atanmış faklı sıfırlara sahip iki süzgeç kümesi inşa edilir.

Kodlanan bitleri birbirinden ayırmak için, her çerçeve süzgeç kümelerinin biri tarafından işlenir ve Şekil 1'deki gibi bir çoklu çözünürlük gösterimi elde edilir. Süzgeç kümesinin yapısında, her aşamada bir indirgeme işlemi içerildiğinden, özgün imgedeki her piksel bir sonraki yüksek çözünürlük derecesindeki dört piksele tekabül eder. LH ve HL bantlarında sıfır ağaçları inşa edildikten sonra, ağaç elemanları kodlanan bite bağlı olarak $+m$ ya da $-m$ ile değiştirilir. Bu değişim, iki farklı süzgeç kümesi kullanılmasıyla elde edilen ayrımın yanısıra, yayılı spektrum analizinde daha öte bir ayrım sağlar. Çözümleme safhasında alınan imge tekrar çerçevelere ayrılır ve her iki süzgeç kümesi tarafından da işlenir. Bu iki ayrışımın sıfır ağaçlarının ortalama değerleri karşılaştırılır. Belli bir süzgeç kümesinin sıfır ağacı elemanlarının beklenen değerine daha yakın olduğu ortaya çıkan ortalama değer baskın kabul edilir ve bu süzgeç kümesi tarafından belirtilen bit seçilir. Şimdi damga kodlama ve çözümleme yöntemimizin temel adımlarını tanımlıyoruz.

Kodlama:

Adım I

İmge sabit boyutlu S_1, \dots, S_N gibi çerçevelere ayrılır. Çerçevelerin sayısı, N , damga olarak kodlanacak bitlerin sayısına tekabül eder.

Adım II

Yukarıda tanımlanan sıfır atama yöntemi ve [1]'in inşa algoritması kullanılarak, FB_0 ve FB_1 gibi durdurma bantlarına atanmış sıfırlara sahip iki farklı süzgeç kümesi tasarlanır.

Adım III

Her bir çerçeve, $S_i, i = 1, \dots, N$, '0' ya da '1' bitlerinden hangisinin kodlanacağına bağlı olarak FB_0 ya da FB_1 kullanılarak "seri algoritma"ya göre dalgacık dönüşümüne uğrattılır, [5]. Her S_i 'nin L seviyeli yayılı spektrum gösterimi,

D_i , elde edilir. (Şekil 1'de gösterildiği gibi bu durumda $L = 3$ 'tür.)

Adım IV

TSA algoritmasına göre her D_i 'nin, $i = 1, \dots, N$, LH ve HL bantlarındaki önemsiz katsayılar tesbit edilir. M_i , kök yeri matrisleri, yaratılır. (Bizim durumumuzda LH kullanılmıştır.)

Adım V

D_i 'nin sıfır ağacı elemanları, D_i 'nin FB_0 ya da FB_1 kullanılarak elde edilmiş olmasına bağlı olarak $+m$ ya da $-m$ gibi sabit bir sayıyla değiştirilir. (Süzgeç kümeleri mükemmel yeniden inşa özelliğine sahip olduklarından ve seçilmiş katsayılar algısal olarak önemsiz olduklarından damgalanmış imgenin her hangi bir bozulmadan mustarip olmayacağını umuyoruz.)

Çözümleme:

Damgalanmış imgeden damgayı başarılı bir şekilde çözümlemek için sadece N, L, m sayıları, $M_i, i = 1, \dots, N$ matrisleri ve FB_0 ve FB_1 'e atanan sıfırların değerleri saklanmalı ve iletilmelidir.

Adım I

Atanan sıfır değerleri ve [1]'in inşa algoritması kullanılarak, FB_0 ve FB_1 süzgeç kümeleri inşa edilir.

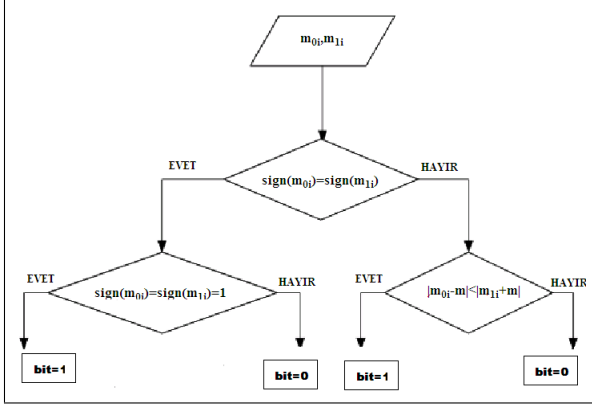
Adım II

Muhtemel olarak saldırıya uğramış bir imge, S_1, \dots, S_N çerçevelerine ayrılır ve her $S_i, i = 1, \dots, N$, çerçevesi FB_0 ve FB_1 kullanılarak sırasıyla D_{0i} ve D_{1i} dalgacık dönüşümlerine uğrattılır.

Adım III

M_i kök yeri matrisi kullanılarak hem D_{0i} hem de D_{1i} için önceden önemsiz olduğu bilinen katsayıların ortalama değerleri, m_{0i} ve m_{1i} , hesaplanır. i çerçevesinin hangi biti içerdiği, Şekil 2'te gösterilen karar algoritmasına göre tesbit edilir. Eğer $m_{0i} > 0$ ve $m_{1i} > 0$ ise, kodlanan bitin '1' olduğu çıkarımı yapılır. Benzer şekilde, eğer $m_{0i} < 0$ ve $m_{1i} < 0$ ise, çıkarılan bit '0'dır. Eğer $m_{0i} > 0$ ve $m_{1i} < 0$ ise, her iki ortalama değer de FB_0 ve FB_1 yoluyla elde edilmiş ayrışimlarla tutarlıdır ve her iki bit de makuldür. Böyle bir durumda $|m_0 - m|$ ve $|m_1 + m|$ değerleri karşılaştırılır. Eğer $|m_0 - m| < |m_1 + m|$ ise, çıkarılan bit '1'dir, aksi takdirde '0'dır. Son olarak, eğer $m_{0i} < 0$ ve $m_{1i} > 0$ ise, her ikisi de FB_0 ve FB_1 yoluyla elde edilmiş ayrışimlarla tutarlı değildir ve ne '0' ne de '1' makul değildir. Bu durumda tekrar $|m_0 - m|$ ve $|m_1 + m|$ değerleri karşılaştırılır ve $|m_0 - m| > |m_1 + m|$ ise çıkarılan bitin '0' olduğuna, aksi takdirde '1' olduğuna karar verilir.

Saklama ve güvenlik bakış açısından yöntemimiz pek çok avantaj taşımaktadır. Atanan sıfırların açıları ve genlikleri süzgeç katsayılarını hesaplamak için yeterlidir ve böylece sadece iletilen veri miktarı, yani bant genişliği, azalmakla kalmaz, aynı zamanda tüm tasarım işlemi korsanlara açık halde olmadıkça algoritma daha güvenlidir. Damgalanmış imgeye gelebilecek her hangi bir saldırıya karşın, önemsiz katsayıların yerleri basit bir ikili matriste saklanmaktadır. Dolayısıyla çözümleme aşamasında bütün ağacı yeniden inşa etmek için sadece kök yerlerini saklamak yeterlidir ve bant genişliği gereksinimi makuldür. Her kök yeri matrisi, M_i , özgün imge S_i 'nin $\frac{1}{2^L}$ katı boyutlarda olduğundan, işlemsel karmaşıklık ya da bellek gereksinimi çok fazla değildir. Dikkat



Şekil 2: Karar Algoritması

edilirse, çözümlemede saldırıya uğramış veya uğramamış imge üzerinde sıfır ağacı katsayılarını tekrar belirlemek yerine, özgün imgedeki kök yeri matrisi kullanılmaktadır.

Renkli İmgelerde Damga Kodlama ve Çözümleme

Daha önceden gri düzey imgeler üzerinde açıkladığımız yöntemin renkli imgelerde de uygulanabilir hale gelmesi için bazı değişiklikler yapılmalıdır. Kırmızı, yeşil ve mavi bileşenlerden oluşan renkli imgelerde insan görme sisteminin en az duyarlılığı gösterdiği bileşen mavidir, [3]. Renkli imgenin mavi bileşeni kabaca gri düzey imge olarak işlenir. Sıfır atamalı süzgeç kümeleri yoluyla iki seviyede dalgacık dönüşümü hesaplanan mavi bileşenin ayrıntı katsayıları üzerinde bir sıfır ağacı inşa edilir. Her bir sıfır ağacı kökü yerine bir bit kodlanır. Kodlanan bitler arasındaki farklılık bu sıfır ağacı katsayılarının değiştirildiği gömme yoğunlu ile sağlanır. Örnek olarak, kodlanmak istenen her '1' biti için, bu noktadaki sıfır ağacı kökü ve onun çocukları $+m$ ile değiştirilir. Benzer şekilde, her '0' biti için bu noktadaki sıfır ağacı kökü ve onun çocukları $-m$ ile değiştirilir.

Kodlama:

Adım I

Yukarıda tanımlanan sıfır atama yöntemi kullanılarak, durdurma bandında atanmış sıfıra sahip FB_0 gibi bir süzgeç kümesi tasarlanır.

Adım II

İmge FB_0 kullanılarak "seri algoritma"ya göre dalgacık dönüşümüne uğratılır. İmgenin L seviyeli yayılı spektrum gösterimi, D , elde edilir. (Bizim durumumuzda $L = 2$ 'dir.)

Adım III

TSA algoritmasına göre D 'nin, HH bandındaki önemsiz katsayılar tesbit edilir. M , kök yeri matrisi, yaratılır.

Adım IV

D 'nin sıfır ağacı elemanları, her kök için '0' ya da '1' bitinin kodlanmak istenmesine bağlı olarak $+m$ ya da $-m$ gibi sabit bir sayıyla değiştirilir.

Çözümleme:

Damgalanmış imgeden damgayı başarılı bir şekilde çözümlemek için sadece L , m sayıları, M kök yeri matrisi ve FB_0 'a atanan sıfırların değerleri saklanmalı ve iletilmelidir.

Adım I



Şekil 3: Özgün, Damgalanmış ve Gürültü Taşıyan 'Lena' İmgeleri

Atanan sıfır değerleri kullanılarak FB_0 inşa edilir.

Adım II

Muhtemel olarak saldırıya uğramış bir imge, FB_0 kullanılarak dalgacık dönüşümüne uğratılır.

Adım III

M kök yeri matrisi kullanılarak önemsiz olduğu bilinen katsayıların ortalama değerleri hesaplanır. Her hangi bir sıfır ağacı kökünün hangi bite işaret ettiği bu ortalama değerlerin sıfırdan büyük ya da küçük olması ile anlaşılır.

3. Sonuçlar

Sıfır atamalı süzgeç kümeleri ile imge damgalama önceden tanımlanan tekniklere pek çok açıdan üstünlük sağlar. Önerilen algoritma, gri düzey imgeler için Beyaz Gauss Gürültüsü ve sıkıştırma altında, [11], [7], ve [2]'yi PSNR özellikleri bakımından geliştirir. Özellikle [2]'de önerilen yöntemle kıyasla doruk işaret gürültü oranının 10 ila 20 dB geliştirildiği görülmektedir. JPEG sıkıştırma karşısında ise yakın değerler elde edilmiştir. Öte yandan [11]'deki PSNR değerleri de 5 ila 25 dB geliştirilmiştir.

Bu yöntem, damganın, özgün işaretin ya da bazı ek güvenlik anahtarlarının saklanması gerektiren yöntemlere kıyasla sadece atanan sıfır yerlerinin, çerçeve boyutlarının ve sıfır ağacı köklerinin saklanması gerektirmesi bakımından, daha verimlidir. Kök yeri matrisi ikili bir matristir ve dalgacık dönüşümünde kullanılan seviye sayısı, L , ne kadar büyük olursa, boyutları o kadar küçülür. Seviye sayısı, çerçeve boyutları ve kök yeri matrisi bir korsaana açık hale gelse bile, güvenlik anahtarlarını süzgeç kümelerine atanan sıfır yerlerine erişim olmadan damgalı işaretten yola çıkarak tahmin etmek imkansızdır.

Renkli ve gri düzey imgelerde, damga 0 ortalama değerine ve 1 varyansına sahip yüksek şiddetteki Beyaz Gauss Gürültüsü altında bile hatasız olarak çözümlenebilmektedir. Gri düzey imgeler üzerindeki deneylerimizde yöntemimizin tam başarı elde ettiği ortalama SNR değeri 5.30 dB'dir. Bu şiddetteki gürültüye maruz bırakılan damgalı imge Şekil 3'de görülebilir.

Ses işaretleri üzerindeki deneyler, [17], FB_0 ve FB_1 süzgeç kümelerine atanan sıfırlar birbirlerinden ne kadar uzak olurlarsa, yani FB_0 ve FB_1 süzgeçleri birbirlerinden ne kadar değişik olurlarsa, bir çerçeveye kodlanmış biti

çözümlemenin o kadar kolay olduğunu göstermiştir. Halbuki, gri düzey imge damgalamada süzgeç kümelerine atanan sıfırların yerleriyle çözümüleme kolaylığı arasında bir bağlantı görülmektedir. Burada, çözümülemeyi atanan sıfır yerlerine karşı daha dayanıklı yapan, sıfır ağacı katsayılarının gömme yoğunlukları $+m$ ve $-m$ ile değiştirilmesidir.

Bu çalışmada renkli imgelerin damgalanmasında bir adet süzgeç kümesi kullanılmıştır. Çözünürlüğü daha yüksek olan imgelerde damganın tekrarı mümkün olacağından, JPEG sıkıştırmaya karşı dayanıklılık artacaktır. JPEG sıkıştırma saldırısı karşısında, renkli imge damgalama yöntemimiz ancak 70%'den daha yüksek sıkıştırma kaliteleri için başarıyla çalışmaktadır. Eğer imge yeterli çözünürlükte ise çerçeve sayısı artırılabilir, böylece imgeye kodlanabilecek damga miktarı da artacaktır. Bu da çözümülemedeki başarı oranını yükseltecektir. Alternatif olarak birden fazla süzgeç kümesi ile çalışılarak gri düzey imgelerde kullanılan yöntem de uygulanabilir. Gri düzey imgeler üzerinde sıkıştırmaya karşı dayanıklılığın sınındığı deneylerde ise 10%'dan daha yüksek sıkıştırma kalitelerinde, damganın mükemmel olarak çözümülendiği gösterilmektedir. Buna karşılık, 10% ya da 5% sıkıştırma kalitelerinde, bir bit yanlış çözümülenebilir.

Renkli imgeler üzerindeki ortanca süzgeçleme saldırısına karşı dayanıklılığın sınındığı deneylerde süzgeç uzunluğunun çok yüksek olmadığı, yani dörtten küçük olduğu, durumlarda bit hata oranının 2% civarında olduğu tesbit edilmiştir. Her ne kadar renkli imgelerde damga bilgisi ayrınıt katsayıları içine kodlanıyorsa da yöntemimiz yüksek geçiren süzgeçlemeye de alçak geçiren süzgeçleme kadar dayanıklıdır ve bazı sık kullanılan imgelerle yaptığımız deneyler sonucunda bit hata oranının 6% civarında olduğu gözlemlenmiştir. Damga görülebilen ikili bir imge olarak seçildiğinde bu hata oranının damganın ayırt edilebilirliğini yüksek seviyelerde etkilemediği görülebilir, [16].

Çözümüleme safhasının kök yeri matrisine ve buna bağlı olarak piksel dizinine sıkı sıkıya bağlı olması sebebiyle damgalı renkli imgenin çok küçük miktarlarda döndürülmesi bile başarımda önemli azalmalara sebep olmaktadır. Ancak döndürme saldırısına karşı çözümüleme safhasında imge kademeli olarak döndürülüp damga tesbit edilebilir. Ses ve imge işaretleri için daha dayanıklı damgalama yöntemlerini araştırmaya devam ediyoruz.

4. Kaynakça

- [1] M. Akbas, *Zero Assigned Filter Banks and Wavelets*, M.Sc. Thesis, The Department of Electrical and Electronics Engineering, Bilkent University, 2001
- [2] P. Bao and X. Ma, "Image adaptive watermarking using wavelet domain singular value decomposition," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, **15**, pp. 96-102, 2005
- [3] A. Bouridane, F. Kurugollu, R. Beggs, S. Boussakta, "Colour image watermarking in the complex wavelet domain", *Electronics, Circuits and Systems, 2003. ICECS 2003 Proceedings of the 2003 10th IEEE International*

- Conference on Volume 3, 14-17 Dec. 2003 Page(s):1196 - 1199 Vol.3
- [4] I. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shamoan, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," *IEEE Transactions on Image Processing*, **6**, pp. 1673-1687, 1997
- [5] I. Daubechies, *Ten Lectures on Wavelets*, SIAM, Philadelphia, 1992
- [6] M. Hsiesh, D. Tseng, and Y. Huang, "Hiding digital watermarks using multiresolution wavelet transform", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, **48**, pp. 875-882, 2001
- [7] H. Inoue, A. Miyazaki, and T. Katsura, "A Digital Watermark for Images Using the Wavelet Transform," *Integrated Computer-Aided Engineering*, **7**, pp. 105-115, 2000
- [8] H. Inoue, A. Miyazaki, and T. Katsura, "An image watermarking method based on the wavelet transform," *1999 International Conference on Image Processing, ICIP 99 Proceedings*, **1**, pp. 296-300, 1999
- [9] H. Inoue, A. Miyazaki, A. Yamamoto, and T. Katsura, "Multimedia data-embedding and watermarking technologies," *Proceedings of IEEE*, **2**, pp. 391-395, 1998
- [10] J. Shapiro, "Embedded image coding Using zerotrees of wavelet coefficients", *IEEE Transactions on Signal Processing*, **41**, pp. 3445-3461, 1993
- [11] A. Miyazaki, "On the evaluation of wavelet filter banks for wavelet-based image watermarking," *Proceedings of the 3rd International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis, 2003. ISPA 2003*, **2**, pp. 877-882, 2003
- [12] M. Swanson, M. Kobayashi, and A. Tewfik, "A digital watermark based on the wavelet transform and its robustness on image compression," *1998 International Conference on Image Processing, ICIP 98 Proceedings*, **86**, pp. 1064-1087, 1998
- [13] P.P. Vaidyanathan, *Multirate Systems and Filter Banks*, Prentice Hall, Enlewood Cliffs, NJ, 1993
- [14] G. Wallace, "The JPEG Still Picture Compression Standard," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, pp. 18-34, 1992
- [15] X. Xia, C.G. Boncelet, and G.R. Arce, "A multiresolution watermark for digital Images," *Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing*, pp. 548-551, 1997
- [16] Z. Yücel, "Sıfır Atamalı Süzgeç Kümeleri Yoluyla Renkli İmge Damgalama", Rapor, Bilkent Üniversitesi 2006, Bilkent, Ankara
- [17] Z. Yücel and A. B. Özgüler, "An audio watermarking algorithm via zero assigned filter banks," *European Signal Processing Conference EUSIPCO 2005*, 2005
- [18] Z. Yücel and A. B. Özgüler, "An image watermarking algorithm via zero assigned filter banks," *IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology ISSPIT 2005*, 2005