

TEKİL DEĞER ÇIKARMA TABANLI RESİM DAMGALAMA TEKNİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Veysel ASLANTAŞ¹

Şaban ÖZER²

Serkan ÖZTÜRK³

^{1,3}Erciyes Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 38039 Kayseri

²Erciyes Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 38039 Kayseri

¹e-posta: aslantas@erciyes.edu.tr

²e-posta: sozer@erciyes.edu.tr

³e-posta: ozturks@erciyes.edu.tr

Anahtar sözcükler: Resim damgalama, Tekil Değer Çıkarma, Görülebilen damga

ABSTRACT

Due to advances in computer and communication networks, digital media can be easily transmitted over the Internet. Transmitted data can also be easily altered, copied or even stolen. Therefore, digital media copyright protection has become a great challenge. Digital watermarking is one of the solution methods to providing security in copyright protection. This paper first presents transform domain watermarking techniques based on Singular Value Decomposition (SVD). In the transform domain, the watermarks are embedded by modifying the transformation coefficients using Discrete Cosine Transform (DCT), Discrete Fourier Transform (DFT) and Discrete Wavelet Transform (DWT) methods based on SVD. Then, the proposed techniques performances are discussed.

1. GİRİŞ

Bilgisayar ve haberleşme ağlarındaki gelişmelerle birlikte, sayısal ses, görüntü ve video gibi çoklu-ortam dokümanlarının internet sayesinde dağılımı yaygınlaşmıştır. İnternette elde edilen bu dokümanlar kolaylıkla kopyalanabilmekte, değiştirilebilmekte ve hatta çalınabilmektedir. Bu sebeple çoklu-ortam dokümanlarının telif hakkının korunması daha çok önem kazanmıştır.

Sayısal Damgalama görsel verinin korunmasında en çok ilgilenilen yöntem olmuştur. Sayısal damgalama, bir sayısal verinin damga olarak başka bir sayısal verinin içine saklanması olarak tanımlanabilir. Buradaki sayısal veri ses, resim veya video verileridir. Telif hakkının korunması, dokümanın tahsis edildiği kişilerin izlenmesi, dokümana ait bilgilerin saklanması, kopyalanmış dokümanın algılanarak dağıtılmasının engellenmesi, dokümanın arşivlenmesi, dokümanın yayımlanıp yayılmadığının algılanması ve

dokümanda bozulma olup olmadığının belirlenmesi gibi işlemler için çoklu-ortam dokümanlarına damga gizlenir [1].

Resim damgalama görülebilen ve görülemeyen damgalama olarak iki sınıfa ayrılır [2]. Görülebilen damgalar açık ve anlaşılır bir şekilde ilgili resmin ticari kullanımını önlerken genel bir fikir veren damgalardır. Görülebilen damgalar logo gibi bir resmin köşesine eklenen desenlerdir [3]. Görülemeyen damgalar resmin sahibini tanımlamak için kullanılan fakat açık bir şekilde resim üzerinde görülemeyen damgalardır. Bu tür damgaların resim içerisine insan görme sisteminde sezilmeyecek bir şekilde gizlenmesi ve çeşitli görüntü deformasyonlarına karşı kalıcı olması beklenir.

Resimler için görünmeyen damgaların sahip olması gereken üç temel özellik vardır; Bunlardan birincisi saydamlıktır. Burada damga normal koşullar altında resim içerisinde görünmez olmalıdır. İkincisi, saldırılara karşı dayanıklılıktır. Burada damgalanmış resim doğrusal ve doğrusal olmayan çeşitli işlemlere maruz kaldığında halen algılanabilir olmalıdır. Sonuncusu ise yüksek kapasitedir. Burada damgalama tekniği bir resmin içerisine mümkün olduğunca yüksek miktarda verinin damga olarak eklenebilmesini sağlayabilmelidir [4].

Resim damgalama damganın dayanıklılığına bağlı olarak üç şekilde sınıflandırılır [5]. Birincisi sağlam damgalamadır. Buradaki en önemli özellik, damgalanmış resim doğrusal ve doğrusal olmayan çeşitli işlemlere maruz kaldığında damga halen algılanabilir olmalıdır [6-8]. İkincisi yarı-hassas damgalamadır. Burada damgalanmış resim belirli işlemlere karşı maruz kaldığında damga bu durumdan etkilenmemelidir. Fakat belirlenmeyen deformasyonlar sonucunda damga yok olabilir [9,10]. Bu damgalama çoğunlukla telif hakkının

korunması işlemlerinde kullanılır [11]. Sonucusu ise hassas damgalamadır. Burada damgalanmış resim basit bir işleme maruz kaldığında, damga kolaylıkla yok edilebilir olarak tasarlanır [12-14]. Bu damgalama yöntemi uydu ve tıbbi görüntüleme alanlarında orijinal verinin bozulup bozulmadığını belirlemek için kullanılır [1].

Damga çıkarma işlemi, damganın elde edilebilmesi için gerekli veriye bağlı olarak; denetimli (non-blind), yarı-denetimli (semi-blind) ve denetimsiz (blind) olmak üzere üçe ayrılır [15]. Denetimli damga çıkarma işleminde orijinal resim, orijinal damga ve anahtar gerekmektedir. Yarı-denetimli damga çıkarma işleminde orijinal damga ve anahtar gerekmektedir. Denetimsiz damga çıkarma işleminde ise sadece anahtar yeterlidir.

Resim damgalama yöntemleri genel olarak uzaysal domen teknikleri, DCT, DFT ve DWT gibi frekans domen teknikleri, vektör kuantalama (Vector quantisation, VQ) tabanlı teknikler ve tekil değer çıkarma (Single value decomposition, SVD) tabanlı teknikler olarak sınıflandırılabilir.

Bu çalışmada tekil değer çıkarma tabanlı resim damgalama yöntemleri incelenmiştir. DFT, DCT ve DWT gibi frekans domen tabanlı damgalama tekniklerinde SVD yöntemi kullanılarak resimlere damga gizlenmiştir. Daha sonra, bu yöntemlerin performanslarını değerlendirmek için resimlere doğrusal ve doğrusal olmayan saldırılarda bulunulmuştur. Son olarak saldırılara uğramış resimlerden damgalar çıkarılarak kullanılan yöntemler karşılaştırılarak performansları değerlendirilmiştir.

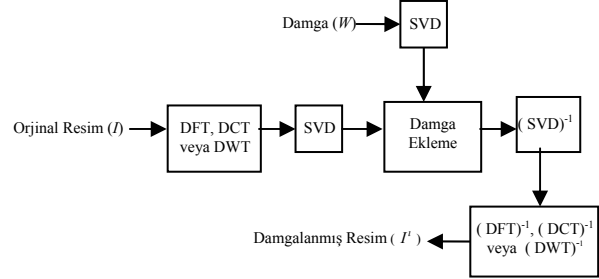
2. SVD TABANLI RESİM DAMGALAMA TEKNİKLERİ

SVD, verilen bir matristeki problemleri belirlemeye ve aynı zamanda nümerik cevaplar bulmaya yarayan bir lineer cebir metodudur. Bir A matrisi $A = U\Sigma V^T$ olmak üzere 3 ayrı matrisin çarpımına ayrıştırılabilir. Burada U ve V matrisleri ortogonal matrislerdir ($U^T U = I$, $V^T V = I$). Σ matrisi ise köşegen matristir ($\Sigma = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots)$). Σ matrisinin köşegen elemanları A matrisinin tekil değerleri olarak adlandırılır. U matrisinin elemanları A matrisinin sol tekil vektörleri ve V matrisinin elemanları ise A matrisinin sağ tekil vektörleri olarak adlandırılır. Buradaki işlem Tekil Değer Çıkarma olarak adlandırılır ve aşağıdaki gibi ifade edilir [5]:

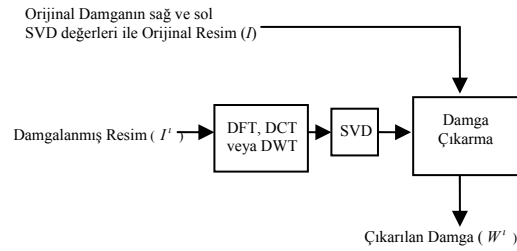
$$A = \lambda_1 U_1 V_1^T + \lambda_2 U_2 V_2^T + \dots + \lambda_r U_r V_r^T \quad (1)$$

Burada r , A matrisinin rankıdır.

SVD tabanlı resim damgalama işleminde pek çok yöntemi uygulamak mümkündür. Bu çalışmada SVD tabanlı DFT yöntemi (DFT-SVD), DCT yöntemi (DCT-SVD) ve DWT yöntemi (DWT-SVD) incelenmiş ve denenmiştir. Bu her üç yöntem için resim damgalama işleminin blok şeması Şekil 1'de verilmiştir. SVD tabanlı denetimli damga çıkarma yönteminin blok şeması da Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil-1. Genel SVD Tabanlı Resim Damgalama İşlem Blok Şeması



Şekil-2. Genel SVD Tabanlı Damga Çıkarma İşlemi Blok Şeması

2.1 DFT-SVD Tabanlı Resim Damgalama Tekniği

Burada öncelikle damga eklenilmek istenen orijinal resme iki boyutlu Fourier dönüşümü uygulanarak resmin Fourier katsayıları elde edilir. Bu katsayıların reel ve imajiner bileşenleri kullanılarak Fourier magnitudü ve faz açısı hesaplanır. Sonra orijinal resmin Fourier magnitudünün SVD'si hesaplanır:

$$A = U_a \Sigma_a V_a^T \quad (2)$$

Burada, λ_i , Σ_a 'nın tekil değerleridir..

Aynı zamanda damga resmin SVD'si hesaplanır:

$$W = U_w \Sigma_w V_w^T \quad (3)$$

Burada, λ_{wi} , Σ_w 'nın tekil değerleridir.

Daha sonra damga resme ait tekil değerler uygun bir ölçekleme değeriyle (α_k) çarpılarak orijinal resmin Fourier magnitudünün tekil değerlerine eklenir:

$$\lambda_i^* = \lambda_i + \alpha_k \times \lambda_{wi} \quad (4)$$

Böylece damgalanmış resmin tekil değerleri elde edilmiş olur. Bu tekil değerler ile önceden hesaplanan sağ (V_a^T) ve sol (U_a) tekil değerler kullanılarak SVD işleminin tersi yapılır. Daha sonra önceden hesaplanan faz açısı kullanılarak DFT işleminin tersi yapılır. Böylece damgalanmış resim elde edilir.

Damga çıkarma işleminde ise, damgalanmış resmin Fourier magnitudünün SVD'si hesaplanır:

$$A^* = U_a \Sigma_a^* V_a^T \quad (5)$$

Daha sonra Orijinal resmin Fourier magnitudünün tekil değerleri ve ölçekleme değeri kullanılarak damganın yeniden oluşturulması için tekil değerler elde edilir:

$$\lambda_{wi}^* = (\lambda_i^* - \lambda_i) / \alpha_k \quad (6)$$

Son olarak, orijinal damga resme ait sağ ve sol tekil değerler kullanılarak damga elde edilir:

$$W^* = U_w \Sigma_w^* V_w^T \quad (7)$$

2.2 DCT-SVD Tabanlı Resim Damgalama Tekniği

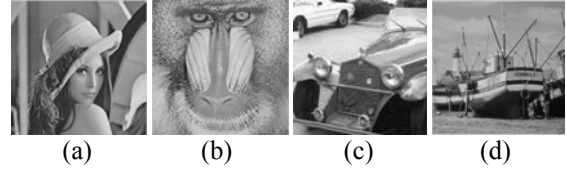
DFT-SVD tabanlı yöntemde olduğu gibi öncelikle damga eklenilmek istenen orijinal resme iki boyutlu Ayrık Kosinüs dönüşümü uygulanarak resmin DC katsayıları elde edilir. Bu katsayıların SVD'si hesaplanır. Aynı zamanda damga resmin de SVD'si hesaplanır: Daha sonra damga resme ait tekil değerleri uygun bir ölçekleme değeriyle (γ_k) çarpılarak orijinal resmin DC katsayılarının tekil değerlerine eklenir. Daha sonra SVD ve DCT işlemlerinin tersi sırayla alınarak damgalanmış resim elde edilir.

2.3 DWT-SVD Tabanlı Resim Damgalama Tekniği

DWT-SVD tabanlı resim damgalama yönteminde damga eklenmek istenen orijinal resme, Haar dalgacığı kullanılarak bir seviyeli ayrık dalgacık dönüşümü uygulanır. Bu işlem sonucunda resme ait dört ayrı alt bant (LL, HL, LH, HH) elde edilir. Elde edilen bu dört banda ayrı ayrı SVD dönüşümü uygulanarak her banda ait tekil değerler elde edilir. Aynı zamanda damga resminde tekil değerleri çıkartılır. Burada damga resim orijinal resmin 1/4'ü kadar olmalıdır (alt-bant boyutu kadar). Damga resme ait tekil değerler her band için farklı bir ölçekleme değeriyle çarpılarak alt bantlara ait tekil değerlere eklenir. Daha sonra bu tekil değerler kullanılarak her band için ters SVD işlemi yapılır. Son olarak ters dalgacık dönüşümü yapılarak damgalanmış resim elde edilir.

3. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu çalışmada Şekil 3 (a)'daki Lena resmine Şekil 3 (b-d)'deki Baboon, araba ve gemi resimleri eklenmiştir. Resimler için görünmeyen damgaların sahip olması gereken üç temel özellik; saydamlık, saldırılara karşı dayanıklılık ve yüksek kapasitedir. SVD tabanlı damgalama yöntemlerinde kullanılan ölçekleme değerinin büyük olması damganın daha kalıcı olmasında etkilidir. Çünkü ölçekleme değeri damganın eklendiği resim üzerindeki enerjisini belirler. Ölçekleme değerinin çok büyük olması orijinal resimde bozulmalara sebep olabilir. Bu yüzden bu ölçekleme değerinin optimum seçilmesi önemlidir.



Şekil-3. 256 × 256'lık 8 bit gri seviyeli resimler

Bu çalışmada üç farklı damga resim için damgalanmış her bir Lena resmine 6 farklı saldırı (bulanıklaştırma, keskinleştirme, resim döndürme, histogram eşitleme, resim ölçekleme ve gürültü ekleme) uygulanmıştır.

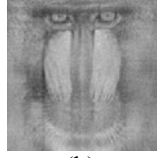
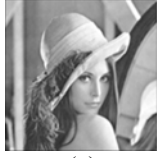
DFT-SVD tabanlı damgalama yönteminde ölçekleme değeri [-100 100] aralığında değişmektedir. Farklı ölçekleme değerleri için, orijinal resim ile damgalanmış resim ve orijinal damga ile saldırılar sonucu çıkarılan damgalar arasındaki işaret-gürültü oranı değerleri (Peak-Signal-to-noise Ratio, PSNR) aşağıdaki denkleme göre hesaplanmış ve Tablo 1'de gösterilmiştir.

$$PSNR = 10 \times \log_{10} \left(\frac{255^2}{\frac{1}{N \times N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [I_1(i,j) - I_2(i,j)]^2} \right) \quad (8)$$

Ölçekleme değerinin 45 olması durumunda Baboon resminin Lena resmine gizlenmiş ve Lena resminden çıkarılmış halleri Şekil 4-9'da gösterilmiştir.

DCT-SVD tabanlı damgalama yönteminde ölçekleme değeri [-1 1] aralığında değişmektedir. Farklı ölçekleme değerleri için, orijinal resim ile damgalanmış resim ve orijinal damga ile saldırılar sonucu çıkarılan damgalar arasındaki PSNR değeri Tablo 2'de gösterilmiştir.

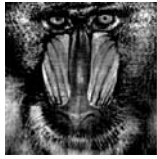
DWT-SVD yönteminde Şekil 3 (a)'daki 256 × 256'lık Lena resmine 128 × 128'lik Baboon resmi eklenmiştir 4 ayrı band için 4 farklı ölçekleme değeri kullanılmaktadır. LL bandı için ölçekleme değeri [0.01 0.1] aralığında seçilmiştir. Diğer üç band için ölçekleme değerleri [0.001 0.01] aralığında seçilmiştir. Farklı ölçekleme değerleri için, PSNR değerleri Tablo 3'de gösterilmiştir.



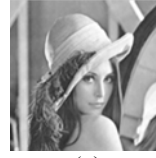
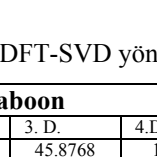
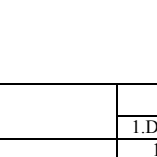
Şekil-4. Bulanıklaştırma sonucu oluşan (a) Damgalanmış Lena Resmi (b) Çıkarılan Damga



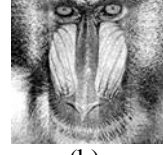
Şekil-5 Keskinleştirme sonucu oluşan (a) Damgalanmış Lena Resmi (b) Çıkarılan Damga



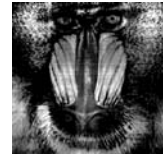
Şekil-6.45° Döndürme sonucu oluşan (a) Damgalanmış Lena Resmi (b) Çıkarılan Damga



Şekil-7. Ölçekleme sonucu oluşan (a) Damgalanmış Lena Resmi (b) Çıkarılan Damga



Şekil-8. Gürültü ekleme sonucu oluşan (a) Damgalanmış Lena Resmi (b) Çıkarılan Damga



Şekil-9. Histogram eşitleme sonucu oluşan (a) Damgalanmış Lena Resmi (b) Çıkarılan Damga

Tablo 1: DFT-SVD yöntemine göre Lena resmi için PSNR değerleri

	Baboon				Araba				Gemi			
	1.D.	2.D.	3. D.	4.D.	1.D.	2.D.	3. D.	4.D.	1.D.	2.D.	3. D.	4.D.
	10	25	45.8768	100	10	25	36.0972	100	10	25	47.0476	100
Saldırı yok	101.96	103.49	93.30	72.45	103.32	98.70	92.25	70.26	102.38	105.73	68.18	74.11
Bulanıklaştırma	58.00	64.82	68.74	68.12	57.82	64.10	66.29	66.10	58.63	64.77	94.03	68.80
Keskinleştirme	57.30	59.31	61.75	67.44	58.77	61.19	62.58	68.11	58.03	60.62	68.82	68.52
Döndürme	53.43	55.12	57.44	60.13	53.77	55.74	57.35	61.11	54.00	54.97	63.53	61.38
Ölçekleme	61.16	67.87	71.44	69.54	60.88	66.98	68.92	67.31	61.40	67.78	58.10	70.34
Gürültü Ekleme	56.86	59.51	63.28	69.10	58.02	61.73	64.05	69.16	57.79	61.35	71.46	70.41
Hist. Eşitleme	56.96	57.95	57.44	55.56	58.60	60.25	59.65	56.19	57.46	60.26	65.26	56.59
Damgalanmış Res.	80.72	72.77	67.53	61.34	80.88	72.93	69.76	61.71	81.59	73.64	58.64	62.14

Tablo 2: DCT-SVD yöntemine göre Lena resmi için PSNR değerleri

	Baboon				Araba				Gemi			
	1.D.	2.D.	3. D.	4.D.	1.D.	2.D.	3. D.	4.D.	1.D.	2.D.	3. D.	4.D.
	0.05	0.1	0.2306	0.5	0.05	0.1	0.2337	0.5	0.05	0.1	0.2683	0.5
Saldırı yok	103.68	120.03	106.01	73.77	102.25	107.63	78.71	66.96	102.44	115.48	98.29	73.39
Bulanıklaştırma	56.96	60.96	65.98	67.19	57.90	61.91	66.30	64.61	58.59	62.35	68.52	68.60
Keskinleştirme	57.11	58.32	60.65	64.11	57.63	59.60	62.76	64.62	57.16	58.84	62.57	65.89
Döndürme	55.16	56.17	58.46	60.77	54.24	55.33	58.59	60.28	54.05	54.74	58.80	61.06
Ölçekleme	58.19	62.50	67.36	68.21	60.03	64.45	68.61	65.49	59.87	63.87	70.22	69.79
Gürültü Ekleme	56.84	58.64	62.80	68.85	55.98	58.37	62.86	64.28	56.53	58.75	64.05	67.47
Hist. Eşitleme	57.01	57.91	58.68	56.96	58.65	59.12	57.46	55.97	57.53	58.76	57.46	56.37
Damgalanmış Res.	79.60	73.58	66.33	60.21	78.73	72.72	65.63	60.08	79.45	73.44	64.89	60.08

Tablo 3: DWT-SVD yöntemine göre Lena resmi için PSNR değerleri

	Baboon											
	1.D.				2.D.				3.D.			
	LL	HL	LH	HH	LL	HL	LH	HH	LL	HL	LH	HH
	0.01	0.001	0.001	0.001	0.05	0.005	0.005	0.005	0.1	0.01	0.01	0.01
Saldırı yok	70.08	69.96	67.03	65.92	97.31	83.78	82.51	82.92	110.81	88.49	87.88	90.17
Bulanıklaştırma	53.05	54.33	53.37	52.20	55.80	54.47	53.50	52.40	59.53	54.72	53.73	52.60
Keskinleştirme	55.65	56.37	56.30	56.25	56.69	56.52	56.42	56.51	57.88	56.66	56.56	56.68
Döndürme	53.23	56.25	52.55	55.52	53.49	56.55	52.83	55.66	53.90	56.84	53.17	55.79
Ölçekleme	55.33	52.24	52.18	52.20	63.83	52.30	52.23	52.33	69.21	52.37	52.28	52.46
Gürültü Ekleme	55.05	55.66	55.46	55.69	57.01	55.73	55.57	55.75	59.47	55.83	55.70	55.82
Hist. Eşitleme	56.26	56.15	56.26	56.24	56.58	56.62	56.59	56.99	56.92	57.16	56.98	57.80
Damgalanmış Res.	97.07	97.07	97.07	97.07	84.48	84.48	84.48	84.48	78.45	78.45	78.45	78.45

4. SONUÇ

Bu çalışmada tekil değer çıkarma tabanlı resim damgalama yöntemleri incelenmiştir. DFT, DCT ve DWT gibi frekans domen tabanlı damgalama tekniklerinde SVD yöntemi kullanılarak resimlere damga gizlenmiştir. Dangalanmış resimlere 6 farklı saldırı (bulanıklaştırma, keskinleştirme, resim döndürme, histogram eşitleme, resim ölçekleme ve gürültü ekleme) uygulanmıştır.

Resimler için görünmeyen damgaların sahip olması gereken üç temel özellik; saydamlık, saldırılara karşı dayanıklılık ve yüksek kapasitedir. SVD tabanlı damgalama yöntemlerinde kullanılan ölçekleme değerinin büyük olması damganın daha kalıcı olmasında etkilidir. Çünkü ölçekleme değeri damganın eklendiği resim üzerindeki enerjisini belirler. Ölçekleme değerinin çok büyük olması orijinal resimde bozulmalara sebep olabilir. Bu yüzden bu ölçekleme değerinin optimum seçilmesi önemlidir. Ölçekleme değerlerinin optimum seçilmesiyle PSNR değerlerinin yüksek bulunduğu görülmüştür.

SVD tabanlı her üç yöntemde damgalanmış resimlere keskinleştirme, resim döndürme ve histogram eşitleme saldırıları uygulandığında düşük PSNR değerleri elde edilmiştir. Ölçekleme değerlerinin optimum seçildiği değerlerde DFT-SVD tabanlı yöntem daha başarılı gözlenmiştir. DWT-SVD tabanlı yöntemde damga resim orijinal resmin 1/4'ü kadar olmaktadır. Bu diğer yöntemlere göre daha düşük kapasitede damga gizlemeyi belirtir. Ayrıca bu yöntemde 4 ayrı band için 4 farklı ölçekleme değeri kullanılmaktadır. Bu 4 ayrı bandın ölçekleme değerlerinin optimum seçilmesi diğer yöntemlere göre daha zordur.

KAYNAKLAR

- [1] Potdar, V., Han, S., Chang, E., A Survey of Digital Image Watermarking Techniques, PROCEEDINGS OF THE 3RD INTERNATIONAL IEEE CONFERENCE ON INDUSTRIAL INFORMATICS, Perth Western Australia, 10-12 Aug 2005.
- [2] Shieh, C., et al., Genetic Watermarking Based on Transform-domain Techniques, PATTERN RECOGNITION SOCIETY, 37(3), 555-565, 2004.
- [3] Pan, J.S., Huang, H.C., and Jain, L.C. (editors), Intelligent Watermarking Techniques, WORLD SCIENTIFIC PUBLISHING COMPANY, Singapore, Feb. 2004, (ISBN: 981-238-757-9), 15.
- [4] Ganic, E., et al., An Optimal Watermarking Scheme Based on Singular Value Decomposition, Uniondale, Proceedings of the IASTED INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATION, NETWORK, AND INFORMATION SECURITY (CNIS 2003), 85-90, December 10-12, 2003.
- [5] Lee, S.J., and Jung, S.H., A Survey of Watermarking Techniques Applied to Multimedia, ISIE 2001, Pusan, Korea, 272-277, 2001.
- [6] Cox, I.J., Kilian, J., Leighton, T., and Shamoon, T., Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia, IEEE TRANS. ON IMAGE PROCESSING, 1673-1687, 1997.
- [7] Fridrich, J., Baldoza, A.C., and Simard, R.J., Robust Digital Watermarking Based On Key-Dependent Basis Functions, PROCEEDINGS OF THE SECOND INTERNATIONAL WORKSHOP ON INFORMATION HIDING, 143-157, 1998.
- [8] Hashida, K.L., and Shiozaki, A., A Method of Embedding Robust Watermarks into Digital Color Images, IELCE TRANS. FUNDAMENTALS, Vol. E81-, No. 10, 2133-3237, 1998.
- [9] Fridric, J., and Goljan, M., Images with Self-Correcting Capabilities, IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE, IMAGE PROCESSING, 792-796, 1999.
- [10] Yin, P., and Yu, H.H., Semi-Fragile Watermarking System for MPEG Video Authentication, IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE, Acoustics, Speech and Signal Processing, 3461-3464, 2002.
- [11] Sun, Q., Chang, S.F., Maeno, K., and Suto, M., A New Semi-Fragile Image Authentication Framework Combining ECC and PKI Infrastructures, IEEE INTERNATIONAL SYPOSIUM, CIRCUITS AND SYSTEMS, 440-443, 2002.
- [12] Wolfgang, R., and Delp, E.J., Fragile Watermarking Using the VW2D Watermark, In Proc. SPIE/IS&T INTER. CONF. ON SECURITY AND WATERMARKING OF MULTIMEDIA CONTENTS, vol. 3657, 204-213, 1999.
- [13] Lin, E.T., Delp, E.J., A Review of Fragile Image Watermarks, MULTIMEDIA AND SECURITY WORKSHOP AT ACM MULTIMEDIA, 25-29, 1999.
- [14] Yeung, M., and Yeo, B.L., Fragile Watermarking of Three-Dimensional Objects, IEEE INTER. CONF. ON IMAGE PROCESSING, 442-446, 1998.
- [15] Ganic, E., Eskicioğlu, A., Robust DWT-SVD Domain Image Watermarking: Embedding Data in All Frequencies, Magdeburg, Germany, PROCEEDINGS OF THE ACM MULTIMEDIA AND SECURITY WORKSHOP 2004, 166-174, September 20-21, 2004.