

GABOR TABANLI AYRIK EVRİMSEL DÖNÜŞÜM KULLANILARAK GÖRÜNTÜ DAMGALAMA

Mahmut ÖZTÜRK⁽¹⁾, Aydın AKAN⁽¹⁾, Yalçın ÇEKİÇ⁽²⁾

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

⁽¹⁾ İstanbul Üniversitesi, Avcılar, 34320, İstanbul
mahmutoz@istanbul.edu.tr, akan@istanbul.edu.tr

⁽²⁾ Bahçeşehir Üniversitesi, Beşiktaş, 34349, İstanbul
yalcin@bahcesehir.edu.tr

ABSTRACT

Watermarking techniques are proposed as a solution to copyright protection of digital media files. Watermarking algorithms are mainly concentrated on spatial or spectral domains. In this work, a new and robust watermarking method that is based on spatio-frequency (SF) representations is presented. We use the Discrete Evolutionary Transform (DET) to represent an image in the SF domain. A watermark is embedded onto selected cells in the joint SF domain. Hence by combining the advantages of spatial and spectral domain watermarking methods, a robust and perceptual watermarking algorithm is presented.

Key words: Image Watermarking, Time-Frequency Analysis, Discrete Evolutionary Transform.

1. GİRİŞ

Sayısal medya ürünleri, sundukları yüksek kalite, kolaylıkla değiştirilebilir ve yüksek verimlilikle çoğaltılabilir gibi bir çok avantaj sağlamalarının yanında, kolay kopyalanabilmeleri ve değişikliklere uğratılabilmeleri nedeniyle telif haklarının korunmasının zorlaşmasına sebep olmuşlardır. Son yıllarda bu soruna çözüm olarak damgalama önerilmektedir. Sayısal damgalama, damga olarak adlandırılan bir bilginin, bir çoklu ortam nesnesinin içine, daha sonra istenildiğinde çıkartılabilecek veya tespit edilebilecek bir biçimde yerleştirilmesidir. Damga olarak kullanılan bilgi, damgalanan nesne hakkında çeşitli bilgiler olabileceği gibi kullanıcıya (veya sahibine) ilişkin bazı bilgiler de olabilir. Görüntü veya video damgalama söz konusuysa, damga olarak başka bir görüntü veya bir logo kullanılabilir. Damga olarak kullanılan görüntü görülebilir veya görülemez olarak gömülebilir.

Görüntü damgalama hakkında yapılan çalışmalar çoğunlukla uzaysal ve izgesel boyutlarda damgalama yöntemleri üzerine yoğunlaşmıştır. Her iki boyut için de başarılı damgalama yöntemleri geliştirilmiş olsa da, her yöntemin kendine has bazı zayıflıkları da bulunmaktadır. Uzaysal boyutta,

damgalanacak alan asıl görüntünün dokusuna bağlı olarak seçilir [1,2]. İzgesel boyutta ise, damga, Ayrik Kosinüs Dönüşümü (AKD) veya Ayrik Dalgacık Dönüşümü (ADD) gibi yöntemler kullanılarak dönüşüm yapıldıktan sonra gömülür. Damga dönüşüm bölgesinde görünmezlik şartlarını sağlayabilmek için orta frekans bölgelerine gömülmektedir [3,4,5]. İzgesel boyutta damgalama, dayanıklılık açısından daha avantajlıdır. Fakat izgesel boyutta çalışmanın getirdiği bazı sınırlamalar, uzaysal boyuttaki farkedilmezlik şartına uymayı zorlaştırabilir, yani görüntüde bozulmalar olabilir. Son dönemlerde bazı araştırmacılar, hem uzaysal hem de izgesel boyutların avantajlarından yararlanarak daha dayanıklı ve farkedilemez damgalama yapabilmek için görüntünün birleşik uzaysal-izgesel gösterimini kullanan yöntemler geliştirmeye çalışmaktadır [6,7]. Birleşik uzaysal-izgesel düzlemde damgalama, görüntünün içinde ne kadar, hangi bölgede ve hangi frekans aralığında bilgi saklanabileceğine ilişkin esneklik sağlamaktadır. Bu çalışmada, tek boyutlu işaretler için bir zaman-frekans (ZF) gösterim yöntemi olan Gabor açılımı tabanlı Ayrik Evrimsel Dönüşüm (AED) ile yeni bir görüntü damgalama yöntemi sunulmaktadır. Damgalama işleminin ardından damga sezme yöntemi de verilecektir.

2. GABOR TABANLI AYRIK EVRİMSEL DÖNÜŞÜM

Ayrık zamanlı bir $x(n)$, $0 \leq n \leq N-1$, dizisi için zamanla değişen bir çekirdek, $X(n, \omega_k)$, yardımı ile aşağıdaki gibi sinüsoidal bir gösterim elde edilebilir [8,9]:

$$x(n) = \sum_{k=0}^{K-1} X(n, \omega_k) e^{j\omega_k n} \quad (1)$$

Burada $\omega_k = 2\pi k / K$, $0 \leq k \leq K-1$, K frekans örneği sayısı, ve $X(n, \omega_k)$ ayrık evrimsel dönüşüm (AED) çekirdeğini göstermektedir. İşaretin zamanla değişen izgesi bu dönüşüm yardımı ile $S(n, \omega_k) = |X(n, \omega_k)|^2 / K$ ile elde edilebilmektedir. AED

çekirdeği, $X(n, \omega_k)$ işaret cinsinden aşağıdaki gibi elde edilebilir:

$$X(n, \omega_k) = \sum_{\ell=0}^{N-1} x(\ell) W_k(n, \ell) e^{-j\omega_k \ell} \quad (2)$$

Burada $W_k(n, \ell)$ genel olarak zaman ve frekans bağımlı pencere fonksiyonunu göstermektedir. AED kısa-zamanlı Fourier dönüşümünün genelleştirilmiş hali olarak yorumlanabilir [9]. $W_k(n, \ell)$ penceresi dik olmayan taban fonksiyonları kullanan Gabor açılımı veya dik taban kullanan Malvar dalgacıkları ile elde edilebilmektedir [9]. Pencerenin enerjisi normalize edilerek evrimsel izgenin işaret enerjisini koruması sağlanabilir. Görüldüğü gibi AED kullanıldığında, işaret ZF gösteriminden Wigner dağılımı gibi ZF dağılımlarına göre çok daha kolayca geri elde edilebilmektedir [10]. Dolayısı ile damgalama uygulamaları için oldukça uygun bir ZF analizi yöntemidir.

3. UF TABANLI GÖRÜNTÜ DAMGALAMA

Önerdiğimiz uzay-frekans tabanlı damgalama yönteminde, görüntünün satırları tek boyutlu işaretler olarak düşünülmekte ve birleşik uzay-frekans boyutuna dönüşümleri ayrı ayrı yapılmaktadır. Böylece her bir satır için ayrı bir uzay-frekans matrisi elde edilmektedir. Damga, bu uzay-frekans matrisleri içinden seçilen katsayılara gömülmektedir.

Damgayı görüntünün bütün satırlarına gömmek mümkün olsa da, güvenlik için sadece bizim seçtiğimiz bazı satırlara gömülmektedir. Damga, her bir satırın AED matrisi içerisinde de yine sadece bizim belirlediğimiz katsayılara eklenmektedir. Böylece hem satırlar, hem de katsayılar için ayrı anahtarlar kullanılmakta ve damgalama işlemi oldukça güvenli bir hale getirilmektedir.

İki boyutlu görüntüleri doğrudan uzay-frekans boyutunda ifade edebilmek içinde bazı yöntemler önerilmiştir. Fakat yoğun işlem yükü bu yöntemlerin damgalama uygulamalarında kullanımını zorlaştırmaktadır [6]. Son yıllarda, Wigner Dağılımı kullanılarak görüntünün satırlarına damga gömme yöntemi uygulanmıştır [7,10]. Ancak satır dizisinin Wigner veya diğer bir Cohen sınıfı ZF dağılımından geri elde edilmesi genellikle zor bir problemdir. AED doğrusal bir dönüşüm olduğu için damgalama çalışmalarında kullanılması daha uygundur. Bu nedenle, bu çalışmada AED kullanılarak uzay-frekans tabanlı bir damgalama yöntemi önerilmiştir.

Eğer, $I(x, y)$, $0 \leq x, y \leq N-1$, asıl görüntü ise, görüntünün x. satırı için AED:

$$X_I(y, \omega_k) = \sum_{\ell=0}^{N-1} I(x, \ell) W(y, \ell) e^{-j\omega_k \ell} \quad (3)$$

elde edilir. Ve burada $0 \leq y, k \leq N-1$ şeklindedir. Damga dizisi ise $w(n)$, $0 \leq n \leq M-1$, ile gösterilir. M , damga dizisinin büyüklüğünü göstermektedir ve ne kadar büyükse, önerilen yöntemin kapasitesi o kadar büyük olacaktır. Bu çalışmada damga olarak rasgele üretilmiş sıfır ortalama ve birim varyanslı, $M=1000$ adet gerçel sayıdan oluşan elemana sahip bir Gauss dağılımlı dizi kullanılmıştır.

Görüntünün x. satırının AED matrisinden damga dizisinin eleman sayısı kadar katsayı seçilir ve bu katsayılara damga,

$$c'(n) = c(n) + \alpha.c(n).w(n), \quad (4)$$

şeklinde eklenir. Burada $c(n)$, $n=1,2,\dots,M$, AED katsayılarını, $w(n)$ damga dizisini göstermektedir. α ise bizim belirleyeceğimiz bir ağırlık sabitidir. Damga eklenen katsayıların indisleri, damga çıkartılması ya da tespiti aşamasında gerekeceğinden anahtar olarak saklanır. Hem böylece anahtara sahip olmayan kişiler, damganın gömüldüğü katsayıları tespit edilemez ve damganın güvenliği sağlanmış olur. UF bölgesinde damga gömme işlemi tamamlandıktan sonra, Ters AED (TAED) yoluyla damgalanmış görüntü satırı elde edilir:

$$\hat{I}(x, y) = \sum_{k=0}^{K-1} \hat{X}_I(y, \omega_k) e^{j\omega_k y}. \quad (5)$$

Burada, $\hat{X}_I(y, \omega_k)$ damga eklenmiş AED katsayılar matrisini, $\hat{I}(x, y)$ ise damgalanmış görüntü satırını göstermektedir.

Damga gömme işlemi, görüntünün tüm satırları için yapılabilir. Ancak güvenlik açısından risk oluşturacağı ve işlem yükünü çok arttıracığı için tercih edilmemiştir. Bunun yerine belirli bir sayıda rasgele satır seçilmiş ve sadece onlar damgalanmıştır. Bu durumda damgalanan satırların indislerini de bir güvenlik anahtarı olarak saklamak ve tespit aşamasında kullanmak gerekmiştir. Bu yolla ikinci bir güvenlik koruması da sağlanmış olur. Bu yöntemle uzay-frekans boyutunda damga gömmenin, damgalamanın kapasitesinin oldukça yükseltilebilmesine olanak vermesi önemli bir avantajdır.

4. DAMGA SEZME

Telif haklarının korunması gibi pratik uygulamalarda öncelikli amaç, görüntü çeşitli bozulmalara, yani saldırılara uğramış olsa bile, içerisinde örnek damgalardan hangisinin bulunduğunu tespit edebilmektir.

Bu çalışmada ilinti tabanlı bir damga sezme yöntemi kullanılmaktadır. Bunun için önce damgalanmış görüntü satırının AED'si hesaplanır. AED katsayılar matrisinden, damgalanmış katsayılar anahtar yardımıyla bulunur ve bir dizi haline getirilir. Böylece $c'(n)$ dizisi yeniden elde edilmiş olur. $c'(n)$, damgalanmış ve büyük olasılıkla saldırılar sonucu bozulmalara uğramış katsayıları içerir. Elimizde bulunan örnek damgalar kümesindeki herhangi bir damganın $c'(n)$ dizisi içerisine gömülü olup olmadığını test edebilmek için, bu dizinin bütün örnek damgalarla olan ilintisi hesaplanır. Bu ilinti sonuçları, test edilen damganın görüntüde mevcut olup olmadığına karar verilebilmesi için kullanılır. Karar verme işlemi için bir eşik değeri hesaplanmalı ve ilinti sonuçları bu değer ile karşılaştırılmalıdır. Sadece gerçek damganın ilinti testinin sonucu bu eşik değerini aşacaktır. Böylece görüntüye hangi damganın gömülmüş olduğu tespit edilebilmektedir. Damgalanmış ve saldırılar sonucu bozulmuş katsayılar dizisi, $c'(n)$, ve damga dizisi, $w(n)$, arasındaki ilinti,

$$\langle c'(n) w(n) \rangle = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M c'(n)w(n) \quad (6)$$

şeklinde ifade edilir. İlinti testine tabi tutulan örnek damgayı $z(n)$ ile gösterirsek,

$$\langle c'(n) z(n) \rangle = t(n) = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M c'(n)z(n) \quad (7)$$

elde edilir. Buradan

$$t(n) = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M [c(n)w(n) + \alpha c(n)w(n)z(n)]. \quad (8)$$

Eğer test edilen damga $z(n)$ ve görüntüye gömülü damga, $w(n)$, aynı ise, yukarıdaki eşitlik

$$t(n) = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M [c(n)w(n) + \alpha c(n)w^2(n)] \quad (9)$$

şeklini alır. Bu çalışmada damga olarak sıfır ortalama ve birim varyanslı, rasgele Gauss diziler

kullanılmıştır. İlinti tabanlı bir sezici aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

$$\begin{aligned} t > \eta &\Rightarrow H_1 \\ t < \eta &\Rightarrow H_0 \end{aligned} \quad (10)$$

Burada η , eşik değerini göstermektedir. H_1 ile gösterilen bir numaralı hipotezin gerçekleşmesi durumunda, test edilen damganın, görüntüye gömülü olan damga ile aynı olduğu kabul edilir. H_0 ile gösterilen sıfır numaralı hipotezin gerçekleşmesi durumunda ise, ya test edilen ve gömülü olan damgalar farklıdır, ya da görüntüye hiç damga eklenmemiştir.

Bir eşik değeri seçildikten sonra, herhangi bir saldırının olmadığı koşullarda hata olasılığı aşağıdaki şekilde elde edilebilir.

$$P_e = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_t^2}} \int_{\eta}^{\infty} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu_t}{\sigma_t}\right)^2} dx = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{\eta}{\sqrt{2\sigma_t^2}}\right) \quad (11)$$

Bu eşitlikten hata olasılığının tam olarak elde edilebilmesi için, asıl görüntünün varyansı, σ_c^2 , ve ortalaması, μ_c , hesaplanabilmelidir. Kullanılma ihtimali olan tüm görüntüler için AED katsayılarının beklenen değerinin hesaplanması gerektiğinden, bu çok zor bir yöntemdir. Fakat deneysel yöntemlerle iyi yaklaşımlar elde edilebilir.

İlntinin istatistiksel karakteristikleri incelenirken, öncelikle hem damga eklenen AED katsayılar dizisinin, hem de damga dizisinin sıfır ortalamalı ve bağımsız rasgele değişkenler oldukları kabul edilmiştir. Bu varsayımlar altında $t(n)$ 'nin ortalaması ve varyansı hesaplanmıştır. Test edilen damga, görüntüye gömülü olan damga ile aynı ise $\mu_t = \alpha\mu_c$ olduğu bulunmuştur. Test edilen damga, görüntüye gömülü olan damga ile aynı değil ise veya görüntüde hiç damga yoksa $\mu_t = 0$ olduğu görülmüştür [12].

$$\mu_t = \begin{cases} \alpha\mu_c & , \text{Damga var} \\ 0 & , \text{Damga yok veya farklı} \end{cases} \quad (12)$$

$t(n)$ 'nin varyansı ise, bazı kabul ve yaklaşımlar yardımıyla,

$$\sigma_t^2 \cong \frac{\sigma_c^2}{M} \quad (13)$$

olarak bulunmuştur. Görüldüğü gibi, $t(n)$ 'in olasılık yoğunluk fonksiyonu, ortalamaları farklı, varyansları eşit olan iki ayrı Gauss eğrisinden oluşmaktadır. Bunlardan, H_0 'ın oluşma olasılığını gösteren 0,

H_1 'in oluşma olasılığını gösteren ise $\alpha\mu_c$ ortalama değerine sahiptir.

Görüntünün herhangi bir saldırıya uğramadığı durumda eşik değeri, Gauss eğrilerinin orta noktası olarak seçilebilir. Burada, birinci Gauss eğrisinin ortalaması $\mu_1 = 0$, ikinci Gauss eğrisinin ortalaması ise $\mu_2 = \mu_1 = \alpha\mu_c$ şeklindedir. Bu nedenle, saldırı olmadığı durumda eşik değerini,

$$\eta = \frac{\mu_2}{2} = \frac{\alpha}{2} \mu_c \quad (14)$$

şeklinde hesaplayabiliriz. Pratik uygulamalarda, asıl görüntünün ortalama değerini bazı yaklaşımlarla bulup, ondan eşik değerini hesaplamak yerine, doğrudan damgalanmış görüntünün AED katsayılarının ortalamasını kullanmak daha uygulanabilir olacaktır:

$$\eta = \frac{\alpha}{2} \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M c'(n) \quad (15)$$

Çeşitli deneysel çalışmalar göstermiştir ki, görüntüye saldırı uygulanırsa, H_0 hipotezini karşılayan sıfır ortalamalı Gauss eğrisinin varyansı, σ_1 , hemen hemen aynı kalmaktadır. Fakat H_1 hipotezini karşılayan $\alpha\mu_c$ ortalamalı Gauss eğrisinin varyansı dikkat çekici biçimde artmaktadır. Ayrıca μ_1 'in saldırı altında bile değişmediğini ve sıfır olarak kaldığını kabul edebiliriz. Fakat μ_2 değişmiş olsa bile, son ifadeden görülebildiği gibi, damgalanmış ve bozulmuş AED katsayılarından kestirilebilir. Sonuç olarak saldırı uygulanması durumunda, t 'nin olasılık yoğunluk fonksiyonunda iki Gauss eğrisinin hala mevcut olduğu, fakat μ_2 ortalamalı olan ve H_1 hipotezinin olasılığını gösteren eğrinin varyansının oldukça arttığı söylenebilir. Bu durumda eski eşik değeri kullanılmaya devam edilirse hata olasılığı yükselecektir.

Bu sebeple damga sezme aşamasında damganın bulunup bulunmadığına karar vermek için daha düşük bir eşik değeri seçilmelidir. Yani eşik değeri sıfıra daha yakın olmalıdır. Bu durumda eşik değeri,

$$\eta = \frac{\alpha}{4} \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M c^*(n) \quad (16)$$

esitliğinden elde edilebilir. Burada $c^*(n)$ damgalanmış ve saldırıya uğramış görüntünün AED katsayılarını göstermektedir. Kısaca, çeşitli saldırıların uygulanmış olması ihtimalinin bulunduğu

durumlarda sıfıra daha yakın bir eşik değeri seçilmesi uygun olacaktır.

5. DENEYSEL SONUÇLAR

Önerilen damgalama yöntemi, yaygın olarak kullanılan Lena ve Baboon görüntülerine uygulanarak sezim başarımı incelenmiştir. Damga olarak sıfır ortalama ve birim varyanslı, rasgele, Gauss dağılımlı diziler kullanılmıştır. Damgalanmış Baboon görüntüsü Şekil 1'de, damgalanmış ve asıl Baboon görüntüleri arasındaki farkın 1000 kat güçlendirilmiş hali ise Şekil 2'de verilmiştir. Görüldüğü gibi damgalama işlemi gözle görülebilir bir bozulma oluşturmamıştır.

6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmada ZF analizi tabanlı yeni bir damgalama yöntemi önerilmiştir. ZF dönüşümlerini gerçekleştirmek için Ayrık Evrimsel Dönüşüm (AED) kullanılmıştır. Önerilen damga gömme yöntemi hem uzaysal hem de izgesel boyutların avantajlarını birleştirmektedir. Böylece sadece uzaysal ya da sadece izgesel boyutta yapılan damgalama çalışmalarına göre daha başarılı bir yöntem sunulmaktadır. Damganın sezilmesi amacıyla, asıl görüntünün kullanılmadığı bir yöntem önerilmiştir. Damgalama işlemi değişik görüntüler için denenmiş ve gözle görülür bir değişiklik yaratmadığı gözlemlenmiştir. Yöntemin saldırılar karşısındaki başarımı denenme aşamasındadır. Önerilen doğrusal damga gömme ve sezim algoritmaları hesaplama açısından oldukça basit ve hızlıdır.

7. KAYNAKÇA

- [1] N.Nikolaidis, and I.Pitas, "Robust image watermarking in the spatial domain", *Signal Processing*, vol.66, pp.385-403, 1998.
- [2] O.Bruyndonckx, J.J.Quisquater, and B.Macq, "Spatial method for copyright labeling of digital images", in *Proc. IEEE Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing*, June 1995, pp. 456-459.
- [3] M.Barni, F.Bartolini, A. De Rosa, and A. Piva, "Capacity of the watermark channel: How many bits can be hidden within a digital image?", in *Proc. SPIE*, Jan. 1999, vol. 3657, pp. 437-448.
- [4] J.J.K. O'Ruanaidh and T. Pun, "Rotation, scale and translation invariant digital image watermarking", *Signal Processing, Special Issue on Copyright Protection and Control*, vol.66, no.3, pp. 303-317, May 1998.

[5] S.Pereira, S.Voloshynoskiy, and T.Pun, "Optimal transform domain watermark embedding via linear programming", *Signal Processing*, vol.81, no.6, pp.1251-1260, June 2001.

[6] S. Stankovic, I. Djurovic, and I. Pitas, "Watermarking in the space/spatial-frequency domain using two-dimensional radon-wigner distribution", *IEEE Transactions on Image Processing*, vol.10, pp.650-658, April 2001.

[7] B.G. Mobasseri, "Digital watermarking in the joint time-frequency domain", in *IEEE International Conference on Image Processing*, 2002, vol.3, pp. 481-484.

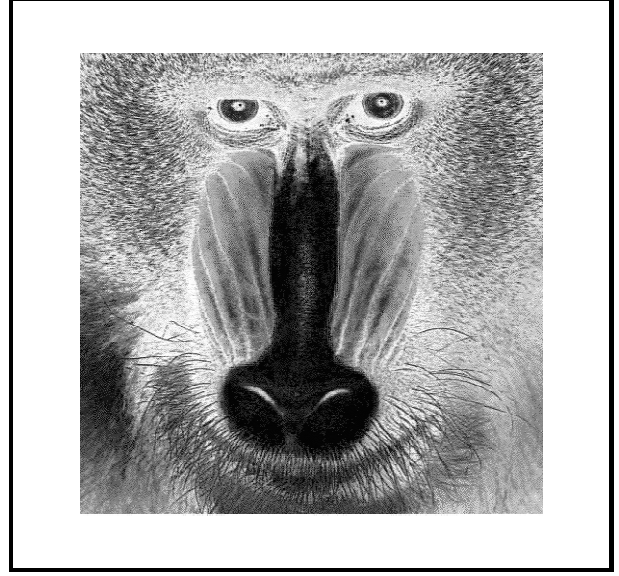
[8] Akan, A., and Chaparro, L.F., December 1997, "Multi-Window Gabor Expansion for Evolutionary Spectral Analysis", *Signal Processing*, vol. 63, pp. 249-262.

[9] Suleesathira, R., Chaparro, L.F., and Akan, A., "Discrete Evolutionary Transform for Time-Frequency Analysis," *Journal of The Franklin Institute*, Vol. 337, No. 4, pp. 347-364, July 2000.

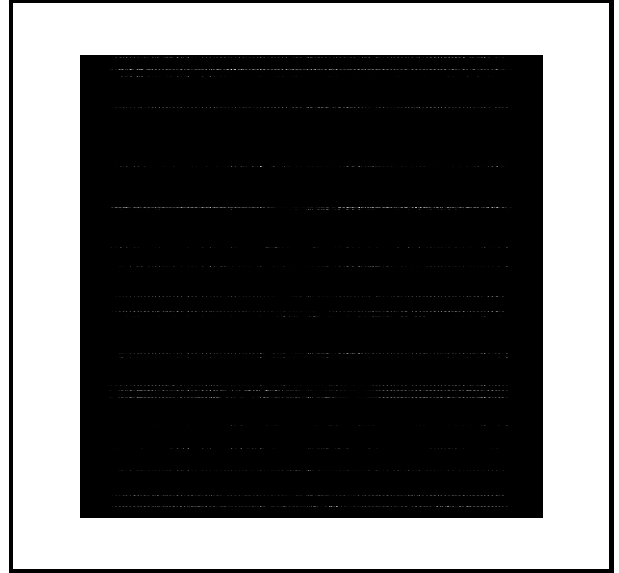
[10] M. Al-Khassaweneh and S. Aviyente, "A time-frequency inspired robust image watermarking", *Conference Record of the Thirty-Eighth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers 2004*, vol. 1, pp. 392-396, 2004.

[11] G.C. Langelaar, I. Setyawan, and R.L. Lagendijk, "Watermarking digital image and video data", *IEEE Signal Processing Magazine*, vol.17, no.5, pp.20-46, September 2005.

[12] M.Barni, F.Bartolini, V.Cappellini, A.Piva, "A DCT-domain system for robust image watermarking", *Signal Processing*, vol.66, no.3, pp.357-372, May 1998.



Şekil 1. Damgalanmış Baboon Görüntüsü.



Şekil 2. Damgalanmış ve Asıl Baboon Görüntüleri Arasındaki Fark (1000 kat güçlendirilmiş).