

웨이브렛 변환 및 공간지각특성을 이용한 디지털영상 워터마킹

배미영* · 이정환* · 김운호*

*안동대학교 전자정보산업학부

Digital Image Watermarking based on Wavelet Transform and Spatial Perceptual Properties

Mi-Young Bae* · Jeong-Hwan Lee* · Yun-Ho Kim*

*School of Electronic & Information Eng. Andong University,

E-mail : mybae@andong.ac.kr

요 약

본 논문에서는 디지털영상 데이터의 저작권보호를 위한 워터마킹 방법을 제안하였다. 먼저 디지털 영상을 웨이브렛변환을 수행하여 주파수영역으로 변환하고, 변환된 주파수영역에 워터마크를 삽입하였다. 이때 워터마크를 삽입할 때 영상의 특징과 인간시각시스템의 공간지각특성을 고려하여 비기시적으로 워터마크를 삽입하였다. 제안된 방법은 비가시적인 방법이며 또한 워터마크를 검출할 때 원 영상이 사용되지 않는 blind워터마킹 방법이다. 제안된 방법의 성능을 평가하기 위해 다양한 디지털 영상에 적용한 결과 JPEG, 영상개선, cropping, 필터링 등의 기본적인 영상처리에 강인함을 보였다.

ABSTRACT

This paper proposes an digital image watermarking method based on discrete wavelet transform(DWT) and spatial perceptual properties of human visula system. First, an digital image is transformed by DWT and inserted gaussian watermark into the frequency domain. To increase the robustness and perceptual invisibility of watermark, the proposed algorithm is combined with the characteristics of digital image and human visual system. The proposed method is invisible and blind watermarking which the original image is not required to detect watermarks. Simulation results show that the proposed method is robust to the general attack such as JPEG compression, enhancement, noise, cropping, and filtering etc.

키워드

영상처리, 저작권보호, 워터마킹

1. 서 론

근래 멀티미디어의 제작과 공급이 대량화하고 인터넷과 네트워크 등을 통한 대량 복사 및 분배가 급속하게 증가함에 따라 디지털 영상 데이터의 저작권 보호의 중요성이 인식되고 있으며, 아울러 다양한 방법이 제시되고 있다[1,4]. 디지털 저작권 문제는 DRM등과 같은 데이터 암호화(encryption) 기법들이 수년간 연구되어 왔으며, 최근에는 멀티미디어 데이터의 저작권 보호 요소 기술로 워터마킹(watermarking) 기법이 활발히 연구되고 있다[2,11].

일반적인 디지털 워터마킹은 인간 시각으로는 지각할 수 없는 소유권정보(워터마크)를 디지털 영상내에 삽입하는 방법으로 비소유권자의 불법적인 조작을 막고 필요할 경우 소유권인증을 제시하여 주는 방법이다. 워터마킹의 일반적인 조건은 해커등 불법적인 공격자(attacker)에 의해 쉽게 제거되지 않아야하고, JPEG등 영상압축에 견고해야하며 또한 영상개선, 복원, 필터링 cropping 등의 기본적인 영상조작에 강인(robust)하여야 한다[4,5].

워터마킹은 워터마크의 삽입 및 검출과정의 적용영역에 따라 공간영역(spatial domain) 방법과

주파수영역(frequency domain) 방법으로 대별된다[4,6,8-11].

공간영역에서의 워터마킹으로는 특정위치의 화소값을 직접 변화시켜 워터마크를 삽입하는 방법으로 계산량이 비교적 적고 단순하지만 영상압축, 잡음 등에 강인하지 못하여 JPEG등에 적용하기 어려운 단점이 있다. 반면 주파수 영역에서의 워터마킹은 원 영상을 DCT, 웨이브렛 변환등을 통하여 주파수 영역으로 변환하고, 적당한 주파수 대역에 워터마크를 삽입하는 방식이다. 주파수 영역 방법은 추가적인 연산이 필요하지만 영상압축, 잡음 등에 비교적 강인한 특성을 갖는다.

공간영역에서의 대표적인 워터마킹은 원 영상 신호의 최하위비트(LSB)와 워터마크 신호와의 배타적논리합(XOR)의 결과에 따라 미리 정해진 값을 더하거나 빼주어 워터마크를 삽입하는 방식으로 워터마킹을 수행한다. 워터마크를 검출하는 방법은 삽입과정을 반대로 수행하는 것으로 워터마크삽입된 영상과 원 영상의 차를 비교하여 워터마크를 검출하게 된다[4].

주파수 영역에서의 워터마킹은 DCT변환 및 웨이브렛변환을 수행하고 주파수 계수를 변경하여 워터마크를 삽입하는 방식이다. DCT 변환을 이용한 방법은 원 영상을 8x8 블록별 DCT를 수행하고, 각 블록의 주파수계수중 중간주파수 영역의 계수를 선택하여 워터마크를 삽입한다[4]. 중간주파수 대역에 워터마크를 삽입하는 이유는 화질의 열화를 줄이고 워터마크의 비가시성을 만족시키기 위한 것이다. 이와 같은 대표적인 방법인 Cox[2,4]의 방법은 스펙트럼확산법을 이용한 것으로 DCT변환 후 직류성분(DC계수)을 제외한 DCT 계수중 크기가 큰 1000개를 선택하여 워터마크를 삽입하였다. 워터마크는 정규분포를 따르는 난수값을 이용하였으며 식(1)과 같다[2].

$$v_i^* = v_i + \alpha w_i \quad \text{for } i=1, 2, 3, \dots, 1000 \quad (1)$$

여기서 v_i^* 는 워터마크가 삽입된 DCT계수이고, v_i 는 원 영상을 DCT변환한 계수이다. w_i 는 워터마크를 나타내고 α 는 워터마크의 삽입강도를 결정하는 변수이다. α 를 크게하면 강인성은 유지되나 워터마크가 삽입된 영상의 비가시성이 만족되지 않는다. 워터마크 검출방법은 일반적으로 워터마크가 삽입된 영상과 원 영상을 각각 DCT변환 후 DCT계수를 비교하여 워터마크를 검출하는데, 삽입전후의 워터마크의 상관계수등과 같은 유사도를 측정하여 워터마크를 검출한다.

본 논문에서는 웨이브렛변환 및 인간시각시스템에 기초하여 디지털 영상에 워터마크를 삽입하는 방법을 연구하였다. 즉 디지털 영상을 웨이브렛 변환을 통하여 주파수대역을 나누고 각 주파수대역의 특성과 인간시각시스템의 공간지각특성을 고려하여 워터마킹하는 방안을 연구하였다.

II. 제안된 디지털영상 워터마킹

1. 공간지각특성 및 웨이브렛 변환

인간의 시각시스템은 공간필터의 특성을 가지고 있으며 밝기의 변화에 다르게 반응하는 공간지각특성을 가지고 있다. 즉 인간의 시각특성은 한 화소의 값을 인식하지 않고 주변 화소 값의 평균을 인식하는 저주파 필터 특성과 영역 경계의 화소 값의 변화량을 인식하는 고주파 특성을 모두 갖춘 대역통과(band-pass) 필터라는 성질을 이용하면 워터마크를 삽입할 때 보다 비가시적으로 삽입할 수 있다. 인간 시각시스템이 화소 (x, y) 의 국부 평균값을 인식한다고 하면, 원 화소값과 국부 평균값의 차이가 시각시스템이 인식하지 못하는 오차의 한계값이라고 할 수 있다. 이때 오차값이 작으면 현재 화소값은 주변 영역과 비슷한 값을 갖고 있는 것으로 공간적인 변화가 적은 영역에 존재함을 의미한다. 또한 오차값이 크면 현재화소는 주변 화소값과 다른 것으로 공간적인 변화가 심한 고주파 영역임을 의미한다.

따라서 오차값을 이용하여 공간적인 화소값의 변화량인 공간활성도(local region activity)를 식(2)와 같이 구할 수 있다.

$$L(x, y) = \sum_{k=-1}^1 \sum_{l=-1}^1 w |f(x+k, y+l) - m(x, y)| \quad (2)$$

여기서 $f(x, y)$ 는 화소값이고 $m(x, y)$ 는 국부평균값이다. 그리고 인간 시각시스템은 대각선 방향보다 수평 및 수직방향의 화소값의 변화량을 더 민감하게 인식하므로 수평 및 수직방향의 화소값의 변화량을 고려할 때는 가중치를 크게($w=2$)하여 공간활성도를 구한다.

본 논문에서는 워터마크를 삽입하기위해 먼저 원 영상을 Daubechies-5/3 커널을 이용하여 다해상도(multiresolution)로 분해하였다[7]. 그림1에 웨이브렛변환을 통해 얻은 영상의 주파수 대역을 표시하였다.

여기서 $V(\phi, j)$ 를 분해된 영상의 부대역(sub-band)이라고 하면 $j=\{0, 1, 2, 3\}$ 는 레벨을 의미하고, $\phi=\{LL, LH, HL, HH\}$ 는 부대역 방향을 나타낸다.

2. 워터마크 삽입 및 검출

본 논문에서는 디지털 영상에 대한 블라인드(blind) 워터마킹 방법을 연구하였다. 먼저 영상을 웨이브렛 변환을 적용하여 다해상도로 분해한다. 그리고 분해된 각 부대역 $\{LL, LH, HL, HH\}$ 중 워터마크가 삽입된 영상의 비가시성조건을 만족하도록 LL대역을 제외한 대역의 계수값을 변경하여 워터마크를 삽입한다. 또한 영상에 대한 인간 시각시스템의 공간지각특성을 고려하여 워터마크의 삽입강도를 결정하였다.

웨이브렛 영역에서 인간시각시스템은 부대역중 45°방향(HH대역) 부대역의 잡음에 보다 덜 민감하게 반응하고, 또 밝기값이 큰 영역에 포함된 잡음에 덜 민감하다. 또한 서로 인접한 영역의 밝기 혹은 질감변화가 심한 텍스처(texture)영역의 잡음에 덜 민감하게 반응하는 것으로 알려져 있다[4].

본 논문에서는 위와 같은 사항을 고려하여 워터마크를 삽입하였으며 식(3)을 이용하여 삽입하였다.

$$V^*(\phi, j; x, y) = V(\phi, j; x, y) + \alpha M(\phi, j; x, y) W(x, y) \quad (3)$$

여기서 $V^*(\phi, j; x, y)$ 는 워터마크가 삽입된 웨이브렛 계수이고, $V(\phi, j; x, y)$ 는 원 영상의 계수이다. 그리고 $M(\phi, j; x, y)$ 는 워터마크가 삽입된 영상의 비가시성 및 강인성을 만족시키기 위한 가중치함수이다. α 는 워터마크의 삽입크기를 결정하는 변수이고, $W(x, y)$ 는 $N(0, 1)$ 인 정규분포를 갖는 워터마크로 난수발생기를 이용한다.

가중치 함수 $M(\phi, j; x, y)$ 는 참고문헌[6]를 변경하여 식(4)와 같이 계산한다.

$$M(\phi, j; x, y) = \Gamma(\phi, j) \Delta(j; x, y) T(\phi; x, y) L(x, y) \quad (4)$$

여기서 $\Gamma(\phi, j) = SR$ 로 영상의 고주파수 성분에 대한 잡음민감도를 반영하기 위한 값으로 S 는 $\phi = HH$ 인 경우는 $\sqrt{2}$ 이고 그 외는 1이다. 또한 R 은 $j=0$ 인 경우 1.0이고 $j=1$ 이면 0.32이다.

$\Delta(j; x, y)$ 는 LL대역의 지역적인 화소값의 특성을 나타내는 것이고, $T(\phi; x, y)$ 는 LH, HL, HH대역의 지역적인 텍스처 특성을 표시하는 값이다. 그리고 $L(x, y)$ 는 영상의 공간지각특성을 표시하는 값이다. 즉 본 논문에서는 가중치로 각 대역의 전역적인 특성을 표시하는 값과, 각 대역의 지역적인 특성을 표시하는 두 값을 이용하여 구하였으며, 이 값으로 워터마크를 비가시적이며 적응적으로 삽입한다.

워터마크 검출과정은 삽입과정과 반대로 수행하는데 검사영상과 워터마크의 상관계수를 구하여 워터마크를 검출한다. 워터마크 검출기의 출력은 다음과 같다.

$$w(X, X^*) = X^* X / \|X^*\|_2 \quad (5)$$

여기서 X 는 원 워터마크이고, X^* 는 검출된 워터마크이다. $\|X^*\|_2$ 는 정규화를 위한 것으로 X^* 합의 제곱근이다. $w(X, X^*)$ 는 평균이 0이고 분산이 1인 정규분포를 갖는다.

IV. 실험결과 및 고찰

제안된 방법의 성능을 평가하기위해 디지털 영상에 대하여 컴퓨터시뮬레이션을 수행하였다. 실험영상을 Daubechies-5/3커널[5,7]을 이용하여 웨이브렛 변환을 수행하였다.

원 영상에 워터마크를 삽입하고 공격(attack)이 가해지지 않는 영상으로부터 워터마크를 추출하였으며 이를 그림 3에 나타내었다. 여기서 워터마크의 키(key)값은 500과 900을 사용하였으며 α 는 1×10^{-3} 로 하였다. 실험결과 JPEG영상압축, 영상개선, 크로핑과 같은 기본적인 영상처리에 대하여도 워터마크를 비교적 잘 검출함을 알 수 있었다.

V. 결론

본 논문에서는 디지털영상의 워터마킹에 대하여 연구하였다. 원 영상을 웨이브렛 변환하여 다해상도로 분해하고, 각 부대역에 공간지각 특성을 고려하여 비가시적으로 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. 본 논문에서 연구된 방법은 비가시적이며, 검출시 원영상을 사용하지 않는 blind 워터마킹 방법이다. 제안방법을 여러 가지 디지털 영상에 적용하여 실험한 결과, JPEG영상압축, 영상개선, 필터링, 크로핑 등의 기본적인 영상처리를 수행 후에도 워터마크를 검출할 수 있음을 알 수 있었다.

향후 연구과제는 제안방법을 만화영상, 지문영상 등에 적용하는 방법을 연구하고자 한다.

참고문헌

- [1] A.S.Lewis and G.Knowles, "Image compression using the 2-D wavelet transform", IEEE Trans. Image Processing 1, pp.244-250, April 1992.
- [2] I.Cox, J.Kilian, F.T.Leighton, and T.Shamoon, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia", IEEE Trans. Image Processing 6, pp.1673-1687, Dec. 1997.
- [3] C. I. Podilchuk and W. Zeng, "Image adaptive watermarking using visual models", IEEE J. Sel Areas Commun., 16, pp.525-538, 1998.
- [4] I.Cox, M.Müller, and J.Bloom, "Digital Watermarking", Morgan Kaufman, 2002
- [5] Barni. M, Bartolini. F, and Piva. A, "Improved wavelet based watermarking through pixel-wise masking", IEEE Trans. Image Processing 10(May), pp.783-791, 2001
- [6] N. Kaewkamnerd and K.R.Rao, "Wavelet based image adaptive watermarking scheme", Electron. Lett., vol.36, pp.312-313, Feb.2000
- [7] 강현배, 김대경, 서진근, "웨이블릿 이론과

응용”, 아카넷출판사, 2001

[8] D. Wei, J. Tian, R. Wells, and C.S.Burrus, " A new class of biorthogonal wavelet systems for image transform coding", IEEE Trans. Image Processing, vol.7, no.7, July 1998

[9] S.H.Wang and Y.P.Lin, "Wavelet tree quantization for copyright protection watermarking", IEEE Image Processing, 13(February), pp.154-165, 2004

[10] X.D.Zhang, J.Feng, and K.T.Lo, "Image watermarking using tree-based spatial-frequency feature of wavelet transform", J. Visual Comm. Image Representation", pp.474-491, Dec. 2003

[11]P.Meerwald and A.Uhl, "A survey of wavelet-domain watermarking algorithms", Proc. of SPIE, Electronic Imaging, security and Watermarking of Multimedia ContentsIII, CA, USA 4314, pp.505-516, Jan. 2001

V(LL, 2)	V(HL, 2)	V(HL, 1)	V(HL, 0)
V(LH, 2)	V(HH, 2)		
V(LH, 1)		V(HH, 1)	
V(LH, 0)		V(HH, 0)	

그림 1. 웨이블릿의 대해상도 주파수 대역

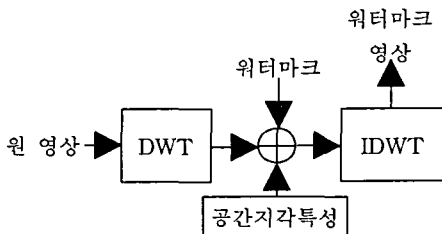
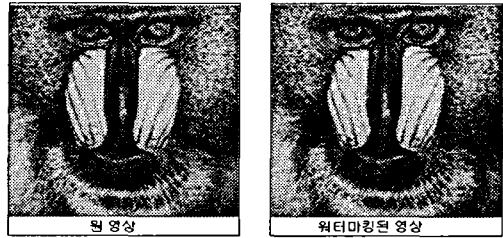


그림2. 워터마크 삽입과정



(a)원영상

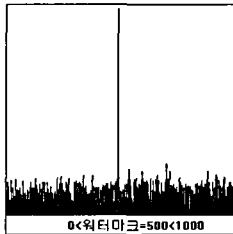
(b)워터마크된 영상



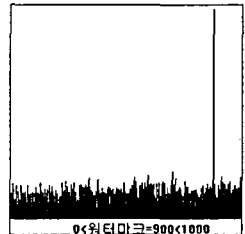
(c)DWT



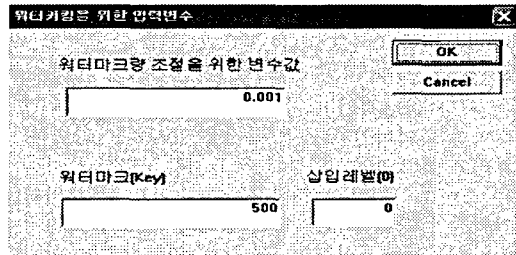
(d)워터마크삽입대역



(e)워터마크=500



(f)워터마크=900



(g)워터마크 대화창

그림 3. 실험결과