2000年度 大韓電子工學會 夏季綜合學術大會 論文集 第23卷 第1號 2000/6

인간 시각 시스템과 부대역 적응적 문턱값을 이용한 웨이브릿 기반의 디지털 워터마킹

[0]하 인 성*, 권 성 근*, 권 기 룡**, 이 건 일*

*경북대학교 전자전기공학부
대구광역시 북구 산격동 1370번지
**부산외국어대학교 전자공학과
부산광역시 남구 우암동 55-1

Wavelet-based digital watermarking using human visual system and subband-adaptive threshold

[0]In-Sung Ha*, Seong-Geun Kwon*, Ki-Ryong Kwon**, Kuhn-Il Lee*

*School of Electronic and Electrical Engineering, Kyungpook National University
1370 Sankyukdong Bukgu, Taegu, Korea
**Dept. of Electronic Eng., Pusan University of Foreign Studies
55-1 Uamdong Namgu, Pusan, Korea

abstract

In this paper, we proposed a wavelet-based digital watermarking algorithm using human visual system and subband-adaptive threshold. After the original image is transformed using discrete wavelet transform (DWT), the perceptually significant coefficients of the each subband excluding the lowest level subbands are utilized to embed the watermark. To select perceptually significant coefficients, we use subband-adaptive threshold. For the selected coefficients, the watermark is embedded by using HVS. We tested the performance of the proposed algorithm compared with conventional watermarking algorithm by computer simulation. The experimental results show that the proposed algorithm is superior to the conventional algorithm.

I. 서 론

디지털 데이터들은 기존의 아날로그 데이터들과 비교하여 저장, 편집 및 분배가 용이하다는 장점을 갖는다. 그러나 이러한 디지털 데이터의 장점 때문에 불법 복제 및 변조 등에 대한 문제가 발생됨에 따라, 데이터의 저작권을 보호할 수 있는 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 대표적인 예로서 디지털 데이터의 내부에 개인의 정보를 은닉하는 기술을 디지털 워터마킹 (watermarking)[1]-[7]이라고 한다.

대표적인 워터마킹은 1997년 Cox 등[1]이 제안한 방법인데, 이 방법은 먼저 전체 영상을 DCT를 이용하여 주파수 영역으로 변환한 후, DC 계수를 제외한 DCT 계수 중 크기가 큰 1000개의 계수에 대하여 워터마크를 삽입한다. 이 방법에서는 큰 DCT계수에 대하여 워터마크를 삽입하므로 화질의 열화가 발생될 수 있다. 또한 일반적으로 고주파 성분을 제거하는 JPEG과 같은 손실 부호화 등에는 견고할 수 있지만 잡음, 영상처리, 및 기하학적 변환 등과 같은 다양한 공격에 대하여 견고하지 못하다는 단점이 있다. 그리고 주파수 영역에서의 또 다른 워터마킹으로 웨이브릿 변환을 통한 방법[5]-[7]이 있다. 이 방법들 중 대부분은 화질의 열화를 막기 위하여 원영상의 대부분의 에너지를 갖고 있는 기저대역을 제외한 나머지 부대역에 대하여 워터마크를 삽입한다. 이러한 방법으로 워터마크를 삽입할 경우 고주파 성분을 제거하는 손실 부호화 등의 공격에 견고하지 못하게 된다. 그러므로 견고성 (robustness)과 비가시성 (invisibility)을 동시에 고려하여 기저대역을 포함한 부대역에 대하여 워터마크를 삽입하는 방법이 필요하다.

본 논문에서는 인간 시각 시스템과 부대역 적응적 문턱값을 이용한 웨이브릿 기반의 디지털 워터마킹 알고리듬을 제안하였다. 제안한 알고리듬에서는 먼저 영상을 DWT를 이용하여 3-레벨로 분해한다. 최저 레벨에 속한 부대역을 제외한 모든 부대역들에 대하여 시각적으로 중요한 계수들을 선택하여, 이 계수들에 대하여 워터마크를 삽입한다. 이때 시각적으로 중요한 계수는 각 계수들이 속한 부대역에서 적응적으로 결정된 문턱값에 의해 선택된다. 고주파 부대역들에 속한

계수들에 대하여서는 각 계수들의 인간 시각 시스템 (HVS)[7],[8]을 고려하여 워터마크를 삽입하고, 기저대역에 속한 계수들에 대하여서는 견고성과 비가시성을 동시에 만족하도록 적절한 크기로 워터마크를 삽입한다. 이러한 방법으로 삽입된 워터마크는 검출 과정에서 원래의 워터마크와 추출된 워터마크의 유사도 (similarity)를 구하여 워터마크 존재 여부를 확인한다.

제안한 워터마킹의 성능을 평가하기 위하여 컴퓨터 모의 실험을 행하였다. 실험 결과 제안한 알고리듬은 기존의 알고리듬에 비하여 우수한 비가시성을 나타내었고, 여러 가지 공격에 대하여서도 우수한 견고성을 나타내었다.

Ⅱ. 기존의 워터마킹 알고리듬

기존의 워터마킹 알고리듬 중 대표적인 것은 1997년 Cox 등[1]이 제안한 방법이다. 이 방법은 먼저 영상을 분할하지 않고 전체 영상을 DCT를 통하여 주파수 영역으로 변환한다. 그리고 DC 계수를 제외한 DCT 계수 중 크기가 큰 1000개의 계수들을 선택하여, 이 선택된 계수들에 대하여 워터마크를 삽입한다. 이때 삽입되는 워터마크는 정규 분포를 따르는 랜덤 시퀀스를 사용한다. 워터마크를 삽입하는 방법을 수식으로 나타내면

$$v'_i = v_i \times (1 + a_i x_i) \quad \text{for} \quad i = 1, 2, 3, \cdots, 1000 \tag{1}$$

와 같다. 여기서 v'_i, v_i 및 x_i는 각각 워터마크가 삽입된 DCT 계수, 워터마크가 삽입될 DCT 계수, 워터마크를 나타낸다. 그리고 a_i는 삽입될 워터마크의 가중치인데, Cox 등의 방법에서는 a_i를 0.1로 사용하였다. 마지막으로 IDCT (inverse DCT)를 통하여 워터마킹된 영상을 얻는다.

삽입된 워터마크의 검출과정은 삽입과정의 역 과정이다. 획득된 영상에서 워터마크의 존재 여부를 확인하기 위하여 원래의 워터마크와 검출된 워터마크와의 유사도를 측정한다. 유사도 측정을 수식으로 나타내면

$$Z(X, X^*) = \frac{X \cdot X^*}{\sqrt{X^* \cdot X^*}} \tag{2}$$

와 같다. 여기서 X는 원래의 워터마크이고 X^*은 검출된 워터마크이며 $[\cdot]$는 벡터의 내적을 나타낸다.

지금까지 살펴본 Cox 등이 제안한 방법에서는 주파수 영역의 큰 계수값들에 대하여 워터마크를 삽입하므로 화질의 열화가 발생될 수 있다. 또한 손실 부호화 등에는 견고할 수 있지만 잡음, 영상 처리, 기하학적 변환 등과 같은 다양한 공격에 대하여 견고하지 못하다는 단점이 있다. 그리고 웨이브릿 변환 영역에서의 워터마킹 방법들 중 대부분의 방법은 화질의 열화를 막기 위하여 기저대역 (baseband)을 제외한 나머지 부대역에 대하여 워터마크를 삽입한다. 하지만 일반적으로 고주파 성분을 제거하는 손실 부호화에도 견고하도록 하기 위해서는 견고성과 비가시성을 동시에 고려하여 기저대역을 포함한 부대역에 대하여 워터마크를 삽입하는 방법이 필요하다.

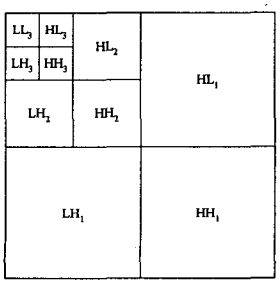

그림 1 . 3-레벨 웨이브릿 분해
Fig. 1. 3-level wavelet decomposition.

Ⅲ. 제안한 워터마킹 알고리듬

본 논문에서는 워터마킹 알고리듬의 필요조건인 견고성과 비가시성을 만족시키기 위하여 인간 시각 시스템과 부대역 적응적 문턱값을 이용한 웨이브릿 기반의 디지털 워터마킹 알고리듬을 제안하였다. 제안한 알고리듬에서는 먼저 영상을 DWT를 통하여 그림 1에서와 같이 3-레벨로 분해한다. 여기서 1레벨에 속한 HL_1, LH_1, 및 HH_1 부대역은 고주파 성분을 나타내므로 이러한 부대역의 정보는 손실 부호화 및 잡음 등에 의하여 쉽게 손실될 가능성이 있다. 그러므로 제안한 방법에서는 1레벨을 제외한 모든 부대역에 대하여 시각적으로 중요한 계수들을 선택하여, 이 계수들에 대하여 워터마크를 삽입한다.

1. 부대역 적응적 문턱값 결정

시각적으로 중요한 계수를 선택하기 위하여 각 부대역에 따라 적응적으로 문턱값을 결정하여, 이 문턱값보다 큰 계수들을 시각적으로 중요한 계수로 선택한다. 문턱값 결정을 수식으로 나타내면

$$TH_i = 2^{\lfloor \log_2 C_i \rfloor - 1} \tag{3}$$

와 같다. C_i 및 TH_i는 각 부대역의 계수들 중 최대값과 그 부대역에서의 문턱값을 각각 나타내며, $\lfloor X \rfloor$는 X를 넘지 않는 가장 큰 정수를 나타낸다. 각 부대역의 웨이브릿 계수들 중에서 문턱값보다 큰 시각적으로 중요한 계수에 대하여 워터마크를 삽입한다.

2. HVS를 이용한 워터마크 삽입

시각적으로 중요한 계수에 대한 워터마크의 삽입은 기저대역과 고주파 부대역에 따라 다른 과정을 따른다. 제안한 방법에서 사용되는 워터마크의 삽입은

$$v'_i = v_i \times (1 + w_i \times x_i) \tag{4}$$

와 같다. Cox 등이 제안한 알고리듬에서는 주파수 성분에 따른 HVS를 고려하지 않고 선택된 모든 계수들에 대하여 동일한 w_i를 사용하였다. 이러한 단점을 제거하기 위하여 제안한 알고리듬에서는 기저대역에 대하여서는 화질 저하가 발생하지 않는 범위내에서 일정한 w_i를 사용하였고, 나머지 고주파 부대역에 대해서

는 각 계수에 대한 HVS를 고려하여 w_i를 사용하였다. 기저대역은 원영상의 화질에 큰 영향을 미치므로 본 논문에서는 기저대역에 대하여 화질의 열화가 발생하지 않도록 w_i를 0.02로 사용하였다.

고주파 부대역에 대해서는 다양한 공격에 견고하기 위하여 시각적으로 감지할 수 없는 범위내에서 가장 큰 워터마크를 삽입하기 위하여 HVS를 이용한다. 웨이브릿 계수에 대한 HVS는 다음과 같다.

1. 사람의 눈은 고해상도 대역과 HH 대역에서의 노이즈에 둔감하다. (A)
2. 사람의 눈은 휘도가 큰 영역에서의 노이즈에 대하여 둔감하다. (B)

이를 수식으로 나타내면

$$A=\begin{cases}\sqrt{2} & \text{if } \theta=HH\\ 1 & otherwise\end{cases},\quad \begin{cases}0.32 & \text{if } l=1\\ 0.16 & \text{if } l=2\end{cases} \tag{5}$$

$$B=I^{LL_3}\left(\frac{i}{2^{3-l}},\frac{j}{2^{3-l}}\right) \tag{6}$$

와 같다. 여기서 l과 θ는 각 고주파 부대역들의 레벨과 방향을 나타내고, i및 j는 각 계수들에 대한 고주파 부대역에서의 세로 및 가로 방향으로의 위치를 나타낸다. 이러한 눈의 2가지 특성을 이용하여 고주파 부대역에서의 w_i를 A와 B의 곱으로 결정하여 워터마크를 삽입함으로써 견고성과 비가시성을 동시에 만족할 수 있다. 각 대역에 대하여 워터마크를 삽입한 후, IDWT를 수행하여 복원 영상을 얻는다. 제안한 방법에서 사용된 워터마크로는 다양하게 워터마킹된 영상을 평균함으로써 워터마크되지 않은 영상을 획득하려는 공격에 견고하기 위하여, 정규 분포를 갖는 랜덤 시퀀스를 사용한다.

3. 워터마크 검출

제안한 워터마킹 알고리듬으로 삽입된 워터마크의 검출 과정은 삽입과정의 역 과정이다. 원영상과 워터마킹된 영상에 대하여 DWT를 통하여 워터마크 삽입 과정에서와 같이 3-레벨로 분해한다. 분해된 원영상에 대하여 시각적으로 중요한 계수를 결정한다. 분해된 워터마킹된 영상에 대하여 원영상에 대하여 결정된 계수의 주파수 성분과 같은 주파수 성분을 갖는 계수를 선택하여 서로간의 차를 구하여 워터마크를 검출한다. 검출된 워터마크와 원래 삽입된 워터마크와의 유사도를 계산하여 워터마킹된 영상에서 원래 삽입된 워터마크의 존재 유무를 결정한다.

Ⅳ. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서 제안한 워터마킹 알고리듬의 성능을 평가하기 위하여 컴퓨터 모의 실험을 행하였다. 본 실험에서는 실험 영상으로 256×256 화소 크기를 갖는 LENA 및 GIRL의 영상을 사용하였고, 쌍직교 (biorthogonal) 이산 웨이브릿 변환을 통하여 다해상도 영상으로 분해하였다. Cox 등이 제안한 방법과 동일한 조건으로 성능을 평가하기 위하여 기저대역에서의 문턱값을 변화함에 따라 시각적으로 중요한 1000개의 웨이브릿 계수를 선택하였다. 성능 평가 기준으로 워터마크의 비가시성과 견고성을 사용하였다. 이때 비가시성에 대한 성능 평가 척도는 PSNR (peak to peak signal to noise ratio)을 사용하였고, 견고함에 대한 성능 평가 척도로는 유사도를 사용하였다.

1. 비가시성 평가

본 논문에서 제안한 방법과 Cox 등의 방법에 의하여 워터마크가 삽입된 영상과 원영상을 그림 2에 나타내었다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 두 방법에 의하여 워터마크가 삽입된 영상에서 시각적으로 워터마크 삽입 여부를 구분하기 어렵다. 객관적인 화질 평가를 위하여 두 방법에 의하여 워터마킹된 영상에 대한 PSNR을 표 Ⅰ에 나타내었다. 이 표로부터 LENA 영상 및 GIRL 영상에 대하여 제안한 방법이 Cox 등의 방법보다 각각 0.4 [dB]와 1.2 [dB] 정도 우수함을 확인할 수 있다. 제안한 방법은 1레벨 부대역들을 제외한 모든 부대역에 대하여 비가시성을 고려하여 워터마크를 삽입하였기 때문에 Cox 등의 방법에 비하여 좋은 화질을 얻을 수 있었다.

2. 견고성 평가

제안한 워터마킹 알고리듬의 견고성을 평가하기 위하여 워터마킹된 영상에 대하여 JPEG 부호화, 영상처리, 기하학적 변환 및 잡음을 적용하였다. 다양한 압축율을 갖는 JPEG 부호화에 대한 유사도를 그림 3에 나타내었다. 이 그림으로부터 LENA에 대하여서는 제안한 방법이 Cox 등의 방법에 비하여 JPEG 부호화에 대하여 더 견고함을 확인할 수 있었고, 특히 고압축율에서 제안한 방법이 Cox 등의 방법보다 더욱 더 우수한 성능을 나타냄을 확인할 수 있다. 하지만 GIRL에 대하여 고압축율에서는 Cox 등의 방법에 비하여 견고

(a) (b) (c)

그림 2. (a) LENA 원 영상과 (b) Cox 등의 방법과 (c) 제안한 방법으로 워터마킹된 영상
Fig. 2. (a) Original LENA image and watermarked image by (b) Cox's method and (c) proposed method.

표 Ⅰ. Cox 등의 방법과 제안한 방법에 의한 PSNR
Table Ⅰ. PSNR of Cox's method and proposed method.

Method \ Image	LENA	GIRL
Cox's method	37.3	40.3
Proposed method	37.7	41.5

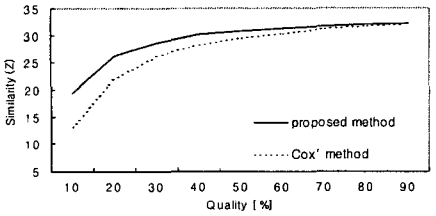

그림 3. LENA 영상에 대한 다양한 JPEG 성능에 따른 유사도
Fig 3. The similarity of LENA image according to various JPEG quality.

표 II. 다양한 영상처리에 대한 유사도
Table II. Similarity according to various attacks.

Attack	LENA		GIRL	
	Cox's method	Proposed method	Cox's method	Proposed method
3×3 LPF	13.28	19.00	16.44	16.49
5×5 LPF	4.33	9.31	5.93	7.88
3×3 MF	6.70	15.06	7.63	14.44
5×5 MF	2.58	6.65	3.21	5.69
Dithering	8.96	10.59	6.71	4.78
Scaling	9.25	15.54	12.09	14.86
Cropping	20.19	19.12	18.39	17.57
WGN	6.55	11.03	4.60	7.27

하였지만 저압축율에서는 제안한 방법이 Cox 등의 방법에 비하여 약간 덜 견고함을 확인할 수 있었다. 그리고 다양한 공격에 대한 견고성을 표 II에 나타내었다. 이 표에서 알 수 있듯이 LENA 영상에 대하여서는 절단화 (cropping)을 제외한 다양한 영상처리, 기하학적 변환 및 잡음 등의 공격에 대하여 제안한 방법이 Cox 등의 방법보다 견고함을 알 수 있다. 그리고 GIRL 영상에 대하여서는 디더링 (dithering)과 절단화를 제외한 공격에 대하여 제안한 방법이 우수함을 나타내었다.

제안한 워터마킹 방법은 웨이브릿 계수에 대한 HVS를 고려하여 눈에 띄지 않는 범위내에서 최대한의 크기로 워터마크를 삽입하였기 때문에 영상처리, 기하학적 변환 및 잡음 등의 공격에 견고함을 나타내었다.

V. 결 론

본 논문에서는 워터마킹 알고리듬에 필요조건인 견고성과 비가시성을 만족시키기 위하여 인간 시각 시스템과 레벨 적응적 문턱값을 이용한 웨이브릿 기반의 디지털 워터마킹 알고리듬을 제안하였다.

제안한 워터마킹 알고리듬에서는 먼저 입력 영상을 DWT를 이용하여 3-레벨로 분해한다. 최저 레벨에 속한 부대역의 정보는 손실 부호화 등에 의하여 쉽게 제거 및 변형되기 때문에, 최저 레벨의 부대역을 제외한 모든 부대역들 중 시각적으로 중요한 DWT 계수들에 대하여 워터마크를 삽입한다. 이때 시각적으로 중요한 DWT 계수는 각 부대역에 따라 적응적으로 결정된 문턱값에 따라, 이 문턱값보다 크기가 큰 계수들로 선택된다. 그리고 선택된 계수들 중 기저대역을 제외한 부대역들에 속한 계수들에 대하여서는 각 계수들에 대한 HVS를 이용하여 시각적으로 보이지 않는 최대의 크기로 각각 다른 가중치를 가지고 워터마크를 삽입하고, 기저대역에 속한 계수들에 대하여서는 견고성과 비가시성을 동시에 만족시키는 가중치를 주어 워터마크를 삽입한다. 이때 삽입된 워터마크로는 정규 분포를 따르는 랜덤 시퀀스를 사용한다. 이러한 방법으로 삽입된 워터마크는 검출 과정에서 원래의 워터마크와 추출된 워터마크의 유사성을 계산하여 워터마크 존재 여부를 확인한다. 제안한 알고리듬의 성능 평가를 위한 모의 실험에서 제안한 방법이 기존의 방법에 비하여 비가시성과 견고성에서 우수함을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T.shamoon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 6, no. 12, pp. 1673~1687, Dec. 1997.

[2] A. Piva, M. Barni, F. Bartolini, and V. Cappellini, "DCT-based Watermark Recovering without Resorting to the Uncorrupted Original Image," *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. 1, pp. 520~523, 1997.

[3] M. D. Swanson, B. Zhu, and A. H. Tewfik, "TRANSPARENT ROBUST IMAGE WATERMARKING," *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. 1, pp. 211~214, 1996.

[4] J. J. K. Ruanaidh, W. J. Dowing and F. M. Boland, "PHASE WATERMARKING OF DIGITAL IMAGES," *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. 3, pp. 239~242, 1996.

[5] X. Xia, C. G. Boncelet, G. R. Arce, "A Multiresolution Watermark for Digital Images," *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. 1, pp. 548~551, 1997.

[6] D. Kundar and D. Hatzinakos, "A Robust Digital Image Watermarking Method using Wavelet-Based Fusion," *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. 1, pp. 544~547, 1997.

[7] M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini, A. Lippi, and A. Piva, "A DWT-based technique for spatio-frequency masking of digital signatures," *SPIE Conf. on Visual Comm. and Image Processing*, vol. 3657, pp. 31~39, 1999.

[8] A. S. Lewis and G. Knowles, "Image compression using the 2-D wavelet transform," *IEEE Trans. on Image Processing*, pp. 244~250, Apr. 1992.