

論文2000-37CI-6-4

인간 시각 시스템과 부대역 적응적 문턱값을 이용한 웨이브릿 기반의 디지털 워터마킹

(Wavelet-based Digital Watermarking Using Human
Visual System and Subband Adaptive Threshold)

河仁盛*, 權成根*, 李鍾源*, 潘聲元*, 李承珍*,
權奇龍**, 李健一*

(In-Sung Ha, Seong-Geun Kwon, Jong-Won Lee, Seong-Won Ban,
Seung-Jin Lee, Ki-Ryong Kwon, and Kuhn-Il Lee)

요약

본 논문에서는 인간 시각 시스템과 부대역 적응적 문턱값을 이용한 웨이브릿 기반의 디지털 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘에서는 웨이브릿 변환을 이용하여 영상을 3-레벨로 분해한 후, 가장 낮은 레벨에 속한 최고주파 부대역들을 제외한 모든 부대역들에 대하여 각 부대역별로 적응적인 문턱값을 이용하여 시각적으로 중요한 웨이브릿 계수를 선택한다. 고주파 부대역에 속한 시각적으로 중요한 웨이브릿 계수들은 각 계수들에 대한 인간 시각 시스템을 고려하여 시각적으로 보이지 않는 크기로 워터마크를 삽입한다. 저대역에 속한 계수들은 화질 열화가 일어나지 않는 범위로 워터마크를 삽입한다. 본 워터마킹 알고리즘의 성능 평가를 위한 보의실험에서 이 알고리즘이 기존의 알고리즘보다 비가시성과 견고성에서 모두 우수함을 확인하였다.

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 by discrete wavelet transform, the perceptually significant coefficients of the each subband excluding the lowest level subbands are utilized to embed the watermark. To select perceptually significant coefficients for each subband, we use subband-adaptive threshold. For the selected coefficients in the high frequency subbands, the watermark is embedded using HVS. For those of the baseband, the watermark is embedded by conventional embedding method. We tested the performance of the proposed algorithm compared with conventional watermarking algorithm by computer simulation. The experimental results show that the proposed watermarking algorithm is less visible to human eyes and more robust to image compressions, image processings, and geometric transformations than the conventional algorithm.

* 正會員, 慶北大學校 電子電氣工學部

(School of Electronic and Electrical Engineering,
Kyungpook National University)

** 正會員, 釜山外國語大學校 電子工學科

(Department of Electronic Engineering, Pusan
University of Foreign Studies)

接受日字:2000年6月16日, 수정완료일:2000年10月31日

I. 서론

디지털 데이터들은 기존의 아날로그 데이터들과 비교하여 저장, 편집, 및 분배가 용이하다는 장점이 있다. 그러나 이러한 장점 때문에 디지털 데이터는 불법 복제 및 변조 등에 대한 문제가 발생한다. 특히 디지털화

된 데이터는 원본과 복사본의 구분이 불가능하여 저작권 보호 문제가 심각히 대두함에 따라, 데이터의 저작권을 보호할 수 있는 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 대표적인 예로서 멀티미디어 디지털 데이터의 저작권 보호를 위해 디지털 데이터의 내부에 개인의 정보를 은닉하는 디지털 워터마킹 (digital watermarking) 기술이 있다.

현재까지 진행되어지고 있는 워터마킹에 대한 연구는 크게 공간 영역 (spatial domain)^{11, 12}과 주파수 영역 (frequency domain)¹³⁻¹⁶에서 워터마크를 삽입하는 두 가지 방법으로 나뉜다. 공간 영역에서의 대표적인 워터마킹 알고리즘은 1994년 Schyndel 등¹¹이 제안한 것인데, 이 알고리즘은 8-비트 영상 데이터의 모든 LSB (least significant bit)를 먼저 0으로 만든 다음, 0 및 1을 갖는 랜덤 이진 워터마크를 LSB에 삽입한다. 공간 영역에서의 워터마킹 알고리즘은 간단하여 빠른 수행 시간을 갖는 장점이 있지만, 일반적으로 주파수 영역에서의 워터마킹에 비하여 잡음이나 손실 부호화 (lossy coding) 등에 약하다는 단점이 있다. 따라서 현재는 주파수 영역에서의 워터마킹에 대한 연구가 더욱 활발히 진행되고 있다.

주파수 영역에서의 워터마킹 알고리즘의 대표적인 것은 1997년 Cox 등¹³이 제안한 대역확산방법 (secure spread spectrum)이다. 이 방법은 먼저 전체 영상을 DCT (discrete cosine transform)를 이용하여 주파수 영역으로 변환한 후, DC 계수를 제외한 DCT 계수 중 크기가 큰 1000개의 계수에 대하여 워터마크를 삽입한다. 그러나 DCT 영역에서 큰 계수값은 대부분 저주파 성분이므로, Cox 등이 제안한 방법에서는 저주파 성분의 변형으로 인하여 화질의 열화가 발생할 수 있다. 또한 일반적으로 고주파 성분을 제거하는 JPEG과 같은 손실 부호화 등에는 견고할 수 있지만 잡음, 영상 처리 및 기하학적 변환 등과 같은 다양한 공격에 대하여 견고하지 못하다는 단점이 있다.

최근 주파수 영역에서의 또 다른 워터마킹으로 웨이브릿 변환을 통한 방법¹⁷⁻¹⁹이 연구되고 있다. 이 방법들 중 대부분은 화질의 열화를 막기 위하여 원영상의 대부분의 에너지를 갖고 있는 기저대역 (baseband)을 제외한 나머지 부대역에 대하여 워터마크를 삽입한다. 그러나 이러한 방법으로 워터마크를 삽입하는 경우 고주파 성분을 제거하는 손실 부호화 등의 공격에 견고하지 못하게 된다. 그러므로 견고성 (robustness)과 비가

시성 (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 알고리즘을 제안하였다. 이 방법에서는 먼저 입력 영상을 DWT (discrete wavelet transform)를 이용하여 3-레벨로 분해한다. 최저 레벨에 속한 부대역은 고주파 성분을 나타내므로 손실 부호화 등에 의하여 쉽게 제거 및 변형되기 때문에, 최저 레벨에 속한 부대역들을 제외한 모든 부대역들에 대하여 시각적으로 중요한 DWT 계수들을 선택하여, 이 계수들에 대하여 워터마크를 삽입한다. 이때 시각적으로 중요한 DWT 계수는 각 계수들이 속한 부대역에 따라 적응적으로 결정된 문턱값에 의하여 선택된다. 그리고 이렇게 선택된 계수들에 대하여 비가시성과 견고성을 고려하여 워터마크를 삽입한다. 기저대역을 제외한 고주파 부대역들에 속한 계수들에 대하여서는 각 계수들의 인간 시각 시스템 (HVS)^{18, 19}을 고려하여 시각적으로 보이지 않는 최대한의 크기로 워터마크를 삽입하고, 기저대역에 속한 계수들에 대하여서는 시각적으로 보이지 않는 최대의 크기로 워터마크를 삽입한다. 이때 삽입된 워터마크로는 정규 분포 (normal distribution)를 갖는 랜덤 시퀀스 (random sequence)를 사용한다. 이러한 방법으로 삽입된 워터마크는 검출 과정에서 벡터 투영 (vector projection) 방법을 사용하여 원래의 워터마크와 추출된 워터마크의 유사도 (similarity)를 계산하여 워터마크 존재 여부를 확인한다.

제안한 워터마킹의 성능을 평가하기 위하여 컴퓨터 모의 실험을 행하였다. 성능 평가의 기준으로는 워터마킹된 영상에서 워터마크의 비가시성과 다양한 공격에 대한 견고성을 사용하였다. 실험 결과에서 제안한 알고리즘이 기존의 알고리즘에 비하여 비가시적이고 여러 가지 공격에 대하여서도 더욱 견고함을 확인하였다.

II. 기존의 워터마킹 알고리즘

기존의 워터마킹 알고리즘은 워터마크가 삽입되는 영역에 따라 공간 영역에서의 워터마킹과 주파수 영역에서의 워터마킹으로 분류된다. 공간 영역에서의 워터마킹 방법은 알고리즘이 간단하여 워터마크를 빠르게 삽입할 수 있다는 장점이 있으나 잡음과 JPEG 및

MPEG 등의 손실 부호화에 약하다는 단점이 있다. 반면 주파수 영역에서 워터마크를 삽입하는 방법은 상대적으로 잡음과 손실 부호화 등의 공격에 견고함을 나타낸다.

주파수 영역에서의 대표적인 워터마킹은 1997년 Cox 등^[3]이 제안한 대역확산방법이다. 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 평균과 분산이 각각 0과 1을 갖는 정규 분포를 따르는 랜덤 시퀀스를 사용한다. 워터마크가 삽입된 DCT 계수 v_i 은

$$v_i = v_i \times (1 + a_i x_i) \text{ for } i = 1, 2, 3, \dots, 1000 \quad (1)$$

이다. 여기서 v_i 및 x_i 는 각각 워터마크가 삽입될 DCT 계수 및 삽입될 워터마크이다. 그리고 a_i 는 삽입될 워터마크의 가중치 변수인데, Cox 등이 제안한 방법에서는 0.1을 사용하였다. 마지막으로 IDCT (inverse DCT)를 통하여 워터마크가 삽입된 영상을 공간 영역으로 변환시킨다.

삽입된 워터마크의 검출과정은 삽입과정의 역 과정으로서 먼저 원영상과 워터마크된 영상을 각각 DCT를 통하여 주파수 변환한 후, DC 계수를 제외한 원영상의 DCT 계수들 중 큰 값을 갖는 1000개의 계수들을 선택한다. 그리고 워터마크된 영상의 계수들 중 원영상에서 선택된 계수들과 동일한 위치의 계수들을 선택한다. 원영상과 워터마크된 영상의 선택된 계수들을 이용하여 워터마크 삽입과정과 반대되는 방법으로 워터마크를 검출한다.

획득된 영상에서 워터마크의 존재 여부를 확인하기 위하여 원래의 워터마크와 획득된 영상으로부터 검출된 워터마크와의 유사도 (similarity) Z 를 측정한다. Z 는

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

와 같다. 여기서 X 는 원래의 워터마크이고 X^* 은 검출된 워터마크이며 $\langle \cdot \rangle$ 는 벡터의 내적 (inner product)을 나타낸다.

지금까지 살펴본 Cox 등이 제안한 방법에서는 주파

수 영역의 큰 계수값들에 대하여 워터마크를 삽입하므로 화질의 열화가 발생할 수 있다. 또한 손실 부호화 등에는 견고할 수 있지만 잡음, 영상 처리, 및 기하학적 변환 등과 같은 다양한 공격에 대하여 견고하지 못하다는 단점이 있다. 그리고 웨이브릿 변환 영역에서의 워터마킹 방법들 중 대부분의 방법은 화질의 열화를 막기 위하여 기저대역을 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.

III. 제안한 워터마킹 알고리즘

워터마킹 알고리즘의 필요 조건인 견고성과 비가시성은 상호 보완적 (trade-off)인 성격을 나타낸다. 일반적으로 워터마크에 대한 가중치가 크면 다양한 공격에 대하여 견고하지만 워터마크된 영상의 화질에 열화가 발생할 수 있고, 가중치가 작으면 화질은 우수할 수 있지만 여러 가지 공격에 대하여 견고하지 못하게 된다. 그러므로 견고성과 비가시성을 동시에 만족하는 워터마킹 알고리즘이 필요하다.

본 논문에서는 견고성과 비가시성을 만족시키기 위하여 인간 시각 시스템과 부대역 적응적 문턱값을 이용한 웨이브릿 기반의 디지털 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 웨이브릿 변환은 인간의 시각 구조와 매우 유사한 다해상도 (multiresolution) 특성을 지니고 있을 뿐 만 아니라, 영상을 공간영역과 주파수영역에 대하여 효과적으로 국부화 (localization) 할 수 있는 특성을 나타내므로 영상 처리 분야에서 폭 넓게 사용되고 있다. 제안한 알고리즘에서는 먼저 영상을 DWT를 통하여 그림 1에서와 같이 3-레벨로 분해한다. 여기서 1레벨에 속한 HL1, LH1, 및 HH1 부대역은 고주파 성분을 나타내므로 이러한 부대역의 정보는 JPEG 및 MPEG 등의 손실 부호화에 의하여 쉽게 손실될 가능성이 있다. 그러므로 제안한 방법에서는 손실 부호화에 견고하기 위하여 1레벨에 속한 부대역에 대하여는 워터마크를 삽입하지 않는다. 1레벨을 제외한 모든 부대역에 대하여 시각적으로 중요한 웨이브릿 계수들을 선택하여, 이 계수들에 대하여 워터마크를 삽입한다.

1. 부대역 적응적 문턱값 결정

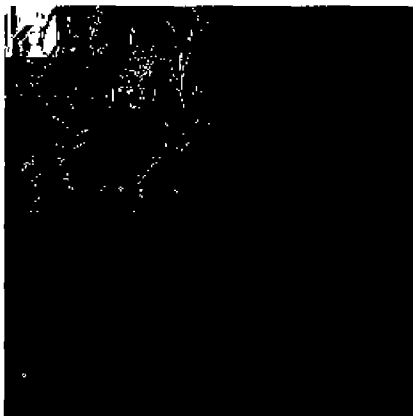
시각적으로 중요한 웨이브릿 계수를 선택하기 위하여 각 부대역에 따라 적응적으로 문턱값을 결정하여, 이 문턱값보다 큰 계수들을 시각적으로 중요한 계수로 선택한다. 각 부대역에서의 문턱값 TH_i 는

$$TH_i = 2^{\lfloor \log_2 C_i \rfloor - 1} \quad (3)$$

이다. 여기서 C_i 는 각 부대역의 계수 중 최대값을 각각 나타내며, $\lfloor X \rfloor$ 는 X 를 넘지 않는 가장 큰 정수를 나타낸다. 각 부대역의 웨이브릿 계수들 중에서 적응적으로 구한 문턱값보다 크면 시각적으로 중요한 웨이브릿 계수이므로 워터마크를 삽입한다. LENA 및 GIRL 영상에 대한 시각적으로 중요한 계수를 그림 2에 나타내었다.

LL ₃	HL ₃	HL ₂	HL ₁
LH ₃	HH ₃		
LL ₂		HH ₂	
LH ₁		HH ₁	

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



(a)



(b)

그림 2. (a) LENA 영상 및 (b) GIRL 영상에 대한 시각적으로 중요한 계수

Fig. 2. The perceptually significant coefficients of (a) LENA and (b) GIRL.

2. HVS를 이용한 워터마크 삽입

선택된 웨이브릿 계수에 대한 워터마크의 삽입은 기저대역과 고주파 부대역에 따라 다른 과정을 따른다. 제안한 방법에서 사용되는 워터마크의 삽입은

$$v'_i = v_i \times (1 + w_i \times x_i) \quad (4)$$

와 같다. Cox 등이 제안한 알고리즘에서는 주파수 성분에 따른 HVS를 고려하지 않고 선택된 모든 계수들에 대하여 동일한 w_i 를 사용하였다. 이러한 단점을 제거하기 위하여 제안한 알고리즘에서는 기저대역에 대하여서는 화질 저하가 발생하지 않는 범위내에서 일정한 w_i 를 사용하였고, 나머지 고주파 부대역에 대해서는 각 계수에 대한 시각적인 특성을 고려하여 w_i 를 사용하였다. 기저대역은 원영상의 화질에 큰 영향을 미치므로, 워터마크 삽입과정에서 가시성과 견고성을 동시에 고려하여야 한다. 본 논문에서는 기저대역에 대하여 화질의 열화가 발생하지 않도록 w_i 를 실험적으로 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 III 대역에서의 노이즈에 둔감하다. (A)

2. 사람의 눈은 휘도가 큰 영역에서의 노이즈에 대하여 둔감하다. (B)

이러한 눈의 2가지 특성을 이용하여 고주파 부대역에서의 w_i 는 A와 B의 곱으로 결정한다. 즉 A는 각 부대역이 속한 레벨이 낮을수록 큰 값을 갖고, LH 및 HL 대역보다 HH대역에서 큰 값을 갖는다. B는 각 고주파 부대역에서의 계수와 동일한 공간에 위치하는 기저대역의 계수값이 크면 큰 값을 갖는다. 이를 식으로 나타내면

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

$$B = I^{LL}(\frac{i}{2^{j-1}}, \frac{j}{2^{i-1}}) \quad (6)$$

와 같다. 여기서 l 및 θ 는 각 고주파 부대역들의 레벨과 방향을 나타내고, i 및 j 는 각 계수들에 대한 고주파 부대역에서 세로 및 가로 방향의 위치를 나타낸다. 이러한 눈의 특성을 이용하여 워터마크를 삽입함으로써 견고성과 비가시성을 동시에 만족할 수 있다. 기저대역과 고주파 부대역에 대하여 서로 다른 방법으로 워터마크를 삽입한 후, IDWT를 수행하여 복원 영상을 얻는다. 이 과정을 블록 선도로 나타내면 그림 3에서와 같다. 제안한 방법에서 사용된 워터마크는 다양하게 워터마킹된 영상을 평균함으로써 워터마킹되지 않은 영

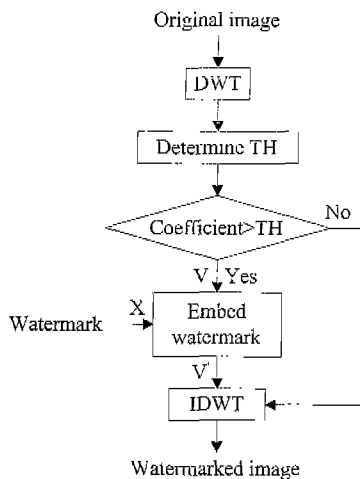


그림 3. 제안한 워터마크 삽입 블록선도
Fig. 3. The block diagram of the proposed watermark embedding.

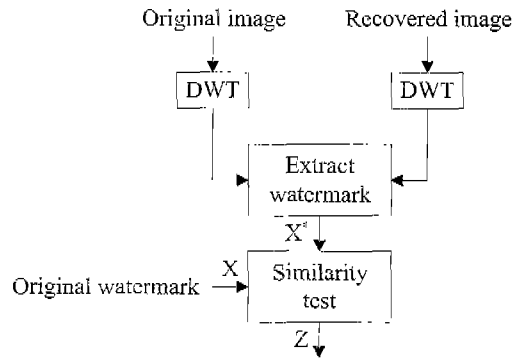


그림 4. 제안한 워터마크 검출 블록선도
Fig. 4. The block diagram of the proposed watermark extracting.

상을 획득하려는 공격에 견고하기 위하여, 평균과 분산이 각각 0과 1을 갖는 정규 분포를 따르는 랜덤 시퀀스를 사용한다.

3. 워터마크 검출

제안한 워터마킹 알고리즘으로 삽입된 워터마크의 검출 과정은 삽입과정의 역 과정이다. 원영상과 워터마킹된 영상에 대하여 DWT를 통하여 워터마크 삽입과정에서의 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. 이 과정을 블록선도로 나타내면 그림 4에서와 같다.

IV. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서 제안한 워터마킹 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 컴퓨터 모의 실험을 행하였다. 본 실험에서는 실험 영상으로 256×256 화소 크기를 갖는 LENA 및 GIRL 영상을 사용하였고, 쌍직교 (biorthogonal) 이산 웨이브릿 변환을 통하여 다해상도 영상으로 분해하였다. Cox 등이 제안한 알고리즘과 동일한 조건으로 성능을 평가하기 위하여 기저대역에서의 분턱값을 변화함에 따라 시각적으로 중요한 1000개의 웨이브릿 계수를 선택하였다. 성능 평가 기준으로 워터마

크의 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 5 및 그림 6에 나타내었다. 이 그림들에서 볼 수 있듯이 제안한 방법과 Cox 등의 방법에 의하여 워터마크가 삽입된 영상에 대하여 시각적으로 워터마크의 삽입 여부를 구분하기 어렵다. 객관적인 화질 평가를 위하여 제안한 방법과 Cox 등의 방법에 의하여 워터마크된 영상에 대한 PSNR을 표 1에 나타내었다. 이 표로부터 제안한 방법과 Cox 등의 방법에 의하여 워터마크를 삽입하였을 경우, LENA 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 알고리즘의 견고성을 평가하기 위하여 워터마크된 영상에 대하여 JPEG



(c)

그림 5. (a) LENA 원 영상과 (b) Cox 등의 방법과 (c) 제안한 방법으로 워터마크된 영상

Fig. 5. (a) Original LENA image and watermarked images by.

(b) Cox's method and (c) proposed method.



(a)



(b)



(c)

그림 6. (a) GIRL 원 영상과 (b) Cox 등의 방법과 (c) 제안한 방법으로 워터마크된 영상

Fig. 6. (a) Original GIRL image and watermarked images by (b) Cox's method and (c) proposed method.



(a)



(b)

표 1. Cox 등의 방법과 제안한 방법에 의한 PSNR

Table 1. PSNR of Cox's method and proposed method.

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

부호화, 영상처리, 및 기하학적 변환 등을 적용하였다. 다양한 압축률을 갖는 JPEG 부호화에 대한 유사도를 그림 7에 나타내었다. 이 그림으로부터 LENA 영상에 대하여서는 제안한 방법이 Cox 등의 방법에 비하여 JPEG 부호화에 대하여 더 견고함을 확인할 수 있었고, 특히 고압축률에서 제안한 방법이 Cox 등의 방법보다 더욱 더 우수한 성능을 나타냄을 확인할 수 있다. 하지만 GIRL 영상에 대하여서는 고압축률에서는 Cox 등의 방법에 비하여 견고하였지만 저압축률에서는 제안한 방법이 Cox 등의 방법에 비하여 약간 덜 견고함을 확인할 수 있었다. 이는 GIRL 영상의 고주파 부대역에

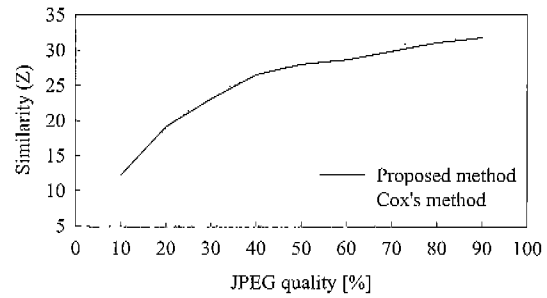
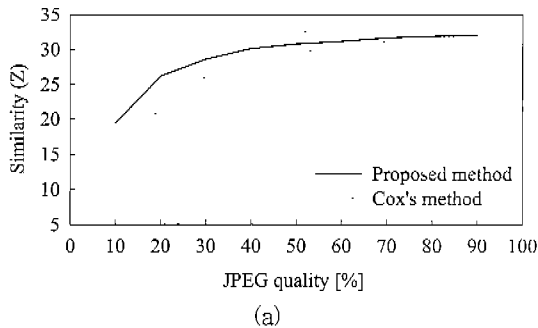


그림 7. 다양한 JPEG 성능에 따른 (a) LENA 영상과 (b) GIRL 영상에 대한 유사도

Fig. 7. The similarity of (a) LENA image and (b) GIRL image according to various JPEG quality.

대한 문턱값은 상대적으로 작은 값을 갖기 때문에, 저압축률의 JPEG 압축에 의하여 이러한 계수에 대한 워터마크 성분이 쉽게 제거되기 때문이다. 그리고 다양한 영상처리 및 기하학적 변환에 대한 유사도를 표 II에 나타내었다. 여기서 절단화 (cropping)는 영상의 중앙을 기준으로 1/4에 해당하는 부분은 워터마킹된 영상으로, 나머지 부분은 원영상으로 구성을 하는 것을 나타내며, 스케일링 (scaling)은 워터마킹된 영상을 수직 및 수평 방향으로 각각 절반의 해상도를 갖도록 부표본화한 후 다시 원래의 해상도로 만드는 것을 의미한다. 디더링 (dithering)은 워터마킹된 영상의 4×4 블록과 정해진 문턱값을 갖는 4×4 행렬의 각 값을 비교하여 이진 영상을 만드는 것을 나타낸다. 그리고 잡음으로는 백색 가우시안 잡음 (white Gaussian noise)을 사용하였다. 이 표에서 알 수 있듯이 LENA 영상에 대하여서는 절단화를 제외한 다양한 영상처리, 기하학적 변환, 및 잡

표 2. 다양한 공격에 대한 유사도

Table 2. Similarity according to various attacks.

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

음 등의 공격에 대하여 제안한 방법이 Cox 등의 방법보다 견고함을 알 수 있다. 그리고 GIRL 영상에 대하여서는 디터링과 절단화를 제외한 공격에 대하여 제안한 방법이 우수함을 나타내었다.

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

V. 결 론

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

제안한 워터마킹 알고리즘에서는 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 시각적으로 보이지 않는 최대의 크기로 워터마크를 삽입한다. 이때 삽입된 워터마크로는 정규 분포를 따르는 랜덤 시퀀스를 사용한다. 이러한 방법으로 삽입된 워터마크는 검출 과정에서 벡터 투영 방법을 사용하여 원래의 워터마크와 추출된 워터마크의 유사성을 계산하여 워터마크 존재 여부를 확인한다. 제안한 알고리즘의 성능 평가를 위한 모의 실험에서 제안한 방법이 기존의 방법에 비하여 비가시성과 견고성에서 우수함을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] R. G. van Schyndel, A. Z. Tirkel, and C. F. Osborne, "A DIGITAL WATERMARK," *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, Vol. 2, pp. 8

6~90, 1994.

- [2] Ioannis Pitas, "A Method for Watermark Casting on Digital Images," *IEEE Trans. on Circuits and System for Video Technology*, Vol. 8, No. 6, pp. 775~780, Oct. 1998.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] J. J. K. Ruanaidh, W. J. Dowling, and F. M. Boland, "PHASE WATERMARKING OF DIGITAL IMAGES," *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, Vol. 3, pp. 239~242, 1996.
- [7] X. Xia, C. G. Boncelet, and G. R. Arce, "A Multiresolution Watermark for Digital Images," *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, Vol. 1, pp. 548~551, 1997.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] A. S. Lewis and G. Knowles, "Image compression using the 2-D wavelet transform," *IEEE Trans. on Image Processing*, pp. 244~250, Apr. 1992.

 저 자 소 개

河 仁 盛(正會員) 1988년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학사). 1992년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사). 1996년 3월~현재 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중. 1993년 9월~현재 중소기업청. 주관심 분야 : 영상처리 시스템 설계 및 멀티미디어 보안

權 奇 龍(正會員)
부산외국어 대학교 전자공학과 교수. 주관심 분야 : 적응 신호처리 및 멀티미디어 보안 기술

權 成 根(正會員) 第 37卷 SP編 第 3號 參照

李 鏡 源(正會員)

1992년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학사). 1994년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사). 1994년 3월~1998년 1월 (주)삼성전자. 1999년 3월~현재 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중. 주관심 분야 : 영상신호처리 및 시스템 설계

潘 聲 元(正會員) 第 33卷 B編 第 8號 參照

李 承 珍(正會員) 第 34卷 S編 第 9號 參照

李 健 一(正會員) 第 34卷 S編 第 9號 參照