

인간 시각 시스템에 기반한 JPEG 영상의 디지털 워터마킹

배 성 호[†]

요 약

본 논문에서는 DCT 변환 영역에서 인간 시각의 민감도에 따른 워터마크의 삽입과 원 DCT 계수의 왜곡을 최소화 시키는 워터마크의 삽입 방법을 제안한다. 제안한 방법은 JPEG 영상 압축에 적합한 인간 시각 시스템에 따라 블록을 재정렬하여 인간 시각에 둔감한 블록에 보다 강한 워터마크를 삽입시킨다. 또한 블록내에서는 원 DCT 계수의 왜곡을 최소화시키는 워터마크를 삽입함으로써 높은 압축율에서도 비가시성과 견고성을 향상시킨다. 실험을 통하여 제안한 방법이 기존의 워터마킹 방법과 비교하여 높은 화질을 유지하면서 높은 압축율에서도 견고성이 우수함을 확인하였다.

Digital Watermarking of JPEG Image Based on Human Visual System

Sung-Ho Bae[†]

ABSTRACT

In this paper, a watermark inserting method according to the sensitivity of human visual system and minimizing distortion of original DCT coefficients in DCT transform domain is proposed. The proposed method inserts a more robust watermark in the insensitive block of human vision by reordering the blocks according to the human visual system which is appropriate to the JPEG image compression. It also enhances the invisibility and robustness in high compression rate in terms of the watermark inserting method within the block which minimizes distortions of original DCT coefficients. The computer simulation results show that the proposed method maintains high image quality and good robustness in high compression rate compared with conventional watermarking method.

키워드 : 워터마킹(Watermarking), 인간 시각 시스템(Human Visual System), 텍스처 마스크(Texture Masking), 휘도 마스크(Luminance Masking)

1. 서 론

최근에 네트워크의 발달과 보급을 통해 쉽게 디지털 데이터의 전송이 가능해짐으로서 디지털 멀티미디어 데이터의 생산과 사용이 급진전되고 있다. 멀티미디어 데이터의 상업적 가치와 사용 폭이 증가된 반면, 멀티미디어 데이터들이 네트워크와 인터넷을 통해 쉽게 불법적인 복제나 변조가 가능하므로 저작권과 보안상의 문제점이 발생된다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 디지털 데이터 정보 보호 방법으로는 기존의 암호화 알고리즘을 이용하여 주어진 데이터를 암호화하는 방법, 보호 대상 정보에 대하여 접근제어용 방화벽(firewall)을 구축하는 방법, 그리고 디지털 데이터 내부에 소유권을 보장할 수 있는 개인 정보를 은닉하여 확인할 수 있는 기술인 디지털 워터마킹 등이 있다[1]. 이중 디지털 워터마킹 방법은 공개키 알고리즘이나 방화벽 등으로 해독된 자료에 대하여 부가적인 정보 보호를 제공

하고, 소유권에 대한 법적인 문제 발생 시 해결책을 제시할 수 있어, 최근 디지털 워터마킹 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[2-4]. 이러한 디지털 워터마킹 기술이 저작권을 효과적으로 보호하기 위해서는 아래와 같은 중요한 요구사항이 만족되어야 한다[5].

- 비가시성(invisibility) : 워터마크 삽입 여부를 시각적으로 판단할 수 없어야 한다. 시각적으로 판단할 수 없는 워터마크의 삽입은 원영상의 내용 변화와 의도적인 제거를 막기 위함이다.
- 견고성(robustness) : 외부의 의도적인 변환 및 공격, 잡음 등에 대하여 견고해야 하며, 여러 가지 신호처리, 영상처리, 기하학적 변환 등에도 견고해야 한다.
- 명확성(unambiguity) : 삽입된 워터마크를 추출하여 소유권을 명확히 나타내어야 하고, 여러 가지 공격이 있을 경우에도 정확도가 많이 낮아지지 않아야 한다.
- 범용성(generality) : 워터마킹 방법은 멀티미디어 데이터에 범용적으로 적용될 수 있어야 한다. 디지털

[†] 정 회 원 : 동명정보대학교 멀티미디어공학과 교수
논문접수 : 2003년 11월 21일, 심사완료 : 2004년 3월 6일

멀티미디어 데이터는 음성, 영상, 비디오 등이 혼합된 형태로 존재할 경우가 많기 때문에 동일하게 적용될 수 있는 워터마킹 알고리즘이 생산적일 수 있다.

지금까지 연구되어진 워터마크 방법은 공간 영역에서 영상의 화소에 워터마크를 직접적으로 삽입하는 방법[2, 6-9]과 주파수 변환 영역에서 워터마크를 삽입하는 방법[3-5, 10-15]으로 나눌 수 있다. 공간 영역에서의 워터마킹 방법은 단순하고 빠르게 워터마킹을 수행할 수 있는 장점이 있으나 일반적으로 주파수 영역에서의 워터마킹 방법보다 잡음이나 JPEG 압축 등에 견고성이 낮아지는 단점을 가지고 있다.

주파수 영역에서의 워터마킹 방법은 DCT(Discrete Cosine Transform), FFT(Fast Fourier Transform) 및 DWT(Discrete Wavelet Transform) 등의 변환 방법을 이용하여 원영상을 주파수 영역으로 변환한 후, 워터마크를 삽입하는 방법이다. 기존의 방법들은 원 데이터의 손상을 방지하기 위해 대부분의 정보를 가지고 있는 저주파 영역에 워터마크를 삽입하지 않고, 고주파 영역에 워터마크를 삽입하거나 중간 주파수 대역에 워터마크를 사용하는 방법을 사용하였다[13-15]. 그러나 실제적으로 고주파 영역이나 중간 주파수 대역에 삽입된 워터마크의 경우 저주파 필터(low-pass filter)나 JPEG 압축 및 잡음에 대해서는 견고성이 약해지는 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 Cox 등[5]은 DCT 변환을 이용한 주파수 영역에서의 워터마킹 방법을 제안하였으며, 선택된 계수가 저주파 성분이므로 JPEG과 같은 압축 등에는 견고성이 강한 장점이 있다.

화질의 열화가 없는 비가시성을 유지하면서 영상 조작에 의한 워터마크의 변형 및 삭제에 견고한 워터마킹을 위해서는 인간 시각 시스템 특성을 적절히 활용하는 것이 중요하다[16]. 기존의 대부분의 인간 시각 시스템 모델에 기반한 워터마킹 방법은 JND(Just Noticeable Differences)를 계산하여 삽입할 워터마크의 강도를 결정한다[17]. 최근에 JPEG 영상 압축 분야의 인간 시각 모델을 이용하여 워터마크를 삽입하는 방법이 제안되었다[18]. 그러나 이 방법은 워터마킹된 영상의 비가시성은 우수하나 워터마크의 견고성이 현저히 떨어지는 단점이 있다.

본 논문에서는 방대한 영상 데이터의 양으로 인하여 제한된 전송 대역폭이나 저장 매체에 필수적인 JPEG(Joint Photographic Experts Group) 영상 압축에 적합한 디지털 워터마킹 방법을 제안한다. 제안한 방법은 JPEG 영상 압축에 적합한 인간 시각 시스템 모델을 이용하여 워터마크가 삽입될 블록의 국부적 특성에 따라 비가시성과 견고성이 강한 워터마크를 선택하여 높은 압축율에서도 비가시성과 견고성이 우수하다.

본 논문은 2장에서 기존의 DCT 기반의 워터마킹 방법

을 살펴보고, 3장에서 JPEG 손실 압축에 적합한 인간 시각 시스템을 설명한다. 4장에서는 제안한 JPEG 영상 압축에 적합한 디지털 워터마킹 방법을, 5장에서는 실험을 통하여 제안한 방법과 Cox 등의 방법을 비교하여 성능을 평가하였으며, 6장은 결론 순으로 구성된다.

2. 기존의 DCT 기반의 워터마킹 방법

Cox 등은 영상 뿐만 아니라 오디오, 비디오 및 멀티미디어 데이터에 적용될 수 있는 DCT 기반의 워터마킹 방법을 제안하였다. Cox 등의 방법에서는 먼저 워터마크를 첨가할 원영상 전체를 DCT 변환한 다음, DC 성분을 제외하고 DCT 계수의 절대치가 큰 n 개의 DCT 계수 $V = v(1), v(2), \dots, v(n)$ 을 선택한다. 선택된 DCT 계수에 이진 워터마크보다 견고성이 강한 평균이 0이고 분산이 1인 정규 분포 $N(0, 1)$ 특성의 가우시안 랜덤 벡터 $W = w(1), w(2), \dots, w(n)$ 을 워터마크로 사용하고 식 (1)과 같이 삽입하였다.

$$v(i)' = v(i) + \alpha v(i)w(i) \quad (1)$$

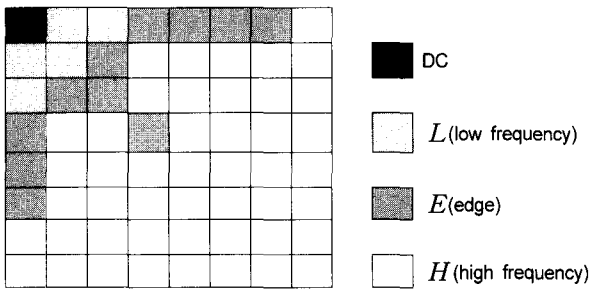
식 (1)에서 $v(i)$ 는 선택된 DCT 계수이며 $v'(i)$ 는 워터마킹된 DCT 계수이다. 식 (1)은 선택된 DCT 계수의 값이 큰 경우에는 보다 큰 값이 삽입되고, 적은 경우에는 보다 작은 값이 삽입된다. 이는 일반적으로 큰 값은 작은 값에 비하여 더해지는 양에 덜 민감하기 때문이다. 식 (1)에서 스케일 인자 α 를 증가시키면 워터마크로 큰 값이 더해지므로, 워터마크가 삽입된 영상의 화질은 나빠지지만 외부의 공격에는 더 강인하게 된다. 워터마크 추출 과정에서는 원영상이 필요하며 원영상과 워터마킹된 영상을 DCT 변환 후, 원영상으로부터 워터마킹된 영상의 DCT 계수에서 워터마크가 삽입된 위치를 찾아내어 식 (1)의 역함수인 식 (2)로 워터마크를 추출할 수 있다.

$$w(i) = \frac{v(i)' - v(i)}{\alpha v(i)} \quad (2)$$

Cox 등의 워터마킹 방법은 시각적으로 중요한 영역인 절대치가 큰 DCT 계수에 워터마크를 삽입하여 워터마크의 견고성을 강하게 하였다. 이는 시각적으로 중요한 영역에 공격을 가할 경우 화질이 심하게 왜곡되므로, 일반적인 외부 공격이 절대치가 작은 DCT 계수를 공격하는 특성을 이용한 것이다. Cox 등의 방법은 선택된 계수가 저주파 성분이므로 JPEG 영상 압축에 가장 강한 장점이 있다. 그러나 전체 영상을 DCT 변환하므로 계산량이 매우 증가하며, JPEG 영상 압축의 블록별 처리 방법에 최적화 되지 못하였다. 그러므로 인터넷 환경에서 영상 전송에 필수적인 JPEG 영상 압축에 적합한 워터마킹 방법이 필요하다.

3. JPEG 손실 압축에 적합한 인간 시각 시스템

JPEG은 현재 정지영상 압축을 위한 국제 표준 방법이다. JPEG 방법은 DCT 변환, 양자화, 엔트로피 부호화로 구성되어 있다. 양자화 행렬(matrix)의 주파수 영역에 따라 양자화 단계를 변경하여 압축율을 조절하며, 양자화 단계가 클수록 영상의 화질은 열화되지만 높은 압축율을 가진다. 영상 압축을 위하여 사용되는 인간 시각 시스템 특성은 주파수 민감도와 텍스처 마스크 및 휘도 마스크가 있다. JPEG의 양자화 행렬은 고주파 영역의 DCT 계수에 높은 양자화 크기를 할당하여, 높은 주파수 영역에서 인간 시각이 에러에 둔감한 주파수 민감도를 고려한 것이다. Tong 등[19]은 인간 시각이 복잡한 텍스처 영역에서 에러에 대한 민감도가 떨어지는 텍스처 마스크 특성과 매우 어두운 영역과 밝은 영역에 대해 민감도가 떨어지는 휘도 마스크 특성을 결합하여 JPEG 압축에 적합한 인간 시각 시스템 모델을 제안하였다. 하나의 블록에서 DCT 계수의 AC 에너지는 그 블록의 텍스처 활동도(activity)를 나타내며, 에지와 텍스처 블록에서의 AC 에너지는 높게 나타난다. 인간 시각의 에러에 대한 민감도는 평탄 블록이 가장 높고 에지, 텍스처 블록 순으로 낮아진다. (그림 1)은 영상을 8×8 블록으로 분할한 후 DCT 변환을 수행한 블록이며, DCT 계수의 위치에 따라 DC, 저주파, 에지, 고주파 영역으로 나타내었다. 4개의 영역 각각에 대해 DCT 계수의 절대값의 합을 DC, L, E, H 기호로 표현한다.



(그림 1) 블록에서의 주파수 분류

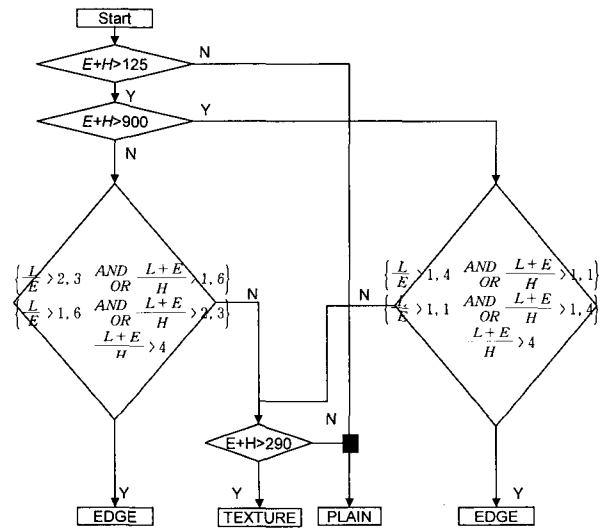
Tong 등은 $(L+E)$ 와 $(E+H)$ 를 각각 블록의 에지 에너지와 텍스처 에너지로 근사화하여 블록 분류를 (그림 2)의 방법으로 수행하였다. Tong 등은 분류된 블록에 따라 텍스처 마스크 계수를 식 (3)과 같이 정의하였다.

$$TexMask(k) = \begin{cases} (F_{maxT} - 1) \times \frac{TexE(k) - Min}{Max - Min} + 1, & \text{for texture block} \\ 1.25, & \text{for edge and if } L + E > 400 \\ 1.125, & \text{for edge block and if } L + E \leq 400 \\ 1, & \text{for plain block} \end{cases} \quad (3)$$

Tong 등은 인간 시각은 매우 어두운 영역을 제외하고는 낮은 휘도 영역은 잡음에 민감하고 비선형적 반응을 나타내는 특성을 고려하여 식 (4)와 같이 휘도 마스크 계수를 적용적으로 조절하는 방법을 제안하였다.

$$LumMask(k) = \begin{cases} (2 - mean) \times \frac{DC(k) - mean}{255 - 90} + 1, & \text{if } DC(k) > mean \\ 1, & \text{if } 25 \leq DC(k) \leq mean \\ 1.125, & \text{if } 15 \leq DC(k) < 25 \\ 1.25, & \text{if } DC(k) < 15 \end{cases} \quad (4)$$

여기서 $mean$ 은 공간 영역에서 영상 전체의 휘도 값의 평균을 나타내며, $DC(k)$ 는 영상을 8×8 블록으로 분할한 후 k 번째 블록의 평균을 나타낸다.



(그림 2) Tong 등의 블록 분류 방법

Tong 등은 k 번째 블록의 국부적 인자 $TexMask(k) \times LumMask(k)$ 를 JPEG 양자화 행렬에 곱하여 인간 시각 시스템에 둔감한 밝은 휘도 블록과 에지와 텍스처 블록에 큰 양자화 크기를 할당하여 인간의 주관적 화질의 변화 없이 압축율을 높이는 방법이다.

4. 제안한 인간 시각 시스템을 이용한 JPEG 영상의 디지털 워터마킹

인간의 시각은 주파수가 증가할수록 잡음을 구별할 수 있는 한계치가 증가하여 고주파 영역에 대한 주파수 민감도는 감소하는 특성을 가지고 있다. 또한 텍스처 영역보다 평탄 영역에서 잡음에 더 민감하며, 밝은 영역 보다 어두운 영역에서 잡음에 더 민감하다. 이는 영상의 고주파 영역과

텍스처 영역 및 밝은 영역에서 잡음에 더 둔감하므로 보다 강한 워터마크를 삽입할 수 있음을 나타낸다. 이러한 이유들로 인해 영상 압축을 위해 연구되어 온 인간 시각 시스템 모델을 디지털 워터마킹에 적용하는 것은 워터마크된 영상 화질의 저하를 인간이 최소한으로 인지할 수 있도록 하면서 워터마크의 비가시성과 견고성을 유지할 수 있는 방법이라 할 수 있다.

그러므로 본 논문에서는 Tong등이 제안한 JPEG 손실 압축에 적합한 인간 시각 시스템 모델을 이용하여 높은 압축율에서도 비가시성과 견고성이 우수한 디지털 워터마킹 방법을 제안한다. 제안한 방법은 JPEG의 표준 양자화 행렬을 이용하여 인간 시각의 주파수 민감도를 고려한 DCT 계수를 선택하고, 인간 시각의 텍스처 마스킹과 휘도 마스킹을 고려하여 에지와 텍스처 영역 및 밝은 영역에 보다 강한 워터마크를 삽입함으로써 비가시성과 견고성을 향상시킨다. 제안한 방법에서는 영상을 8×8 블록으로 분할하여 각 블록에 대한 휘도 마스킹 계수를 구한다. 그리고 블록별로 DCT 변환하여 (그림 2)의 블록 분류 방법을 이용하여 평탄, 에지, 텍스처 블록으로 분류한 후 블록별로 에지 에너지(L+E)와 텍스처 에너지(E+H) 및 텍스처 마스킹 계수를 구한다. 제안한 방법에서는 워터마크를 삽입할 DCT 계수를 선택하기 위하여 각 블록에 대해 <표 1>의 JPEG 표준 양자화 행렬을 나누어 양자화된 DCT 블록을 구한다. 그리고 각 블록의 DC를 제외한 모든 양자화된 DCT 계수들 중 절대값이 큰 n개의 DCT 계수를 워터마크의 삽입 위치로 결정하여, 워터마크를 삽입할 DCT 계수 $V = v(1), v(2), \dots, v(n)$ 을 선택한다. 이는 높은 압축율에서는 고주파 영역에 손실이 많이 가해지므로 인간 시각에 둔감한 고주파 영역의 DCT 계수에 워터마크의 삽입을 방지하기 위함이다.

<표 1> JPEG 표준 양자화 행렬

16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	66
14	13	16	24	40	57	69	57
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	36	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

본 논문에서는 인간 시각의 텍스처 마스킹 특성을 이용하여 선택된 DCT 계수중 잡음에 민감한 블록에 속한 DCT 계수에 보다 약한 워터마크를 삽입하는 방법을 제안한다. 이는 인간 시각에 둔감한 블록에 속한 DCT 계수에 보다 강한 워터마크를 삽입함으로써 워터마크된 영상의 비

가시성 및 견고성을 향상시키는 방법이다. 따라서 제안한 방법은 잡음의 민감도와 워터마크의 에너지에 따른 선택된 DCT 계수와 워터마크의 재정렬이 필요하다. 먼저 워터마크의 재정렬은 정규 분포 $N(0, 1)$ 특성을 가진 가우시안 랜덤 벡터 $W = w(1), w(2), \dots, w(n)$ 을 워터마크로 사용하여, 식 (5)와 같이 워터마크의 에너지가 작은 순으로 오름차순으로 재정렬한 워터마크 벡터 \hat{W} 를 생성한다.

$$|\hat{w}(j)| < |\hat{w}(j+1)|, j=0, \dots, n-1 \quad (5)$$

잡음에 대하여 인지하는 민감도에 따라 선택된 DCT 계수의 재정렬 방법을 (그림 3)에 나타내었다. (그림 3)에서 볼 수 있듯이 평탄, 에지, 텍스처 블록에 삽입될 워터마크의 개수를 각각 $x, y, z(x+y+z=n)$ 라 할때, 워터마크의 에너지가 작은 x 개가 평탄 블록에 삽입되며, 워터마크의 에너지가 중간인 y 개는 에지 블록에, 워터마크의 절대치가 큰 z 개의 워터마크는 텍스처 블록에 삽입되도록 선택된 DCT 계수를 재정렬한 \hat{v}_k 를 생성한다. (그림 3)에서 \hat{v}_k 의 아래 첨자 k 는 k 번째 블록을 나타내며 위 첨자 j 는 k 번째 블록에 삽입할 워터마크의 개수를 나타낸다. 그리고 MP, ME, MT는 평탄, 에지, 텍스처 블록들 중 하나의 블록에 삽입할 워터마크의 최대 개수를 나타낸다.

plain	$v_k^{MP}(0)$	$ v_k^{MP}(0) >$	$\hat{w}(0)$
	$v_k^{MP}(1)$	$ v_k^{MP}(1) $	$\hat{w}(1)$
	\vdots	\vdots	\vdots
	$v_m^T(x-1)$	\vdots	$\hat{w}(x-1)$
edge	$v_a^{ME}(x)$	$L_a + E_a < L_b + E_b$	$\hat{w}(x)$
	$v_b^{ME}(x+1)$	$ v_b^{ME}(x+1) >$	$\hat{w}(x+1)$
	$v_b^{ME}(x+2)$	$ v_b^{ME}(x+2) $	$\hat{w}(x+2)$
	\vdots	\vdots	\vdots
	$v_m^T(x+y-1)$	\vdots	$\hat{w}(x+y-1)$
texture	$v_f^{MT}(x+y)$	$E_f + H_f < E_g + H_g$	$\hat{w}(x+y)$
	$v_g^{MT}(x+y+1)$	\vdots	$\hat{w}(x+y+1)$
	\vdots	\vdots	\vdots
	$v_m^T(x+y+z-1)$	\vdots	$\hat{w}(x+y+z-1)$

(그림 3) 선택된 DCT 계수의 재정렬 방법

분류된 블록별로 선택된 DCT 계수를 세부적으로 재정렬하는 방법은 잡음에 대하여 인지하는 민감도에 따라 블록을 재정렬한 후, 블록내에서 선택된 DCT 계수를 재정렬한다. 하나의 블록에 여러개의 워터마크가 삽입되면 그 블록에서 워터마크된 영상의 화질이 열화되어 비가시성이 떨

어지는 단점이 있다. 그러므로 블록의 재정렬 방법은 워터마크가 많이 삽입되는 블록에 대해서는 에너지가 작은 워터마크를 삽입하여 워터마킹된 영상의 블록 열화를 방지한다. 또한 워터마크의 삽입 개수가 동일할 블록들이 존재할 경우에는 블록의 에지 에너지 또는 텍스처 에너지가 작을수록 에너지가 작은 워터마크를 삽입한다. 블록을 재정렬한 후 블록내에서 선택된 DCT 계수의 재정렬은 DCT 계수의 절대치가 큰 값에 에너지가 작은 워터마크를 삽입하도록 정렬한다. 이는 식 (1)에서 보듯이 더해지는 $av(i)w(i)$ 의 절대값이 최소가 될수록 워터마킹된 영상과 원영상과의 차이가 최소가 되어 워터마킹된 영상의 왜곡이 작아지게 됨으로서 비가시성을 향상시킨다. 선택된 DCT 계수가 평탄 블록에 속할때의 재정렬은 선택된 DCT 계수가 많은 블록일수록 낮은 인덱스로 정렬되며, 블록내에서 선택된 DCT 계수의 재정렬은 DCT 계수가 클수록 낮은 인덱스로 정렬된다. 에지와 텍스처 블록에서는 선택된 DCT 계수의 수가 많은 블록일수록 낮은 인덱스로 정렬되며, 워터마크가 삽입 개수가 동일한 블록간에는 블록의 에지 에너지 또는 텍스처 에너지가 작을수록 낮은 인덱스로 정렬된다. 에지와 텍스처 블록내에서 선택된 DCT 계수의 재정렬은 평탄 블록의 방법과 동일하다.

제안한 방법에서 워터마크를 삽입하는 수식은 Tong 등의 인간 시각 시스템 모델과 재정렬된 DCT 계수 및 워터마크를 이용하여, 식 (6)에서와 같이 k 번째 블록의 텍스처 마스크 계수 $TexMask(k)$ 와 휘도 마스크 계수 $LumMask(k)$ 를 워터마크에 곱해줌으로서 동일 화질에서도 삽입되는 워터마크를 적응적으로 조절 하여 워터마크의 견고성을 향상시킨다.

$$\hat{v}_k'(i) = \hat{v}_k(i)(1 + \alpha \times TexMask(k) \times LumMask(k) \times \hat{w}(i)), \quad i=0 \dots n-1 \quad (6)$$

여기서 $\hat{w}(i)$ 는 재정렬된 워터마크 계수를, $\hat{v}_k(i)$ 는 (그림 3)의 방법으로 재정렬된 선택된 DCT 계수를 나타내며, $\hat{v}_k'(i)$ 는 워터마킹된 DCT 계수를 나타낸다.

제안한 방법은 인간 시각에 둔감한 에지나 텍스처 블록에서 에지 에너지와 텍스처 에너지 및 선택된 DCT 계수의 절대치에 따라 보다 강한 워터마크를 삽입하여 비가시성과 견고성을 향상시킨다. 또한 블록별로 워터마크를 삽입함으로써 Cox 등의 방법보다 계산량이 월등히 감소되는 장점을 가진다. 제안된 워터마킹 방법의 대략적인 과정은 아래와 같다

4.1 워터마크 삽입 방법

- 단계 1 : 원영상을 8×8 블록으로 분할하여 각 블록의 휘도 마스크 계수를 구하고 분할된 블록별로 DCT

변환하여 주파수 영역으로 변환한다.

- 단계 2 : JPEG 표준 양자화 행렬을 이용하여 워터마크를 삽입할 DCT 계수 n 개를 선택한다.
- 단계 3 : 잡음에 대하여 인지하는 민감도가 높은 순으로 재정렬한 선택된 DCT 계수에 에너지가 작은 순으로 재정렬된 워터마크를 대응시키며, 블록의 특성에 따라 워터마크의 삽입 강도를 적응적으로 조절한다.
- 단계 4 : 워터마킹된 계수를 원래의 위치로 삽입하고, 역 DCT 변환하여 워터마크가 삽입된 영상을 생성한다.

제안한 방법에서는 Cox 등의 방법과 같이 워터마크 추출시 원영상을 필요로 한다. 워터마크의 추출은 삽입단계의 역 과정을 통하여 워터마크를 추출한다.

4.2 워터마크 추출 방법

- 단계 1 : 워터마킹된 영상 또는 공격받은 영상과 원영상을 8×8 블록으로 분할하고 원영상에서 블록별 휘도 마스크 계수를 구한 후, 원영상과 워터마킹된 영상을 블록별 DCT 변환한다.
- 단계 2 : 원영상에서 워터마크 삽입 방법과 동일하게 JPEG 표준 양자화 행렬을 이용하여 워터마크가 삽입된 위치를 결정한다.
- 단계 3 : 잡음에 대하여 인지하는 민감도에 따라 재정렬한 선택된 DCT 계수와 이에 대응되는 워터마크를 결정한다.
- 단계 4 : 식 (6)의 역 함수를 이용하여 변형된 영상에서 손상된 워터마크를 추출한다.
- 단계 5 : 추출된 워터마크와 원래의 워터마크와의 유사도(similarity)를 구하여 유사도가 임계치를 초과할 경우 소유권자의 워터마크로 인증한다.

5. 실험 결과

제안한 방법의 성능을 평가하기 위해 256×256 크기의 256 해상도로 된 Lena와 Babon 영상에 대하여 JPEG 손실 압축에 가장 견고성이 강한 Cox 등의 방법과 비교하여 워터마크의 비가시성과 견고성에 대하여 실험하였다. Cox 등의 방법과 동일한 실험 환경을 만들기 위해 스케일 인자 α 는 0.1로 하였으며, 정규 분포 $N(0, 1)$ 특성을 가지는 가우시안 랜덤 벡터를 워터마크로 사용하고, 워터마크 벡터의 크기 n 을 1000개로 하였다. 비가시성에 대한 성능 평가 지수는 객관적인 화질 비교를 위하여 식 (7)의 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio)을 사용하였다.

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MN \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=1}^{N-1} (v(i, j) - \hat{v}(i, j))^2} \quad [dB] \quad (7)$$

여기서 $v(i, j)$ 및 $\hat{v}(i, j)$ 는 원영상 및 워터마크가 삽입된 영상을 나타내며 M 과 N 은 영상의 행과 열의 크기를 나타낸다. (그림 4)와 (그림 6)은 각각 Lena, Baboon 원영상이고, (그림 5)와 (그림 7)은 제안한 방법을 사용하여 워터마크된 영상을 나타내었다.

시각적으로 워터마크의 삽입 여부를 구분하기가 어려우며, 화질 저하는 거의 없는 것을 그림의 결과에서 볼 수 있다. 워터마크 삽입 후, 원영상의 화질 왜곡의 정도를 살펴보기 위해, 원영상과 워터마크된 영상과의 PSNR을 사용하여 Cox 등의 방법과 제안한 방법의 비교를 <표 2>에 나타내었다. <표 2>에서 제안한 방법이 Cox 등의 방법보다 PSNR이 3.6[dB] 이상 개선되는 것을 알 수 있다.

<표 2> 워터마크된 영상의 PSNR

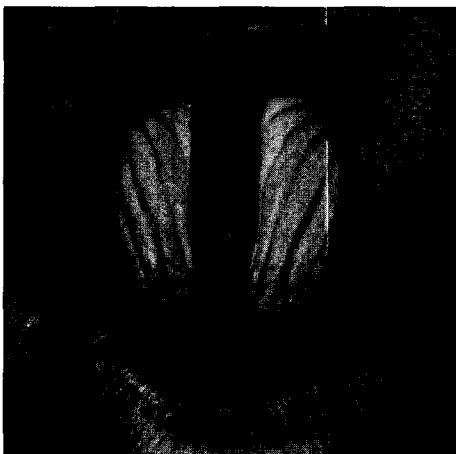
method \ images	Lena	Baboon
proposed method	40.5 [dB]	41.0 [dB]
Cox et al.'s method	35.8 [dB]	37.4 [dB]



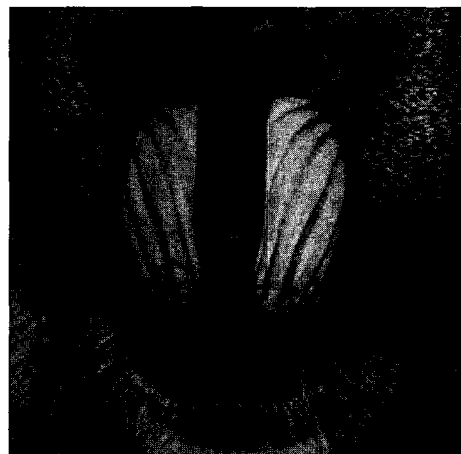
(그림 4) Lena 원영상



(그림 5) 워터마크된 Lena 영상



(그림 6) Baboon 원영상



(그림 7) 워터마크된 Baboon 영상

견고성에 대한 성능 평가 지수는 워터마크된 영상에서 추출된 워터마크 W^* 와 원래의 워터마크 W 의 유사 정도를 나타내는 식 (8)의 유사도를 사용하였다. 유사도가 임계치를 초과할 경우에 소유권자의 워터마크로 인증한다.

$$Sim(W, W^*) = \frac{W \cdot W^*}{\sqrt{W^* \cdot W^*}} \quad (8)$$

제안한 워터마크 방법의 JPEG 영상 압축에 대한 견고성을 평가하기 위하여 인터넷 상에서 제공되는 벤치마킹 툴인 Stirmark[20]를 사용하여 워터마크된 실험 영상에 대해 JPEG quality factor를 다양하게 변형하여 유사도를 계산한 결과를 <표 3>에 나타내었다.

<표 3>의 결과에서 제안한 방법이 80% quality factor 이상의 낮은 압축율에서의 유사도는 제안한 방법과 Cox 등의 방법이 유사하나 80% quality factor 미만의 높은 압축율에서의 유사도는 압축율이 높을수록 제안한 방법이 Cox 등의 방법보다 우수한 결과를 나타냄을 <표 3>에서 알 수 있다.

<표 3> JPEG quality factor에 따른 유사도

quality factor	similarity			
	proposed method		Cox et al.'s method	
	Lena	Baboon	Lena	Baboon
no attack	31.6	31.6	31.6	31.6
80%	31.4	31.4	31.4	31.2
60%	31.0	31.0	30.8	30.4
40%	30.3	30.3	29.9	28.8
30%	29.4	29.5	28.5	27.3
20%	27.5	27.8	25.7	23.4
10%	22.3	23.9	18.9	15.5
5%	12.0	9.3	9.6	6.6

6. 결 론

본 논문에서는 JPEG 영상 압축에 적합한 인간 시각 시스템 모델을 이용하여 높은 압축율에서도 비가시성과 견고성이 우수한 디지털 워터마킹 방법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 영상을 8×8 블록으로 분할하여 각 블록에 DCT를 수행한 후, 인간 시각에 둔감한 블록에 보다 강한 워터마크를 삽입하고, 원 DCT 계수의 왜곡을 최소화시키는 워터마크를 삽입하여 워터마킹된 영상의 비가시성과 JPEG 영상 압축에서의 워터마크의 견고성을 향상시켰다. 실험을 통하여, JPEG 영상 압축에서 Cox 등의 확산 스펙트럼 방법에 의한 워터마킹 방법보다 제안한 방법이 비가시성과 견고성에서 우수함을 확인하였다.

제안된 방법은 워터마크를 추출하기 위해서 원영상이 필요하다. 향후 연구 과제는 원영상을 필요로 하지 않는 견고한 워터마킹 방법에 대한 연구와 제안된 워터마킹 방법을 동영상에도 확장 적용하는 것이다.

참 고 문 헌

[1] 원치선, "디지털 영상의 저작권 보호," 정보과학회지, 제15권 제12호, pp.22-27, 1997.
 [2] A. Nikolaidis and I. Pitas, "Region-based image watermarking," IEEE Trans. Image Processing, Vol.10, No.11, pp.1726-1740, Nov., 2001.
 [3] L. Xie and G. R. Arce, "A class of authentication digital watermarks for secure multimedia communication," IEEE Trans. Image Processing, Vol.10, No.11, pp.1754-1764, Nov., 2001.
 [4] V. Solachidis and I. Pitas, "Circularly symmetric watermark

embedding in 2-D DFT domain," IEEE Trans. Image Processing, Vol.10, No.11, pp.1741-1753, Nov., 2001.
 [5] I. J. Cox, Joe Kilian, F. T. Leighton and T. Shamoan, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," IEEE Trans. Image Processing, Vol.6, No. 12, pp.1673-1687, Dec., 1997.
 [6] O. Bruyndonckx, J. J. Quisquater and B. Macq, "Spatial method for copyright labeling of digital images," in Proc. IEEE Nonlinear Signal and Image Processing, pp.456-459, June, 1995.
 [7] P. W. Wong, "A watermark for image integrity and ownership verification," in Pro. IS&T PIC Conference, May, 1998.
 [8] W. Bender, D. Gruhl, and N. Morimoto, "Techniques for data hiding," in Proc. SPIE, Vol.2420, p.40, Feb., 1995.
 [9] I. Pitas and T. H. Kaskalis, "Signature casting on digital images," in Proc. IEEE Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing, 1995.
 [10] E. Koch and J. Zhao, "Towards robust and hidden image copyright labeling," Nonlinear Signal Processing Workshop, pp.460-463, 1995.
 [11] Mitchell D. Swanson, Bin Zhu and Ahmed H. Tewfik, "Transparent robust image watermarking," Proc. IEEE International Conference on Image Processing, pp.211-214, 1996.
 [12] Deepa Kundur and Dimitrios Hatzinakos, "Digital watermarking using multiresolution wavelet decomposition," Proc. IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Vol.5, May, 1998.
 [13] Chiou-Ting Hsu and Ja-Ling Wu, "Multiresolution watermarking for digital images," IEEE Trans. Circuits Syst. II, Vol.45, No.8, pp.1097-1101, Aug., 1998.
 [14] Chiou-Ting Hsu and Ja-Ling Wu, "Hidden digital watermarks in images," IEEE Trans. Image Processing, Vol.8, No.1, pp.58-68, Jan., 1999.
 [15] J. Piva, M. Barni, F. Bartolini and V. Cappellini, "DCT-based watermarking restoring to the uncorrupted original image," IEEE Int. Conf. on Image Processing, Vol.1, pp.520-523, 1997.
 [16] Z. H. Wei, P. Qin and Y. Q. Fu, "Perceptual digital watermark of images using wavelet transform," IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol.44, pp.1267-1272, Nov., 1998.
 [17] C. I. Podilchuk and W. Zeng, "Image adaptive watermarking using visual models," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.16, pp.525-539, May, 1998.
 [18] 변성철, 김종남, 안병하, "인지 시각시스템 및 이산코사인변

환을 이용한 디지털 이미지 워터마킹”. 정보과학회 논문지, 제30권 제1호, pp.17-23, 2003.

- [19] Henry H. Y. Tong and Anastasios N. Venetsanopoulos, “A perceptual model for JPEG applications based on block classification, texture masking and luminance masking,” Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing, pp.428-432, 1998.
- [20] Stirmark, <http://www.petitcolas.net/fabien/watermarking/stirmark/>.



배 성 호

e-mail : baesh@tmc.tit.ac.kr

1991년 경북대학교 전자공학과(공학사)

1993년 경북대학교 전자공학과(공학석사)

1997년 경북대학교 전자공학과(공학박사)

1998년~1999년 삼성전자 무선사업부

선임연구원

1999년~현재 동명정보대학교 멀티미디어공학과 조교수

관심분야 : 영상처리, 컴퓨터 비전