

논문 2004-41SP-6-24

# 영상 특성에 적응적인 블록 DCT 기반 지각적 디지털 워터마킹

(Image Adaptive Block DCT-Based Perceptual Digital Watermarking)

최 윤 희\*, 최 태 선\*

(Yoon-Hee Choi and Tae-Sun Choi)

## 요 약

본 논문에서는 기존의 영상 압축 표준과 호환되며 영상 또는 비디오의 특성에 따라 워터마크를 삽입하는 새로운 방법을 제안한다. 워터마크를 최대의 강도로 삽입하기 위해 블록내의 DCT 계수의 계층구조를 이용한 가중치 함수를 정의한다. 이 구조를 이용하면 DCT 블록 내에서 공간-주파수 지역화 특성을 이용할 수 있다. 워터마크의 검출 단계에서는 통계적 분석을 통한 주어진 오검출 확률에 대한 최적의 사후 임계값을 계산하는 방법을 제시한다. 실험결과는 제안된 방법이 여러 가지 신호처리 공격과 널리 사용되는 JPEG, MPEG 부호화에 강인함을 보여준다.

## Abstract

We present new digital watermarking scheme that embeds a watermark according to the characteristics of the image or video. The scheme is compatible with established image compression standard. We define a weighting function using a parent-child structure of the DCT coefficients in a block to embed a maximum watermark. The spatio-frequency localization of the DCT coefficients can be achieved with this structure. In the detection stage, we present an optimum a posteriori threshold with a given false detection error probability based on the statistical analysis. Simulation results show that the proposed algorithm is efficient and robust against various signal processing techniques. Especially, they are robust against widely used coding standards, such as JPEG and MPEG.

**Keywords :** digital watermarking, block DCT, a posteriori threshold

## I. 서 론

디지털 미디어 압축기술의 발달과 컴퓨터 네트워크의 급속한 보급으로 디지털 미디어의 사용이 급증하였다. 디지털 미디어는 아날로그와는 달리 복사와 편집이 쉽고 컴퓨터 네트워크를 통한 배포가 용이한 장점을 가지고 있다. 그러나 이는 디지털 데이터에 대한 저작권 보호라는 새로운 문제를 낳게 되었다. 이 문제를 해결하기 위해 디지털 워터마킹 기술이 제안되었다<sup>1-3)</sup>. 디

지탈 워터마킹이란 저작권에 관련된 정보를 디지털 미디어에 삽입하는 기술을 말한다. 이 정보는 시각적으로 보이도록 삽입할 수도 있고<sup>4)</sup> 보이지 않도록 삽입할 수도 있다. 그러나 눈에 보이지 않는 방법은 원래의 데이터에 시각적인 손상을 주지 않기 때문에 눈에 보이는 방법보다 실용적이다. 워터마킹 기술은 그 용도에 따라 깨지기 쉬운(Fragile) 워터마킹과 강인한(Robust) 워터마킹으로 나눌 수 있다. 깨지기 쉬운 워터마킹의 경우, 디지털 미디어에 가해진 변형을 찾아낼 수 있도록 약한 공격에도 워터마크가 쉽게 깨져야 한다<sup>5)</sup>. 강인한 워터마킹의 경우, 워터마크가 다양한 종류의 공격에도 살아남아야 하며, 만일 워터마크가 사라진 경우, 워터마크가 삽입된 영상이 실용적으로 사용 불가능한 정도로 손상되어야 한다. 본 논문에서는 눈에 보이지 않는 강인한

\* 정희원, 광주과학기술원 기전공학과  
(Department of Mechatronics, Gwangju Institute of Science and Technology)

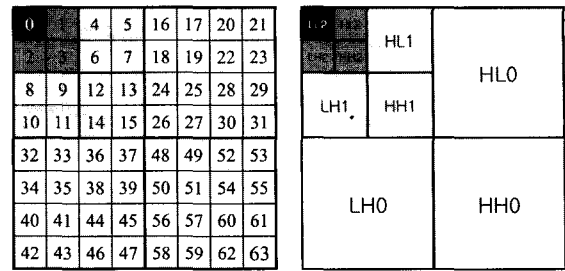
※ 이 논문은 2003년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음. (KRF-2003-041-D20470)  
접수일자: 2004년6월23일, 수정완료일: 2004년7월19일

워터마킹 방법을 제안한다. 강인한 워터마킹 방법의 가장 중요한 두 가지 특징은 비가시성(imperceptibility)과 강인성(Robustness)이다. 비가시성이란 삽입 후에 워터마크가 보이지 않아야 한다는 것을 의미한다. 반면, 강인성은 여러 가지 영상 조작에 대해 워터마크가 살아남아야 한다는 것을 의미한다. 그러나 이 두 가지는 서로 상충된다. 따라서 워터마킹 시스템을 설계하는데 있어 비가시성을 만족하면서 최대의 강인성을 갖도록 하는 것이 가장 중요한 문제이다. 문헌에 따르면 인간시각시스템(HVS: Human Visual System)을 활용하는 것이 가장 좋은 해결책으로 제시되고 있다<sup>[6][7]</sup>. 본 논문에서는 8×8 블록 DCT 영역에서 HVS의 특성을 고려한 강인한 영상 및 동영상 워터마킹 방법을 제안한다. 워터마크는 8×8 블록의 선택된 DCT 계수에 삽입된다. 이때, 비가시성을 만족하면서 최대 강도의 워터마크를 삽입하기 위한 가중치를 계산한다. 가중치는 블록 DCT 계수의 계층구조를 이용하여 HVS의 특성에 맞도록 계산한다. 워터마크의 추출 과정에서 원영상을 사용하는 방법은 특별한 경우를 제외하고 다중 저작권 소유 분쟁(multiple copyright ownership claims)에 관한 문제를 해결 할 수 없다는 것이 알려져 있다<sup>[8]</sup>. 또한, 워터마크 추출 과정에서 원본을 사용하지 않는 기존의 대부분의 방법은 워터마크의 존재 유무를 판별할 수 있는 분석적인 임계값을 제시하지 않는다. 본 논문에서는 워터마크의 검출 단계에 원영상을 사용하지 않고 통계적 분석을 통해, 주어진 오검출 확률(false detection error probability)에 대한 최적의 사후 임계값(a posteriori threshold)<sup>[9]</sup>을 계산하는 방법을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 8×8 블록 DCT의 계층구조가 웨이블릿과 유사한 성질을 가지고 있음을 보이고, III 장에서는 이 구조를 이용한 가중치의 계산과 정지영상의 워터마크의 삽입 과정을 설명한다. IV 장에서는 공모 공격(Collusion Attack)에 견딜 수 있는 비디오 워터마킹 방법을 설명하고, V 장에서는 원영상을 사용하지 않는 워터마크의 추출 과정과 통계적 분석을 이용한 임계값의 계산에 대해 설명한다. VI 장에서는 제안된 방법을 검증하기 위한 모의실험 결과를 제시 하고, VII 장에서 결론을 맺는다.

II. DCT 블록의 계층 구조

워터마킹의 과정에서 입력 영상은 8×8 블록으로 나뉘고 각 블록은 워터마크를 삽입하기 위해 DCT 영역



(a) DCT 계수 (b) 10개의 부대역

그림 1. 8×8 DCT 블록의 계층 구조  
Fig. 1. A tree structure in the 8×8 DCT block.

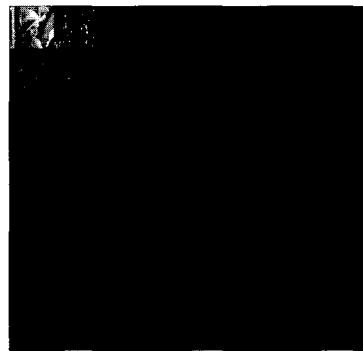


그림 2. Lena영상의 Wavelet과 유사한 구조를 가지는 8×8 블록의 DCT 분해  
Fig. 2. A wavelet-like decomposition of Lena image using 8×8 block DCT coefficients.

으로 변환된다. 각각의 8×8 DCT 블록은 그림 1과 같이 10개의 부대역을 가지는 3단계 계층 구조를 가진다<sup>[10]</sup>.

DC 계수 {0}은 LL2 대역으로 이것은 계층 구조의 루트이다. 계수 {1}, {2}, {3}은 각각 HL2, LH2, HH2 대역이다. 이러한 방법으로 계수 집합 {4, 5, 6, 7}, {8, 9, 10, 11}, {12, 13, 14, 15}, {16, ..., 31}, {32, ..., 47}, {48, ..., 63}은 각각 대역 HL1, LH1, HH1, HL0, LH0, HH0이다. DCT 계수와 10개의 부대역간의 연관성은 그림 1에 나타나 있다.

만일 모든 DCT 블록에서 동일한 부대역만을 모은다면 그림 2와 같이 3단계 Wavelet 변환과 같은 형태를 얻을 수 있다. 그림에서 DCT 계수에도 Wavelet계수와 같은 계층 구조가 있음을 확인할 수 있다. 그림 2의 영상은 영상의 가시성을 위하여 화소값의 밝기를 조정하였다.

III. 정지영상의 워터마크 삽입

정지영상 워터마킹은 8×8 블록 DCT를 기반으로 한다. 이를 위해,  $N_1 \times N_2$  크기의 입력영상  $I(x,y)$ 를 식

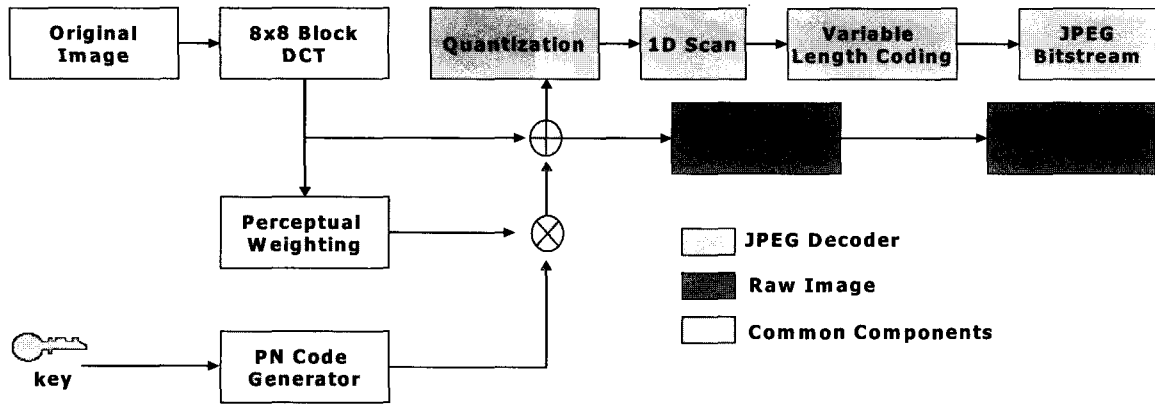


그림 3. 워터마크 삽입과정의 블록도  
Fig. 3. Block diagram for watermark embedding process.

(1)과 같이 8×8 크기의 겹치지 않는 블록들로 나누고 각 블록을 DCT 영역으로 변환한다.

$$I(x, y) = \bigcup_{k=0}^{K-1} B_k, \quad \bigcap_{k=0}^{K-1} B_k = \phi \quad (1)$$

여기서,  $B_k$ 는 번째 8×8 블록이고  $k=0, 1, \dots, K-1$ 이다.  $K$ 는 영상에 있는 블록의 총 개수이다.

영상에 최소의 가시성으로 최대의 워터마크를 삽입하기 위해 8×8 DCT 블록의 공간-주파수 지역화 특성 (spatio-frequency localization)을 이용한다. 가중치 함수는 주파수 영역에서 영상의 지역적인 특성을 고려하여 계산한다. 블록내의 주어진 좌표에 대한 가중치는 같은 대역의 다른 레벨의 해당 계수들의 에너지를 이용하여 계산한다. 가중치는 각 8×8 DCT 블록에서 다음의 수식으로 계산할 수 있다.

$$w_l^\theta(x, y) = \left\{ \sum_{k=0}^2 \frac{1}{4^{3-k}} \sum_{i=0}^{2'-12'-1} \sum_{j=0}^{2'-12'-1} C_{2-k}^\theta \left( \left\lfloor \frac{x}{2^{2-l-k}} \right\rfloor + i, \left\lfloor \frac{y}{2^{2-l-k}} \right\rfloor + j \right) \right\}^\theta \quad (2)$$

여기서,  $C_l^\theta$ 는 원영상의 8×8 DCT 블록의 레벨  $l$ 에서  $\theta$  방향의 계수이다.  $J = \lfloor 2^{l+k-3} \rfloor$  이고,  $\lfloor x \rfloor$ 는  $x$ 보다 작은 최대의 정수 값을 취하는 연산이다.  $\beta$ 는 워터마크의 삽입 강도를 조절하는 파라미터이다.  $\theta$ 는 각각 부대역 HL, HH, LH에 대해 0, 1, 2이며,  $l$ 은 부대역의 레벨을 나타낸다. 본 논문에서는 다음과 같은 의사랜덤 이진수열 (pseudorandom binary sequence)을 워터마크로서 블록에 삽입한다.

$$p_l^\theta(i, j) \in \{-1, 1\} \quad (3)$$

여기서  $i=0,1,\dots, N_1/2^{l+1}-1$ 이고  $j=0,1,\dots, N_2/2^{l+1}-1$ 이다. 의사랜덤 이진수열의 크기는 워터마크의 삽입위치에 따라 정해진다. 워터마크의 삽입을 위해 원래 영상의 DCT 계수는 다음의 수식에 따라 변경된다.

$$C'^\theta_l(i, j) = C^\theta_l(i, j) + \alpha w_l^\theta(i, j) p_l^\theta(i, j) \quad (4)$$

여기서,  $C_l^\theta$ 는 원래 영상에서 8×8 DCT 블록의 레벨  $l$ 에서  $\theta$ 방향의 계수이고  $C'^\theta_l$ 는 워터마크가 삽입된 계수이다.  $\alpha$ 는 전역적으로 워터마크의 삽입강도를 조절하는 파라미터이다.  $w_l^\theta$ 는 이전 절에서 계산한 가중치 함수의 값이다. 이 함수는 DCT 블록에서의 공간-주파수 지역화 특성을 잘 반영하고 있다. 워터마크가 삽입된 영상  $I'(x, y)$ 는 역DCT 변환 후에 얻을 수 있다. 또한, 역DCT를 수행하지 않고 DCT 블록을 양자화한 후에 VLC(Variable Length Coding)를 거치면 압축된 JPEG 비트 스트림을 얻을 수 있다. 그림 3에 워터마크의 삽입 과정을 나타내었다.

#### IV. 동영상의 워터마크 삽입

비디오 워터마킹은 정지영상 워터마킹 방법을 각 프레임에 대해 연속적으로 적용함으로써 구현할 수 있다. 그러나 비디오는 특성상 프레임들 간에 높은 상관관계를 가지기 때문에 정지영상의 단순한 확장과는 다르다. 따라서, 좀더 효과적으로 워터마크를 삽입하기 위해 비디오의 시간 특성을 고려해야 한다. 워터마크 삽입에서 시간 특성을 고려하기 위해 각 블록의 평균값의 시간 변화율을 다음과 같이 정의 한다.

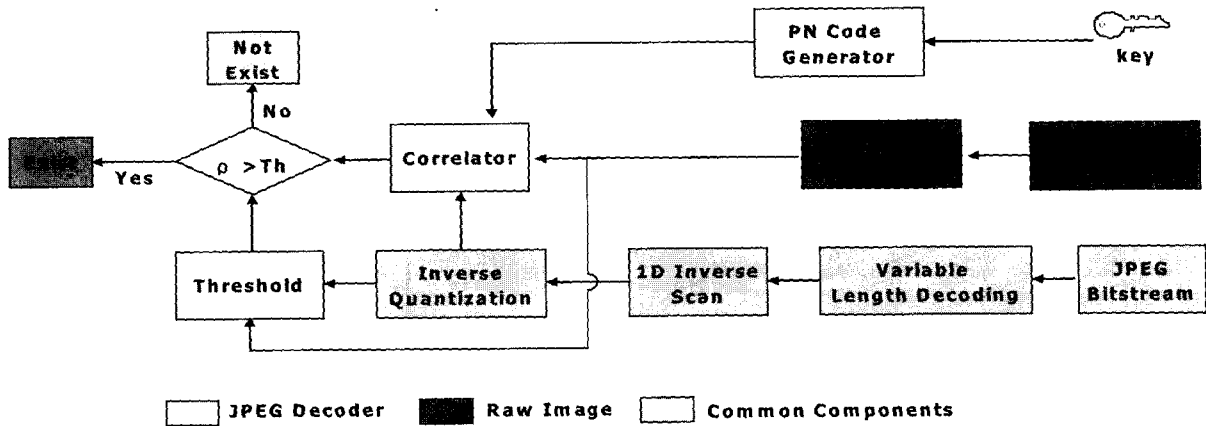


그림 4. 워터마크 탐지 과정의 블록도  
Fig. 4. Block diagram for watermark detection process.

$$\gamma(t) = \frac{1}{2^\lambda} \frac{dLL2}{dt} \quad (5)$$

여기서  $\lambda$ 는 비디오의 시간 축 특성의 반영 정도를 조절하는 파라미터이다. 최종적으로 비디오 워터마킹을 위한 가중치는 다음과 같다.

$$w_i^\theta = w_i^\theta(i, j, t) + \gamma(t) \quad (6)$$

일단 가중치가 계산되면, 워터마크의 삽입과정은 이전 장에서 설명된 정지영상의 삽입 방법과 동일하다. 공모 공격 (collusion attack)을 피하기 위해, 비디오 시퀀스의 시각적으로 유사한 부분은 동일한 워터마크를 삽입하며, 유사하지 않은 부분은 서로 다른 워터마크를 사용하여 삽입한다<sup>[11]</sup>. 이를 위해, 본 논문에서는 하나의 장면에 대해 동일한 워터마크를 삽입하고 다른 장면에는 다른 워터마크를 삽입한다. 장면의 분할은 프레임들 간의 모든 블록에 대해 LL2 계수의 절대값의 차이의 합을 이용하여 수행한다.

$$S(t) = \sum_{\forall B} \gamma(t), B = \{B_0, B_1, \dots, B_{K-1}\} \quad (7)$$

$S(t)$ 가  $\phi(t)$ 보다 크면<sup>[12]</sup>, 장면의 전환이 발생했다고 판단하고 새로운 워터마크를 삽입한다.  $\phi(t)$ 는 다음과 같이 정의 된다.

$$\phi(t) = \mu_s(t) + K_s \sigma_s(t) \quad (8)$$

여기서,  $K_s$ 는 장면전환 탐지기의 응답을 조절하는 상수이다.  $\mu(t)$ 와  $\sigma(t)$ 는 각각 다음과 같이 정의 되는 윈도우 크기  $2q$ 에서  $S(t)$ 의 평균과 표준편차이다.

$$\mu_s(t) = \frac{1}{2q} \sum_{k=-q}^{k=q} S(t+k) \{1 - \delta(t)\}$$

$$\sigma_s^2(t) = \left\{ \frac{1}{2q} \sum_{k=-q}^{k=q} S^2(t+k) \{1 - \delta(t)\} \right\} - \mu_s^2(t)$$

여기서  $\delta(t)$ 는 Kronecker delta 함수이다.

### V. 워터마크의 추출

#### 1. 워터마크의 추출

그림 4에 워터마크 탐지 과정의 블록도를 나타내었다. JPEG 압축 영상의 경우, VLD(Variable Length Decoding) 과정과 역양자화 과정을 거쳐 DCT 계수를 복원하고, 압축되지 않은 영상의 경우, 영상을 8x8 DCT 영역으로 변환함으로써 DCT 계수를 얻는다. 워터마크의 탐지를 위해, 추출된 DCT 계수  $\tilde{C}_i^\theta(i, j)$ 와 워터마크 수열 사이의 상관도(correlation)를 계산한다. 이때, 상관도는 다음과 같이 계산한다.

$$c_i = \frac{4^{l+1}}{3N_1N_2} \sum_{\theta=0}^2 \sum_{i=0}^{N_1/2^{l+1}} \sum_{j=0}^{N_2/2^{l+1}} \tilde{C}_i^\theta p_i^\theta(i, j) \quad (9)$$

만일 워터마크가 어떤 레벨 집합  $LS$ 에 삽입되었다면 워터마크 검출기의 최종 응답은 다음과 같다.

$$\rho = \sum_{i \in LS} c_i \quad (10)$$

여기서,  $LS$ 는 삽입 방법에 따라  $\{0\}$ ,  $\{1\}$ ,  $\{2\}$ ,  $\{0,1\}$ ,  $\{0,2\}$ ,  $\{1,2\}$ ,  $\{0,1,2\}$  등이 될 수 있다.

2. 임계값의 계산

얼마나 높은 크기의 응답이 나왔을 때 주어진 영상에 워터마크가 존재한다고 말할 수 있는가 하는 것은 매우 중요한 문제이다. 왜냐하면, 이 문제에 대한 대답 없이는 절대로 어떤 영상에 워터마크가 존재한다고 말할 수 없기 때문이다. 이 문제를 해결하기 위해 주어진 최소 에러 확률에 대해 워터마크의 존재를 판별할 수 있는 임계값을 계산하는 방법을 제안한다. 여기서 중앙극한 정리(Central Limit Theorem)에 의해 검출기 응답  $\rho$ 가 정규분포를 따른다고 가정한다. 그림 5에서 이 가정이 실용적임을 보여준다. 워터마크의 검출은 가설 검증의 문제로 모델링 될 수 있다.

$H_0$ : 영상  $I'(x,y)$ 가  $X$ 에 의해 워터마크 되지 않음

$H_1$ : 영상  $I'(x,y)$ 가  $X$ 에 의해 워터마크 됨

가설  $H_0$ 에 대해 두 가지의 경우가 존재한다. 첫 번째 경우는 영상  $I'(x,y)$ 가 워터마크 되지 않은 경우이고, 다른 경우는 영상  $I'(x,y)$ 가  $X$ 가 아닌  $Y$ 에 의해 워터마크 된 경우이다. 오검출(false detection)의 확률은  $P_{f1} = Pr(\rho > T_\rho | \text{첫 번째 경우})$  또는  $P_{f2} = Pr(\rho > T_\rho | \text{두 번째 경우})$  이다.  $\rho$ 가 정규분포를 가진다는 가정으로부터

$$P_{f1} = Pr(\rho > T_\rho | \text{Case 1}) = Q\left(\frac{T_\rho - \mu_{\rho 1}}{\sigma_{\rho 1}}\right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{T_\rho - \mu_{\rho 1}}{\sqrt{2}\sigma_{\rho 1}}\right) \quad (11)$$

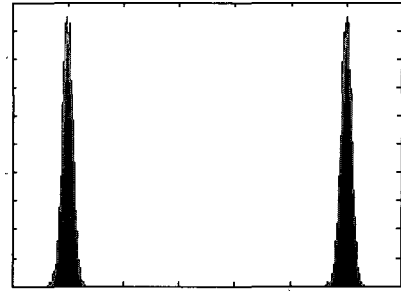
이고

$$P_{f2} = Pr(\rho > T_\rho | \text{Case 2}) = Q\left(\frac{T_\rho - \mu_{\rho 2}}{\sigma_{\rho 2}}\right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{T_\rho - \mu_{\rho 2}}{\sqrt{2}\sigma_{\rho 2}}\right) \quad (12)$$

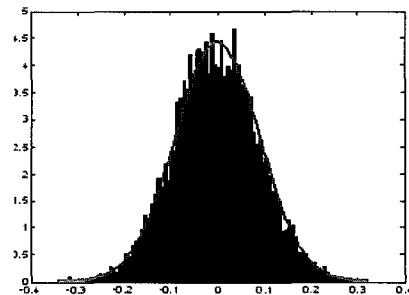
이다. 여기서  $\mu_{\rho 1}$ 과  $\sigma_{\rho 1}^2$ 은 각각 첫 번째 경우의 평균과 분산이며  $\mu_{\rho 2}$ 과  $\sigma_{\rho 2}^2$ 는 각각 두 번째 경우의 평균과 분산이다. 위의 Q-함수는 다음과 같이 정의 된다.

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-z^2/2} dz, \quad z > 0$$

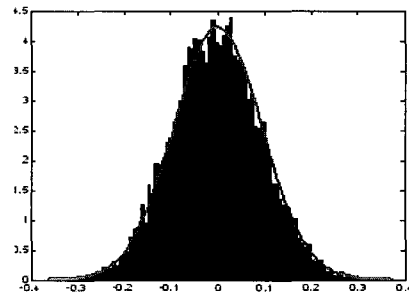
따라서 식 (11)과 (12)에 주어진 오검출 확률을 계산하기 위해서는 통계값  $\mu_{\rho 1}$ ,  $\sigma_{\rho 1}^2$ ,  $\mu_{\rho 2}$ ,  $\sigma_{\rho 2}^2$ 가 필요하다. 식 (4)와 (9), (10)으로부터 다음과 같은 통계값을 얻을 수 있다.



(a)  $10^4$ 개의 워터마크가 삽입되지 않은 영상(왼쪽)의 검출기 출력과 워터마크가 삽입된 영상의 출력(오른쪽) 분포



(b)  $H_0$ 의 첫 번째 경우에  $10^4$ 개의 검출기 출력의 분포와 이론적인 확률분포곡선



(c)  $H_0$ 의 두 번째 경우에  $10^4$ 개의 검출기 출력의 분포와 이론적인 확률분포곡선

그림 5. 워터마크 검출기의 출력 분포와 이론적인 확률분포 곡선

Fig. 5. Distribution of the watermark detector output and its theoretical pdf.

$$\mu_{\rho 1} = \mu_{\rho 2} = 0 \quad (13)$$

$$\sigma_{\rho 1}^2 = \sum_{i \in LS} \left[ \left( \frac{4^{i+1}}{3N_1N_2} \right)^2 \sum_{\theta=0}^{N_1/2^{i+1}-1} \sum_{j=0}^{N_2/2^{i+1}-1} \left\{ E\left[ (C_i^\theta(i,j))^2 \right] \right\} \right] \quad (14)$$

$$\sigma_{\rho 2}^2 = \sum_{i \in LS} \left[ \left( \frac{4^{i+1}}{3N_1N_2} \right)^2 \sum_{\theta=0}^{N_1/2^{i+1}-1} \sum_{j=0}^{N_2/2^{i+1}-1} \left\{ E\left[ (C_i^\theta(i,j))^2 \right] + \alpha^2 E\left[ (w_i^\theta(i,j))^2 \right] \right\} \right] \quad (15)$$

여기서,  $\sigma_{\rho 1} \leq \sigma_{\rho 2}$ 이므로  $P_{\rho 1} \leq P_{\rho 2}$ 가 된다. 따라서,  $P_{\rho 2}$ 를 만족하도록 임계값  $T_{\rho}$ 를 정하면 오검출 확률  $P_f$ 는  $P_{\rho 2}$ 가 되며  $\sigma_{\rho}^2 = \sigma_{\rho 2}^2$ 이다. 여기서  $\sigma_{\rho}^2$ 은 식 (15)에 주어진 것처럼 원래의 영상과 가중치로부터 계산할 수 있다. 그러나 실제의 경우, 원래의 영상과 가중치는 워터마크의 검출 단계에서는 사용 가능하지 않다. 따라서 워터마크 된 영상으로부터 직접적으로  $\sigma_{\rho}^2$ 을 구할 필요가 있다. 식(4)로부터  $C_i^{\theta}(i, j)$ 의 원점에 대한 2차 모멘트(moment)를 계산하면

$$\begin{aligned} E\{[C_i^{\theta}(i, j)]^2\} &= E\{[C_i^{\theta}(i, j) + \alpha w_i^{\theta}(i, j) X_i^{\theta}(i, j)]^2\} \\ &= E\{[C_i^{\theta}(i, j)]^2\} + 2\alpha E\{C_i^{\theta}(i, j) w_i^{\theta}(i, j)\} E\{X_i^{\theta}(i, j)\} \\ &\quad + \alpha^2 E\{[w_i^{\theta}(i, j)]^2\} E\{[X_i^{\theta}(i, j)]^2\} \\ &= E\{[C_i^{\theta}(i, j)]^2\} + \alpha^2 E\{[w_i^{\theta}(i, j)]^2\} \end{aligned}$$

주어진 결과와 식 (15)로부터

$$\sigma_{\rho}^2 = \sum_{i \in LS} \left[ \left( \frac{4^{i+1}}{3N_1N_2} \right)^2 \sum_{\theta=0}^2 \sum_{i=0}^{N_1/2^{i+1}} \sum_{j=0}^{N_2/2^{i+1}} E\{[C_i^{\theta}(i, j)]^2\} \right] \quad (16)$$

이다. 만일 워터마크된 영상이 어떤 알려지지 않은 공격  $\mathcal{J}[\cdot]$ 을 겪은 경우, 출력은  $\tilde{C}_i^{\theta} = \mathcal{J}[C_i^{\theta}]$ 이다. 실용적으로 임계값의 계산을 위한 분산을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\sigma_{\rho}^2 = \sum_{i \in LS} \left[ \left( \frac{4^{i+1}}{3N_1N_2} \right)^2 \sum_{\theta=0}^2 \sum_{i=0}^{N_1/2^{i+1}} \sum_{j=0}^{N_2/2^{i+1}} \{\tilde{C}_i^{\theta}(i, j)\}^2 \right] \quad (17)$$

예를 들어,  $P_f = 10^{-10}$ 의 오검출 확률로 워터마크의 유무를 판별하기 위한 임계값은 다음과 같이 계산된다.

$$T_{\rho} = 4.5 \sqrt{2\sigma_{\rho}^2} \quad (18)$$

여기서, 임계값이 워터마크된 영상 또는 프레임에만 관련되어 있다는 것에 주목할 필요가 있다. 이것은 임계값의 계산을 위해 원래의 영상이나 워터마크의 삽입강도를 알 필요가 없음을 의미한다.

## VI. 실험 결과 및 분석

제안된 알고리즘의 성능을 측정하기 위해 512×512 Lena 영상에 워터마크를 삽입하고 여러 가지 종류의 공격에 대한 실험을 수행하였다. 워터마크가 삽입된 영



그림 6. 워터마크 삽입에 사용된 실험영상  
Fig. 6. Test images for watermark embedding.

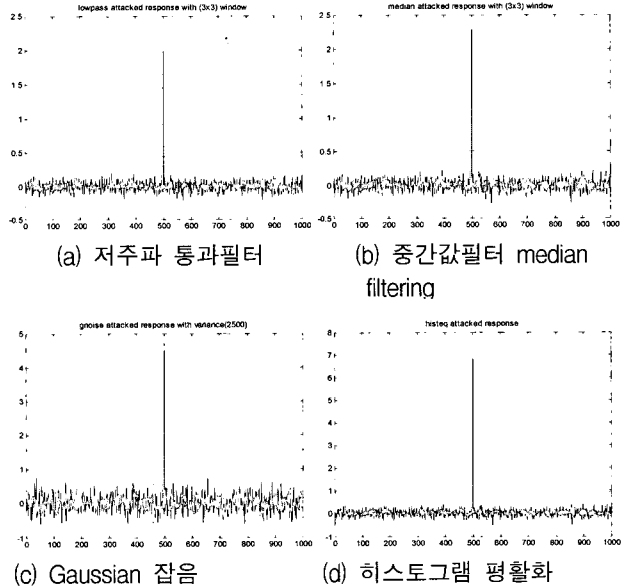


그림 7. 검출기응답  
Fig. 7. Detector response for various attacks.

상의 화질을 평가하기 위해 PSNR을 사용하였다.

$$PSNR [dB] = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE}$$

여기서 MSE는 원영상과 워터마크가 삽입된 영상 간의 평균자승오차 (Mean Square Error)이다.

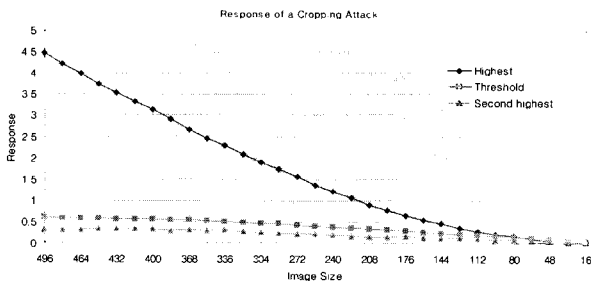


그림 8. 영상 잘림에 대한 탐지기 응답  
Fig. 8. Detector response for cropping Attack.

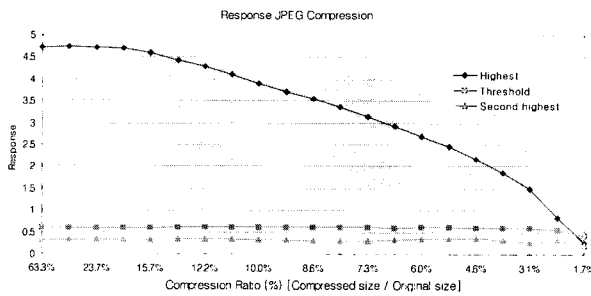


그림 9. JPEG부호화에 대한 탐지기 응답  
Fig. 9. Detector response for JPEG coding.

1. 정지영상의 모의실험 결과

그림 6(a)와 6(b)는 원영상과 워터마크가 삽입된 영상을 보여준다. 워터마크는 부대역 레벨 1에만 삽입하였다. 즉,  $LS=\{1\}$ 이다. 원영상과 워터마크가 삽입된 영상 사이의 PSNR 값은 41.2784였다. 그림에서 알 수 있듯이 두 영상을 시각적으로 구분하는 것은 쉽지 않다. 이것은 워터마크가 효과적으로 마스킹 되었음을 의미한다. 그림 6(c)에 원영상과 워터마크가 삽입된 영상 사이의 차이값을 나타내었다. 워터마크가 주로 영상의 복잡한 곳에 삽입되었음을 알 수 있다. 워터마크의 강인성을 측정하기 위해 몇몇 신호처리 기술에 대한 검출기 응답을 조사하였다. 7(a), (b), (d)에 저주파 통과 필터와 중간값 필터, 히스토그램 평활화 공격에 대한 응답을 나타내었다. 그림의 수평 라인은  $P_f=10^{-10}$ 의 오검출 확률에 대한 임계값을 나타낸다. 그림 6(d)와 7(c)는 분산 2500의 Gaussian 잡음 공격이 적용된 영상과 이에 대한 검출기 응답을 나타낸다. 그림 6(d)에서 알 수 있듯이 심하게 손상된 영상에 대해 검출기의 응답은 여전히 신뢰성이 있음을 알 수 있다. 영상의 잘림은 디지털 영상에 흔히 적용된다. 잘려진 영상으로부터 워터마크를 추출함에 있어 가장 어려운 점은 동기(同期)를 회복하는 것이다. 동기를 복원하는 가장 기초적인 방법은 모든 가능한 위치에 대해 탐색을 수행하는 것이다. 줄어드는 영상의 크기에 대한 검출기 응답을 그림 8에 나

타내었다. 비록 많은 부분이 손실 되었다 하더라도 신뢰성 있는 응답을 얻게 됨을 알 수 있다. 제안된 방법은 JPEG 부호화와 호환성을 갖도록 되어 있다. 따라서 JPEG 압축에 대한 검출기의 응답은 특히 중요하다. 영상의 압축에 대한 검출기 응답을 그림 9에 나타내었다. 가장 높은 응답과 임계값 그리고 두번째 높은 응답에 대한 그래프가 그림에 나타나 있다.  $P_f=10^{-10}$ 의 오검출 확률에 대해 검출기의 응답은 영상이 원영상의 1.97%에 이를 때까지 임계값 보다 높은 값을 나타내었다.

2. 동영상의 모의실험 결과

동영상 워터마킹의 성능을 평가하기 위해서 프레임 크기 352x288, 809프레임, 30fps의 '겨울연가(KBS)' 뮤직 비디오를 사용하였다. 몇 개의 선택된 프레임의 원영상과 워터마크가 삽입된 영상을 각각 그림 10과 11에 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 동영상은 여러 가지 텍스처 특성을 가진 프레임들로 구성되어 있다. 실험 동영상은 6개의 급격한 장면 전환이 있으며, 이것이 그림 12의 컷(Cut) 검출기의 응답에 잘 나타나 있다. 프레임의 PSNR 분포를 그림 13에 나타내었다. 그림 10의 원영상의 비디오 프레임과 비교해보면 복잡한 영상이 더 낮은 PSNR 분포를 가진다는 것을 알 수 있다. 이것은 제안된 방법이 영상에 적응적임을 보여준다. 그림 13과 14, 15을 비교해 보면 PSNR 분포와 검출기 응답이 가로축에 대해 대칭임을 볼 수 있다. 이것은 더 강한 워터마크가 삽입된 프레임들에서 더 강한 응답을 얻을 수 있음을 보여준다. 그림 14에 5개씩의 프레임 평균 공격에 대한 응답을 보여준다. 이것은 비디오의 특성을 이용한 통계적 공격에 강인함을 보여준다. 비디오 워터마킹에 있어 가장 흔하고 중요한 공격은 MPEG과 같은 압축 부호화이다. 그림 15에 1.5Mbps의 비트율로 MPEG-2로 압축된 영상에 대한 검출기 응답을 나타내었다.

VII. 결 론

본 논문에서는 기존의 영상압축 표준에 호환되는 새로운 워터마킹 방법을 제시하였다. 제안된 방법의 강인성은 인간 시각 시스템 (HVS) 특성의 이용에서 비롯되었다. 이를 위해 8x8 DCT 블록의 계층 구조에 기반한 시각적 가중치 함수가 제시되었다. 또한 본 논문에서는 워터마크의 검출 단계에서 원영상을 사용하지 않고 최



그림 10. 원비디오의 프레임(1, 19, 82, 268, 461, 462, 522, 538, 566th frames)  
 Fig. 10. Original frames (1, 19, 82, 268, 461, 462, 522, 538, 566th frames) in the test video.



그림 11. 워터마크된 비디오의 프레임(1, 19, 82, 268, 461, 462, 522, 538, 566th frames)  
 Fig. 11. Watermarked frames (1, 19, 82, 268, 461, 462, 522, 538, 566th frames) in the test video.

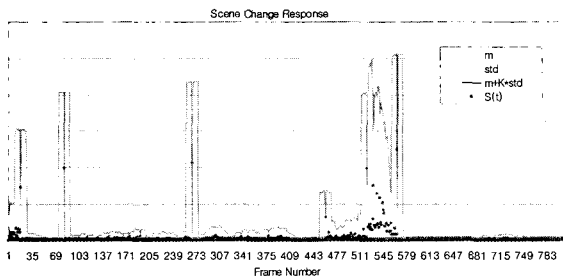


그림 12. 컷 검출기의 응답  
 Fig. 12. Response of a cut detector.

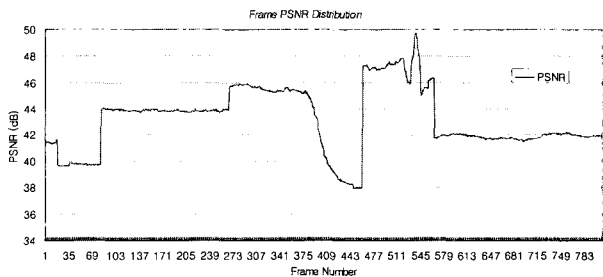


그림 13. 프레임 PSNR의 분포  
 Fig. 13. Distribution of frame PSNR.

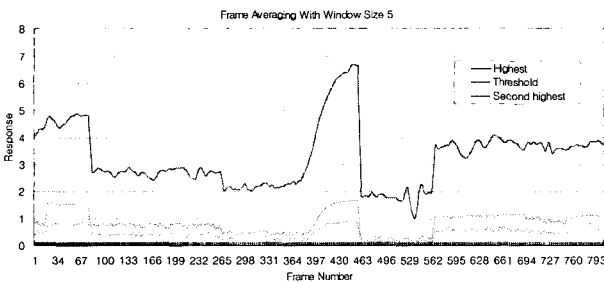


그림 14. 프레임 평균공격에 대한 검출기 응답  
 Fig. 14. Detector response for frame averaging.

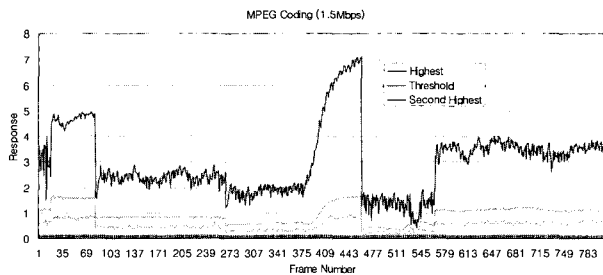


그림 15. MPEG-2 부호화에 대한 검출기 응답  
 Fig. 15. Detector response for MPEG coding.

적의 임계값을 계산하는 방법을 제시하였다. 제시된 방법이 JPEG과 MPEG 부호화를 포함한 여러 가지 신호

처리 공격에 대해 강인함을 실험 결과에서 확인 할 수 있었다.



참 고 문 헌

[1] G. C. Langelaar, I. Setyawan and R. L. Lagendijk, "Watermarking Digital Image and Video Data A State-of-the-Art Overview," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 17, no. 5, pp. 20-46, September 2000.

[2] M.D. Swanson, M. Kobayashi and A.H. Tewfik, "Multimedia Data-Embedding and Watermarking Technologies," *Proceedings of The IEEE*, vol. 86, no. 6, pp. 1064-1087, June 1998.

[3] F. Hartung and M. Kutter, "Multimedia Watermarking Techniques," *Proceedings of the IEEE*, vol. 87, no. 7, pp. 1079-1107, July 1999.

[4] S. P. Mohanty, K. R. Ramakrishnan and M. S. Kankanhalli, "A DCT Domain Visible Watermarking Technique for Images," *International Conference On Multimedia and Expo*, vol. 12, pp. 1029-1032, July 2000.

[5] P. W. Wong, N. Memon, "Secret and Public Key Image Watermarking Schemes for Image Authentication and Ownership Verification," *IEEE Trans. On Image Processing*, vol. 10, no. 10, pp. 1593-1601, October 2001.

[6] C. I. Podilchuk and W. Zeng, "Image-Adaptive Watermarking Using Visual Models," *IEEE Journal On Selected Areas in Communications*, vol. 16, no. 4, pp. 525-539, May 1998.

[7] C. D. Vleeschouwer, J. F. Delaigle and B. Macq, "Invisibility and Application Functionalities in Perceptual Watermarking-A Overview," *Proceedings of The IEEE*, vol. 90, no. 1, pp. 64-77, January 2002.

[8] S. Craver, N. Memon, B. L. Yeo and M. M. Yeung, "Resolving Rightful Ownerships with Invisible Watermarking Techniques: Limitations, Attacks, and Implications," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 16, no. 4, pp. 573-586, May 1998.

[9] M. Barni, F. Bartolini, and A. Piva, "Improved Wavelet-Based Watermarking Through Pixel-Wise Masking," *IEEE Trans. On Image Processing*, vol. 10, no. 5, pp. 783-791, May 2001.

[10] D. Zhao, D. Zhang, W. Gao, "Embedded Image Coding Based on Hierarchical Discrete Cosine Transform," *Journal of Software*, vol.12, no.9, pp. 1287-1294, September 2001.

[11] K. Su, D. Kundur and D. Hatzinakos, "A Novel Approach to Collusion-resistant Video Watermarking," *Proceedings of the SPIE, Security and Watermarking of Multimedia Contents IV*, vol. 4675, pp. 491-502, January 2002.

[12] M. G. Chung, H. Kim, and M. H. Song, "A scene boundary detection method," *Proceedings of IEEE International Conference On Image Processing*, pp. 933-936, 2000.

저 자 소 개



최 윤 희(정회원)  
 1997년 2월 성균관대학교 전기 공학과 졸업(공학사).  
 1999년 2월 광주과학기술원 기전 공학과 졸업(공학석사).  
 1999년 3월~현재 광주과학기술원 기전공학과 박사과정.

<주관심분야: 영상처리, 영상통신, 디지털위터마킹>



최 태 선(정회원)  
 1976년 2월 서울대학교 공과대학 전기공학과 졸업(공학사).  
 1979년 2월 한국과학기술원 전기및 전자공학과 졸업 (공학석사).  
 1993년 12월 뉴욕주립대학교 전기 공학과 졸업(공학박사).

2004년 현재 광주과학기술원 기전공학과 교수 재임  
 2000년 6월 IEEE Third Millennium Medal 수상.  
 2003년 11월 대한전자공학회 해동상(논문분야) 수상.  
 <주관심분야: 영상처리, 영상통신, Machine Vision>

