

# 디지털 영상의 복사 방지를 위한 적응 워터마킹 방법

## (An Adaptive Watermarking Method for Copy Protection of Digital Images)

金 德 鈴 \* , 朴 成 漢 \*

(Dug-Ryung Kim and Sung-Han Park)

### 요 약

본 논문에서는 영상의 불법적인 복사를 방지하기 위한 새로운 워터마킹 방법을 제시한다. 이 방법은 사람의 시각 시스템을 이용하여 주파수 영역에서 영상의 시각적인 특성에 적응하는 워터마크를 내장한다. 이를 위하여 먼저 Watson과 Solomon의 시각 시스템 모델을 사용하여 휘도 평면의 각 AC 주파수 계수값에 해당하는 JND(Just Noticeable Differences)를 구한다. 여기서 구한 JND와 Minkowski metric을 사용하여 영상의 특성에 따라 모든 위치에서 크기가 다른 시각적으로 보이지 않는 최대 워터마크 값을 결정한다. 다음으로 고의적인 공격으로부터 워터마크를 보호하기 위해 PN-sequence를 사용하여 영상의 저주파 영역을 두 집합으로 나눈다. 한쪽 집합의 주파수 계수에는 워터마크 값을 더하고 다른 집합의 주파수 계수에는 워터마크 값을 뺀다. 워터마크를 검출할 때는 두 집합에 속한 주파수 계수의 절대값에 대한 평균값의 차이를 구한다. 이 차이값을 사용하여 검정통계량을 구하고 통계학적인 가설 검정 이론으로 워터마크를 판별한다. 제안하는 워터마킹 방법을 고주파 성분이 많은 복잡한 영상과 저주파 성분이 많은 단순한 영상에 적용하여 워터마크가 시각적으로 보이지 않고 JPEG 손실 압축과 잡음에도 견고함을 보인다.

### Abstract

In this paper, a new watermarking method for a copy protection of images is proposed. The proposed method adaptively embeds a watermark in the frequency domain of images using human visual system model. For this purpose, the Just Noticeable Differences(JNDs) of each frequency coefficient value of a luminance plane is first found using Watson and Solomon's visual system model. An invisible maximum watermark value which is different in every position according to the characteristics of images is determined using JND and Minkowski metric. A low frequency domain is divided into two sets based on a PN-sequence to protect the watermark from the attack. The watermarks are added to one set of coefficients and subtracted from the other set of coefficients. On detecting a watermark, the difference between the mean values of absolute coefficient values of both sets is calculated. The embedded watermark is tested using statistical hypothesis based on test static determined by the mean difference. To demonstrate the performance of the proposed method, the new watermarking method is applied to a high frequency image and a low frequency images. Experimental results show the watermark is invisible and robust to JPEG lossy compression and noise.

### I. 서 론

최근 컴퓨터 망을 통한 디지털 영상의 분배, 재생 및

조작의 요구 및 필요성은 매우 커지고 있다. 그러나 이러한 필요성은 반대로 디지털 영상의 허가되지 않은

\* 正會員, 漢陽大學校 電子計算學科  
(Department of Computer Science & Engineer-

ing, Hanyang University)

接受日字: 1997年12月15日, 수정완료일: 1998年3月27日

복사 및 분배와 같은 소유권과 관련된 문제를 야기시킨다. 이러한 문제를 해결하기 위한 영상 보호 시스템이 요구되고 있다. 기존의 영상 보호 시스템은 두가지 방법으로 이루어진다. 사이트 보호 방법으로 영상의 접근을 제어하고 암호화(encryption)된 형태로 영상을 전송하고 저장한다. 그러나 영상을 사용하려면 반드시 암호화가 풀려야 하며 일단 암호화가 풀린 영상은 영상의 접근이 허가된 사용자에게 의해서 불법적으로 복사되고 전송될 수 있다. 허가된 많은 사용자에게 영상이 전송된 경우에는 어떤 사용자가 불법적으로 영상을 사용했는지 판별하는 것은 불가능하다. 게다가 internet 상의 world wide web 브라우저로 JPEG 또는 GIF로 인코딩된 영상을 사용하는 경우에는 암호화가 불가능하다. 따라서 영상 자체에 사인(signature)이나 소유권 정보(copyright message)를 눈에 보이지 않게 저장하여 디지털 영상 저장 장치의 복사 방지 시스템에 적용될 수 있는 워터마킹 방법의 연구가 필요하다<sup>[1], [2]</sup>.

영상의 소유권 보호를 위해서 지금까지 연구된 워터마킹 방법은 워터마크를 공간 영역에 저장하는 방법과 주파수 영역에 저장하는 방법으로 크게 구분된다. 공간 영역에 저장하는 방법으로 Bender등은 "Patchwork"라고 불리는 확률적인 라벨링 방법을 제안했다<sup>[3]</sup>. 이 방법은 잡음에 약한 특성이 있다. Pitas는 영상을 크기가 같은 두 집합으로 나누고 한 집합의 화소값들을 상수  $K$  만큼씩 일정하게 더한다. 내장된 워터마크를 검출하기 위해서 두 집합에 속한 화소들의 평균값의 차를 사용한다<sup>[4]</sup>. 이 방법은 잡음 성분을 영상에 더한 효과를 나타내므로 잡음과 JPEG 압축에 매우 약하고 또한 영상의 시각적인 품질을 보장할 수 없다. Pitas와 Nikolaidis는 이러한 단점을 보완한 JPEG에 강한 새로운 방법을 제안했다<sup>[5]</sup>. 이들은 워터마크를 어떤 크기의 화소 블록에 내장하는데 DCT할 때 고주파 성분이 감소하도록 워터마크의 내장 위치와 크기를 결정한다. 그러나 이 방법 역시 영상의 특성을 고려하지 않았으므로 워터마크가 보일 가능성이 매우 크다는 단점이 있다.

주파수 영역에 워터마킹하는 방법으로 Koch와 Zhao는 영상을 분할하고 DCT한 후 저주파 부분에 워터마킹하는 방법을 제안했다<sup>[6]</sup>. 이 방법은 영상의 특성을 고려하지 않으며 JPEG 압축시 사용되는 quality factor  $Q$  값을 임의로 가정하여 사용하므로

적용된  $Q$  값보다 더 작은  $Q$  값(압축률이 더 높음)이 적용된 영상에서는 워터마크가 훼손되는 단점이 있다. Cox등은 영상을 분할하지 않고 영상 전체를 DCT 변환시킨 후 영상에서 DC 성분을 제외하고 가장 큰 값을 가지는 주파수 계수를 선택하여 워터마킹하는 방법을 제안했다<sup>[7]</sup>. 이 방법에서는 원래 영상과 워터마크가 내장된 영상의 차를 구한 후에 워터마크와의 상관관계를 구해서 워터마크의 존재를 결정한다. 이 방법은 영상의 크기 변환, 잡음 등에 강한 특성을 보인다. Swanson등은 워터마크가 보이지 않는 것을 보장하기 위해서 Legge와 Foley의 콘트라스트 마스킹 모델을 사용해서 영상의 JND (Just Noticeable Difference) DCT 값을 구한 후에 워터마킹하는 방법을 제안했다<sup>[8]</sup>. 이 방법 역시 워터마킹된 영상과 본래의 영상을 비교하여 DCT 계수값의 차를 구하고 이것을 사용하여 PN-sequence와의 상관값을 구하여 워터마크를 검출한다. Podilchuk과 Zeng은 Watson의 시각 시스템 모델을 사용하여 JND DCT 값을 구한 후 워터마킹하는 알고리즘을 개발했다<sup>[9]</sup>. 이 방법 또한 원래의 영상과 워터마킹된 영상의 DCT 계수값의 차를 구하고 최대 상관값을 문턱치 값과 비교하여 워터마크를 검출한다. 영상의 복사 방지를 위해서 Langelaar등은 DCT한 영상 블록에서 고주파 부분을 제거하는 라벨링 방법을 제안했다<sup>[2]</sup>. 이 방법은 JPEG 압축시 사용되는 영상의 quality factor  $Q$ 를 미리 가정하여 사용하기 때문에 라벨링할 때 적용된  $Q$ 값보다 더 작은 값으로 영상을 JPEG 압축하면 저장된 라벨링 값이 심하게 훼손된다.

이와 같이 공간 영역 워터마킹 방법들은 워터마크가 저장된 영상만으로 워터마크를 검출할 수 있으나 영상의 특성을 고려하지 않고 워터마크를 내장하는 단점이 있다. 사람의 시각 시스템 모델에 근거한 주파수 영역의 워터마킹 방법들은 시각적으로 보이지 않지만 워터마크 검출시 워터마크되지 않은 원래의 영상이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 시각적으로 워터마크가 보이지 않고 워터마킹된 영상만을 사용하여 워터마크를 검출할 수 있도록 공간 영역 워터마킹 기법을 주파수 영역에 적용하는 새로운 방법을 제안한다.

복사 방지 장치에 적용될 워터마킹 알고리즘에 요구되는 조건은 다음과 같다. 먼저 복사 방지 장치가 영상의 품질을 저하시킨다면 사용할 수 없기 때문에 시각적으로 보이지 않아야 한다. 다음으로 외부에서 영

상 저장 장치로 디지털 영상을 복사하려고 할 때 저장 장치가 이 디지털 영상이 복사물인지 아닌지를 판단할 수 있는 근거는 오직 영상 자체에만 있다. 따라서 원본 영상 없이 워터마킹된 영상만으로 워터마크를 검출해야 한다. 셋째로 JPEG 손실 압축에 강해야 한다. 이는 영상이 JPEG으로 압축되어 저장 장치에 저장될 것으로 예상되기 때문이며 또한 주파수 영역에서의 워터마킹은 JPEG 압축된 영상을 역 DCT 변환하지 않아도 되는 장점이 있다. 마지막으로 넷째 요구는 고의적인 공격으로부터 복사 방지 장치의 기능을 보호할 필요가 있기 때문에 필터링 또는 영상 변형에 강해야 한다.

이러한 조건들을 만족하기 위해 본 논문에서 제안하는 새로운 워터마킹 알고리즘은 먼저 사람이 신호 변화를 인식하지 못하는 휘도(luminance) 평면의 DCT 주파수 계수값 JND를 구하는 Watson과 Solomon의 시각 시스템 모델을 사용한다<sup>[10-12]</sup>. 다음으로 공간 영역에서 워터마킹된 영상만으로 워터마크를 검출하는 통계적 특성에 기초한 워터마킹 방법을 주파수 영역에 적용한다<sup>[4], [5]</sup>. 세번째 요구를 만족시키기 위해 워터마크는 영상에서 중요한 의미를 가지는 저주파 영역에 내장된다<sup>[7], [13]</sup>. 워터마크의 크기가 클수록 JPEG 압축이나 잡음에 강하지만 영상의 품질이 저하될 수 있다. 따라서 영상의 품질이 저하되지 않으면서 워터마크의 크기를 최대로 하는 값을 구할 필요가 있다. 본 논문에서는 Watson과 Solomon의 시각 시스템 모델을 사용하여 영상의 특성을 고려한 최대 워터마크 크기를 구한다. 마지막으로 고의적인 공격으로부터 검출이 어렵도록 잡음 특성을 갖는 PN-Sequence를 사용하여 워터마크 값을 더하는 위치와 빼는 위치를 결정한다<sup>[14]</sup>.

본 논문에서는 제안하는 알고리즘을 고주파 성분이 많은 복잡한 영상과 저주파 성분이 많은 단순로운 그레이 레벨 영상과 컬러 영상에 적용한다. 실험을 통해서 시각적으로 워터마크가 보이지 않으며 워터마킹된 영상만으로 워터마크를 검출 할 수 있음을 보인다. 또한 워터마크의 크기를 이론적으로 구한 워터마크 크기의 2배까지 사용해도 영상의 시각적인 품질이 저하가 없음을 보인다. 이러한 실험 결과는 실제 응용 시에 워터마킹 알고리즘의 워터마크 검출 정확성을 높일 수 있는데 사용될 수 있다.

## II. 시각 시스템 모델

Ahumada와 Peterson은 DCT 기본 함수에 대한 각 주파수  $i, j$ 에 대해서 눈에 보이는 신호를 생성하는 가장 작은 계수값 문턱치  $t_{ij}$ 를 정신물리학적으로 측정했다<sup>[10]</sup>. 이것은 각각의 주파수 계수값을 각 문턱치  $t_{ij}$ 이하로 변화시키면 사람이 영상의 시각적인 변화를 알 수 없다는 것을 의미한다. 이 측정된 문턱치들은 휘도가 높고 영상의 고주파 부분에서 더욱 커진다. 이런 측정된 문턱치 값의 특성을 근거로 식 (1)과 같이 화면의 휘도  $L$ 과 주파수  $i, j$ 의 함수로 문턱치를 구하는 공식을 표현했다.

$$t_{ij} = F(i, j, L) \tag{1}$$

Watson은 휘도 마스크링(luminance masking), 콘트라스트 마스크링(contrast masking), 에러 풀링(error pooling)등의 특성을 고려하여 영상의 특성에 적합한 JPEG 영상 압축을 위한 DCT 양자화 행렬을 구하는 방법을 개발했다<sup>[11]</sup>. 휘도 마스크링을 위한 휘도 패턴에 대한 검출 문턱치는 지역적인 영상 영역의 평균 휘도에 전형적으로 의존한다. 즉 배경이 밝으면 밝을수록 휘도 문턱치도 높아진다. 각 블록에 대해 휘도 마스크된 문턱치 행렬을 구하기 위해서 Watson은 Peterson의  $t_{ij}$ 값에 기초하여  $k$ 번째 블록에서의  $i, j$  주파수에 해당하는 문턱치  $t_{ij}^k$ 를 구하는 다음 식(2)를 사용했다.

$$t_{ij}^k = F(i, j, L_0 c_{00k} / \bar{c}_{00}) \tag{2}$$

여기서  $c_{00k}$ 는  $k$ 번째 블록에 대한 DCT의 DC 계수이고  $L_0$ 는 화면의 평균 휘도이며  $\bar{c}_{00}$ 는  $L_0$ 에 대응하는 DC 계수이다.

콘트라스트 마스크링은 어떤 영상 성분이 다른 성분의 존재로 인해서 시각적으로 보이는 정도가 감소하는 것을 의미한다. Solomon과 Watson은 Watson의 콘트라스트 마스크링 모델을 개선했다<sup>[12]</sup>. 이 개선된 모델에서는 어떤 DCT 주파수 계수  $c_T$ 와 그것에 대응되는 절대 문턱치  $t_{ij}^k$ 가 주어지고 같은 블록 내에 존재하는 어떤 주파수 계수  $c_M$ 가 이 주파수 계수  $c_T$ 를 마스크 한다면 마스크된 문턱치  $m_{ij}^k$ 가 다음 식(3)과 같이 구해진다.

$$m_{ij}^k = t_{ij}^k \text{ MAX } [1, \left( f(T, M) \times \frac{c_M}{c_T} \right)^w] \quad (3)$$

여기서  $f(T, M) = e^{-\frac{\pi \|T-M\|^2}{\sigma_T}}$  이며  $c_M$ 이  $c_T$ 를 마스크 하는 민감도(sensitivity)를 나타낸다. 이때  $\sigma_T = \sigma \text{ MAX}[1, \|T\|]$  이며 이 모델에서  $w$ 는 0.395,  $\sigma$ 는 5.5가 사용되었다.

여기서 구한 마스크된 문턱치  $m_{ij}^k$ 를 JND라 한다. Watson은 영상의 JPEG 압축에 의한 영상 신호 변화  $e_{ij}^k$ 를 JND를 사용하여 식(4)와 같이 표현했다<sup>[11]</sup>.

$$d_{ij}^k = \frac{e_{ij}^k}{m_{ij}^k} \quad (4)$$

여기서  $d_{ij}^k$ 는 어떤 주파수  $ij$ 와 어떤 블록  $k$ 에서 '시각적으로 막 검출이 되는 에러' (just-detectable error)의 비율로서 표현되는 에러이다. 공간적으로 각각의 에러가 보일 확률들을 결합하는  $\beta$ -norm(또는 Minkowski metric)을 사용하여  $d_{ij}^k$ 를 풀링(pooling)한다. 모든 블록  $k$ 에 대한 특정 주파수  $ij$ 의 시각적인 변화량을 공간적으로 풀링하는  $\beta$ -norm은 다음 식(5)로 표현된다<sup>[11]</sup>.

$$p_{ij} = \left( \sum_k d_{ij}^k \right)^{1/\beta} \quad (5)$$

정신 물리학적인 실험을 통해  $\beta$ 는 약 4인 것으로 관찰되었다. 또한 영상 전체에 가해진 모든 변화량을 시각적으로 측정하기 위해서 각각의 주파수마다 별도로 구해진 시각적인 변화량을 풀링하는 다음 식(6)을 사용했다<sup>[11]</sup>.

$$P = \left( \sum_{ij} p_{ij}^{\beta} \right)^{1/\beta} \quad (6)$$

여기서  $\beta$ 값 역시  $\beta_s$ 와 거의 비슷한 4인 값을 사용한다.

워터마킹에 의해서 영상의 주파수 계수값이  $K_{ij}^k$ 만큼의 변화가 있다면 식(4)에서  $e_{ij}^k$ 대신  $K_{ij}^k$ 를 사용하여 모든 주파수와 블록에 대해서 워터마킹에 의한 시각적인 변화량  $d_{ij}^k$ 를 구할 수 있다. 또한 이  $d_{ij}^k$ 값을 사용하여 식(5)와 식(6)에 적용하면 워터마킹에 의해 공간적으로 또한 주파수 별로 가해진 전체 변화량을 시각적인 변화량으로 구할 수 있다. 따라서 이론적으로  $P$  값이 1인 경우에 우리는 시각적으로 보이지 않는 가장

큰 워터마크 값을 구할 수 있다.

### III. 워터마킹 알고리즘

본 논문에서 제안하는 워터마킹 알고리즘은 그림 1의 워터마크 내장 알고리즘과 그림 2의 검출 알고리즘으로 구성된다. 워터마킹은 영상의 휘도 평면을 대상으로 하고 있다. 이 휘도 평면을  $8 \times 8$  크기의 블록으로 나눈 후 각 블록을 DCT 변환하여  $I_u$  평면을 구한다. 사용되는 DCT 변환은 식(7)이며 DCT 역변환은 식(8)과 같다<sup>[10], [15]</sup>.

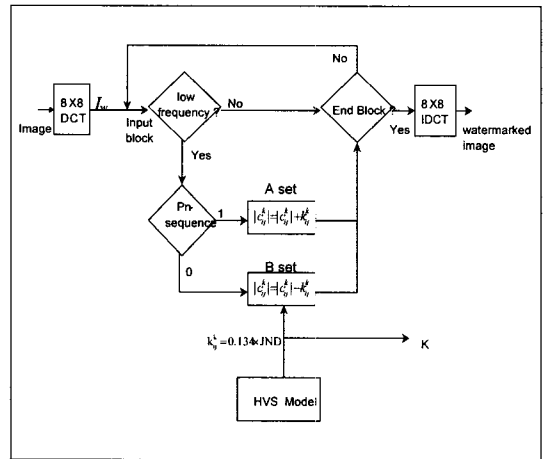


그림 1. 워터마킹 내장 블록도  
Fig. 1. Watermarking embedding block diagram.

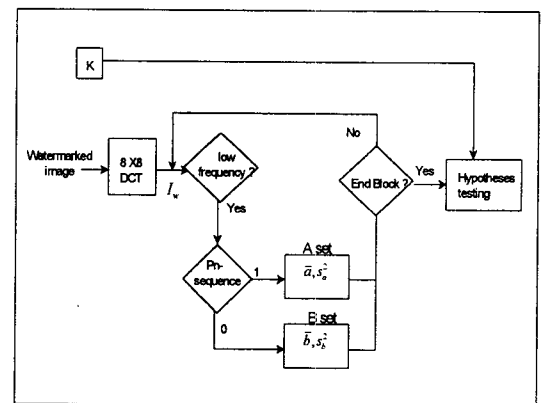


그림 2. 워터마킹 검출 블록도  
Fig. 2. Watermarking detection block diagram.

$$c_{n,m} = \alpha(n) \alpha(m) \cdot \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f_{x,y} \cos \left[ \frac{-(2x+1)n\pi}{2N} \right] \cos \left[ \frac{-(2y+1)m\pi}{2N} \right] \quad (7)$$

$$f_{x,y} = \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} \alpha(n)\alpha(m)c_{n,m} \cdot \cos\left[\frac{(2x+1)n\pi}{2N}\right] \cos\left[\frac{(2y+1)m\pi}{2N}\right] \quad (8)$$

여기서  $m, n = 0, 1, 2 \dots, N-1$  이며

$$\alpha(m) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{N}}, & \text{for } m=0 \\ \sqrt{\frac{2}{N}}, & \text{for } m=1, 2, \dots, N-1 \end{cases}$$

이다.

위터마크 S는 PN-sequence를 사용하며 잡음과 저주파 필터 및 JPEG등에 강한 위터마크를 내장하기 위해서 각 블록의 주파수 영역중 저주파 부분에 위터마크를 내장한다. 선택된 PN-sequence 다항식에서 생성된 0과 1의 값을 가지는  $S_b$ 는  $I_u$  평면의 각 블록에서 왼쪽에서 오른쪽으로, 위에서 아래로 차례로 이동하면서 각 블록의 저주파 영역인 (0,1), (1,0), (1,1) 위치를 만날 때마다 할당된다. 따라서  $I_u$  평면은 할당된  $S_b$ 의 값이 1인 위치에 있는 주파수 계수를 모은 A 집합과  $S_b$ 의 값이 0인 위치에 있는 주파수 계수를 모은 B 집합과 0과 1이 할당되지 않은 C 집합으로 분류된다.

$$A = \{c_{n,m} \in I_u, S_b = 1\} \quad (9)$$

$$B = \{c_{n,m} \in I_u, S_b = 0\} \quad (10)$$

$$C = \{c_{n,m} \in I_u, S_b \neq 0 \text{ and } S_b \neq 1\} \quad (11)$$

중심 극한 정리 (central limit theorem)에 의해서 A 집합에 속하는 주파수 계수들의 절대값의 평균과 B 집합에 속하는 주파수 계수들의 절대값의 평균이 근사적으로 일치하는 통계적인 특성을 사용하여 위터마킹한다<sup>[16]</sup>.

### 1. 위터마킹 내장 알고리즘

A 집합과 B 집합에 속한  $I_u$  평면의 계수값들에 대한 JND인  $m_b^k$ 를 구한다. 위터마크가 시각적으로 보이지 않도록 식(4)의  $d_b^k$ 를 구하기 위해서  $P=1$ ,  $\beta_j=4$ 를 식(6)에 대입하면 식(12)와 같이 된다.

$$1 = (\rho_{01}^4 + \rho_{10}^4 + \rho_{11}^4)^{1/4} \quad (12)$$

$\beta$ -norm은 가장 큰 값을 가지는 요소에 의해 값이 결정되므로 알고리즘이 최대값을 가지는 위터마크를 내장하기 위해서  $\rho_{01}$ ,  $\rho_{10}$ ,  $\rho_{11}$  값은 같아야 한다. 이것

은 각 주파수의 시각적인 변화량을 동일하게 하여 준다는 것을 의미한다. 또한 제안하는 위터마킹 알고리즘에서는 모든 블록의 해당 주파수에서 동일한  $d_b^k$ 를 사용한다. 예를 들면  $256 \times 256$  영상의 경우 식(5)와 식(6)으로부터  $d_b^k$ 는 0.134가 된다. 이것을 식(4)에 대입하면 식(13)을 얻는다.

$$K_b^k = 0.134 \ m_b^k \quad (13)$$

이  $K_b^k$ 는 영상의 특성에 따라 시각적으로 보이지 않는 위터마크가 내장될 각 블록의 주파수들에 대한 최대 변화량을 표시한다.

우리의 위터마크 내장 알고리즘은 다음과 같다.

$$c_{ij}^k = \begin{cases} c_{ij}^k + \text{sgn}(c_{ij}^k) \times K_b^k & \text{if } c_{ij}^k \in A \\ c_{ij}^k - \text{sgn}(c_{ij}^k) \times K_b^k & \text{if } c_{ij}^k \in B \text{ and } c_{ij}^k > K_b^k \\ 0 & \text{if } c_{ij}^k \in B \text{ and } c_{ij}^k < K_b^k \\ c_{ij}^k & \text{if } c_{ij}^k \in C \end{cases} \quad (14)$$

여기서  $c_{ij}^k$ 은 위터마킹된 주파수 계수이다. 또한  $\text{sgn}(X) = \begin{cases} 1, & X \geq 0 \\ -1, & X < 0 \end{cases}$  이다.

위터마킹된 결과는 A 집합에 속하는 모든 주파수 계수의 절대값이 각각  $K_b^k$ 만큼 증가하고 B 집합에 속하는 모든 주파수 계수의 절대값은 각각  $K_b^k$ 만큼 또는 주파수 계수가  $K_b^k$ 보다 작은 경우에는 주파수 계수만큼 감소된 결과로 나타난다. 다음과 같이 A 집합에 속하는 주파수 계수값의 변화량  $K_b^k$ 들을 모두 더하고 B 집합에 속하는 모든 주파수 계수값의 변화량  $K_b^k$ 들을 모두 더한 후 각각의 평균 변화량  $K_A$ 와  $K_B$ 를 구한다.

$$K_A = \frac{1}{P_A} \sum_{i \in A} K_b^k, \quad K_B = \frac{1}{P_B} \sum_{i \in B} K_b^k \quad (15)$$

여기서  $P_A, P_B$ 는 A 집합 및 B 집합에 속한 주파수 계수의 갯수이다.

위터마킹한 결과로서 두 집합의 계수들의 절대값에 대한 평균값의 차는  $K_A$ 와  $K_B$ 를 더한 K가 됨을 알 수 있다. 위터마킹된  $I_u$  평면을 DCT 역변환을 하면 위터마크가 내장된 휘도 영상을 다시 얻게 된다.

이상의 내장 알고리즘을 평균 휘도가 작은 영상에 적용하면 크기가 작은 K가 구해지고 평균 휘도가 큰 영상에 적용하면 크기가 큰 K가 구해진다. 이것은

Watson과 Solomon의 모델에서는 영상의 휘도를 근거로 하여 JND 값이 결정되기 때문이다. 영상의 복사 방지 장치는 영상 자체만으로 워터마크를 판별해야 하기 때문에 알고리즘에서 내부적으로 사용할 수 있도록 K의 크기를 특정한 문턱치 이상으로 고정시킬 필요가 있다. 따라서 어떤 문턱치 이상의 K를 구하기 위해서 식 (2)의  $\bar{c}_{00}$  대신 영상의 DC 계수값의 평균을 사용하면 식(16)이 된다.

$$t_{ij}^* = F[i, j, L_0 c_{000} / \bar{L}] \quad (16)$$

여기서  $\bar{L}$ 은 영상의 DC 계수값의 평균이다. 따라서 본 논문에서는 워터마크 내장시 사용할  $K_{ij}^*$ 를 구하기 위해서 식(2) 대신 식(16)을 사용한다.

2. 워터마킹 검출 알고리즘

워터마크를 내장할 때 사용한 PN-sequence를 사용하여  $I_n$  평면에서 A 집합과 B 집합을 구하고 A 집합에 속하는 모든 계수의 절대값의 평균  $\bar{a}$ 와 표본 분산  $s_a^2$ 를 식(17)과 식(18)같이 구한다. B 집합에 속하는 모든 계수의 절대값의 평균  $\bar{b}$ 와 표본 분산  $s_b^2$ 은 식(19)와 식(20)같이 구한다.

$$\bar{a} = \frac{1}{P_A} \sum_{n,m} |c_{nm}|, \quad c_{nm} \in A \quad (17)$$

$$\bar{b} = \frac{1}{P_B} \sum_{n,m} |c_{nm}|, \quad c_{nm} \in B \quad (18)$$

$$s_a^2 = \frac{1}{P_A - 1} \sum_{n,m} (|c_{nm}| - \bar{a})^2, \quad c_{nm} \in A \quad (19)$$

$$s_b^2 = \frac{1}{P_B - 1} \sum_{n,m} (|c_{nm}| - \bar{b})^2, \quad c_{nm} \in B \quad (20)$$

A 집합과 B 집합의 표본의 개수가 매우 크므로 (256×256 영상인 경우 각각 1536개) 표본의 평균과 분산은 모집단의 평균과 분산의 신뢰 구간 내에 존재한다고 가정한다. 따라서 두 모평균의 차에 관한 추론을 사용하는 다음의 가설 검정 이론을 적용하여 워터마크를 검출한다<sup>[16]</sup>.

귀무가설  $H_0$  : 워터마크가 존재하지 않는다.

대립가설  $H_1$  : 워터마크가 존재한다.

워터마크가 내장되었다면 A 집합의 평균값과 B 집합의 평균값의 차는 평균값이 K이고 분산이

$$\hat{\sigma}_w^2 = \frac{s_a^2}{P_A} + \frac{s_b^2}{P_B} \quad (21)$$

인 정규 분포를 따른다. 따라서 두 가설  $H_0$ 와  $H_1$ 의 에러를 최소화 하기 위해 중간 지점  $\frac{K}{2\hat{\sigma}_w}$ 을 사용하여  $H_0$ 의 기각역을 결정한다. 기각역은 검출의 정확도가  $(1 - \alpha)$ 가 되는

$$t_{1-\alpha} = \frac{K}{2\hat{\sigma}_w} \quad (22)$$

보다 큰 값을 가지는 영역이다. 여기서 K값이 클수록 기각역이 좁아져서 검출의 정확성이 커짐을 알 수 있다. 가설을 판단할 검정 통계량으로는  $q = \frac{w}{\hat{\sigma}_w}$ 을 사용하며  $w = \bar{a} - \bar{b}$ 이다. 만약  $q > t_{1-\alpha}$ 면 검정 통계량이  $H_0$ 의 기각역에 속하여 워터마크가 존재한다고 결론을 내린다.

IV. 실험 결과 및 고찰

제안한 워터마킹 알고리즘이 JPEG 압축과 잡음에 강한 것을 확인하기 위해 256×256 크기의 영상들을 대상으로 알고리즘을 적용한다. 본 논문의 모든 실험에서는 P가 1인 경우에 구한  $d_{ij}^*$ 값 0.134를 사용한다. 실험에서 사용한 영상 lena와 couple, canyon은 그레이 레벨 영상이며 truck, fruit, money, window는 RGB 데이터로 이루어진 칼라 영상이다. 이때 화면의  $\Gamma$ 는 1로 가정한다. 따라서 그레이 레벨 영상의 휘도 평면은 그레이 레벨 평면에서 바로 얻고 칼라 영상의 휘도 평면은 RGB 데이터를 YUV 영역으로 변환하여 휘도 평면 Y를 얻는다.

표 1은 P가 1인 경우에 각 영상의 K값과  $t_{1-\alpha}$ ,  $q/t_{1-\alpha}$ 로 정의한 워터마크 검출량 R, 워터마킹된 저주파 계수의 표준 편차  $\hat{\sigma}_w$ , 워터마킹의 정확도, 영상의 평균 휘도 등을 보이고 있다. 이 표에서 워터마크가 존재할 가능성이 82% 이상임을 보이고 있으며 워터마킹의 정확도는 영상의 평균 휘도가 높고 워터마킹된 저주파 계수의 표준 편차가 작을수록 커짐을 알 수 있다. 실험을 통해서 본문에서 구한  $d_{ij}^*$ 값 0.134의 2배 정도까지 워터마킹해도 시각적인 차이를 거의 느낄 수 없음을 확인한다. 이 경우 영상의 K값은 약 2배 늘어나게 된다. 표 2는 P가 1.8인 경우의 워터마킹 결과이다. 이 표에서 워터마킹의 정확도가 95% 이상 됨을 알 수 있다.

표 1. 영상의 워터마킹 결과 (P=1)

Table 1. The results of watermarking on seven different images (P=1).

	Lena	Canyon	Fruit	Truck	Money	Window	Couple
K	5.27	5.78	5.12	5.19	5.99	6.10	3.99
$t_{1-\alpha}$	1.00	3.19	3.07	1.44	1.49	0.94	1.14
R	1.54	2.67	1.12	2.29	2.50	2.0	2.04
$\hat{\sigma}_H$	2.61	0.9	0.83	1.79	1.9	3.21	1.73
정확도	84	99	99	92	93	82	87
평균휘도	98	178	102	97	158	129	40



그림 3. 본래의 lena 영상  
Fig. 3. Original lena image.



그림 4. 워터마킹된 lena 영상 (P=1)  
Fig. 4. Watermarked lena image (P=1).



그림 5. 워터마킹된 lena 영상 (P=1.8)  
Fig. 5. Watermarked lena image (P=1.8).



그림 6. 원본 fruit 영상  
Fig. 6. Original fruit image.



그림 7. 워터마킹된 fruit 영상(P=1)  
Fig. 7. Watermarked fruit image(P=1).

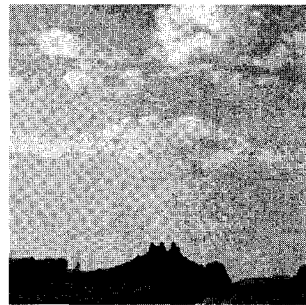


그림 8. 워터마킹된 canyon 영상(P=1)  
Fig. 8. Watermarked canyon image(P=1).



그림 9. 원래의 영상과 워터마킹된 영상의 화소값 차  
Fig. 9. The difference between original image and watermarked image.

표 2. 영상의 워터마킹 결과 ( P=1.8)  
Table 2. The results of watermarking on seven different images (P=1.8).

	Lena	Canyon	Fruit	Truck	Money	Window	Couple
K	9.24	9.54	8.81	9.2	10.31	10.72	6.98
$t_{1-\alpha}$	1.77	5.32	5.32	2.56	2.59	1.66	2.00
정확도	96	99	99	99	99	95	98

그림 3은 원래의 lena 영상이며 그림 4는 P가 1인 경우의 워터마킹한 lena 영상이다. 그림 5는 P가 1.8인 경우의 워터마킹한 lena 영상이다. 그림 3과 그림 4에서 시각적인 차이를 전혀 느낄 수 없다. 그림 3과 그림 5에서도 시각적인 차이를 거의 느낄 수 없다. 그림 6은 저주파 성분이 많은 fruit 영상의 원본 영상이며 그림 7은 P를 1로 워터마킹한 fruit 영상의 휘도 평면 영상이다. 그림 8 역시 저주파 성분이 많은 canyon 영상을 P를 1로 워터마킹한 휘도 평면 영상이다. 그림 9는 워터마킹된 lena 영상과 원래의 lena 영상에서 화소값들의 차를 구하여 표시한 것이다. 밝은 부분이 화소값의 변화량이 크고 어두운 부분이 변화량이 작은 부분이다. 영상에서 휘도가 큰 곳에 워터마크가 몰려 있음을 알 수 있다.

표 3. 다중 워터마킹 결과  
Table 3. The results of a multiple watermarking.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	
Lena	K	5.27	5.2	5.2	5.19	5.2	5.18	5.24	5.14	4.8	4.95	5.0	5.0
	R	1.08	1.72	2.35	1.70	5.0	1.96	2.11	5.06	5.42	2.34	-1.1	0.1
Canyon	K	4.62	5.36	5.91	5.91	6.0	5.91	6.06	5.77	5.03	5.55	5.0	5.0
	R	3.41	1.98	1.41	1.13	5.15	1.40	0.68	5.36	6.15	1.82	-0.05	-0.68

워터마킹한 영상에 또 다른 워터마크를 내장하는 다중 워터마킹의 경우에도 이전에 워터마킹한 것이 계속 존재함을 알 수 있다. 표 3은 영상에 먼저 S1 워터마크를 내장하고 다시 이 영상에 S2 워터마크를 내장하는 과정을 S10 워터마크까지 계속한 결과를 보이고 있다. 이때 K값은 내장시 얻은 것이며 R은 각각의 K값을 사용하여 10개의 워터마크가 내장된 영상에서 해당 워터마크를 검출한 검출량이다, 워터마크 내장에 사용되지 않은 S11, S12 워터마크인 경우에 K를 5.0으로 가정하고 검출을 시도한 결과 워터마크를 검출할 수 없음을 보이고 있다. 또한 canyon의 경우 워터마크 S7은 검출에 실패한 것을 알 수 있다. 이 표는 다중 워터마크의 내장과 검출이 가능함을 보이고 있다. 그러나 다중 워터마크는 영상의 품질을 저하시

킨다. 실험에서 lena의 경우 5번 이상 워터마킹하면 영상의 품질이 훼손되는 것을 알 수 있다. 이러한 다중 워터마킹 특성을 이용하면 워터마킹 알고리즘을 복사 방지 장치에 적용할 때 복사본의 검출 정확성을 높일 수 있다.

워터마크를 내장한 영상을 JPEG 손실 압축한 후에 검출을 시도한다. JPEG의 quality factor 값으로 7을 적용하면 그림 10처럼 영상이 심하게 왜곡된다. 이 경우에도 워터마크가 존재함을 알 수 있다. 그림 11에서 검출량이 1보다 크면 워터마크를 검출한 것을 의미한다. lena의 경우 검출량이 1 이하로 되는 압축율은 26:1이며 canyon은 34:1, truck은 46:1, fruit은 22:1의 휘도 평면 JPEG 압축율을 보이고 있다. 실험에 적용된 영상들에서 quality factor가 30 이하인 경우는 영상의 시각적인 품질이 심하게 떨어지지만 워터마크의 검출은 가능하다. 이것은 본 논문에서 제안하는 알고리즘이 JPEG 압축에 견고함을 증명한다.



그림 10. 워터마킹후 JPEG압축(25:1)  
Fig. 10. JPEG compression (25:1) of watermarked lena image.

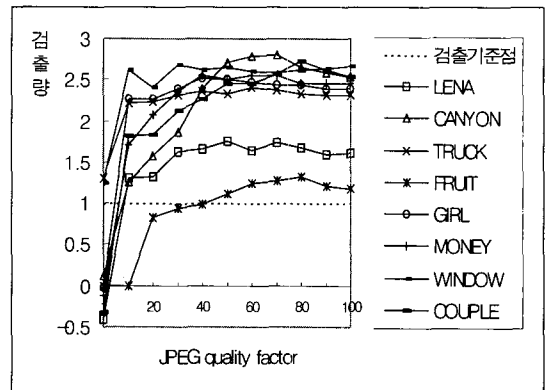


그림 11. JPEG 압축후 워터마크 검출  
Fig. 11. Detecting a watermark of JPEG compressed image.



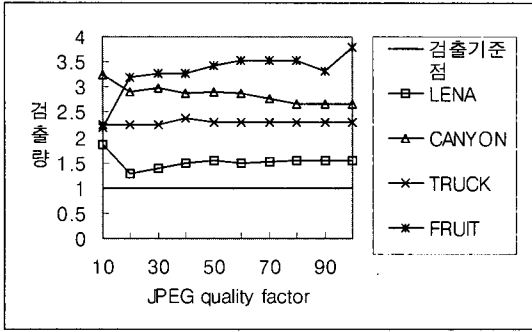


그림 12. JPEG 압축한 영상에 워터마킹한 후 검출률  
Fig. 12. Watermarking JPEG compressed image and detecting a watermark.

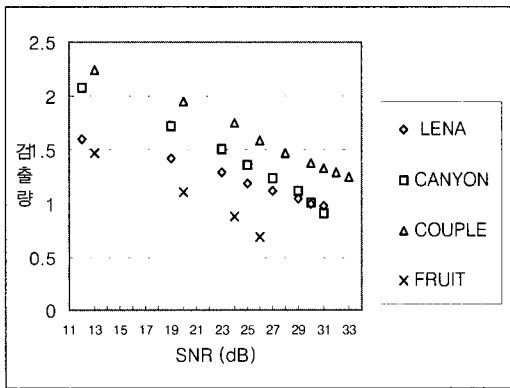


그림 13. SNR에 따른 검출률  
Fig. 13. Detecting a watermark according to SNR.



그림 14. 30 dB의 균등 분포 잡음이 더해진 lena 영상  
Fig. 14. Lena image with 30dB uniform distribution noise.

또한 JPEG으로 압축된 영상에 워터마크를 내장한 후 검출을 시도한 결과를 그림 12에서 보이고 있다. 이 그림은 JPEG으로 압축된 영상에도 본 논문에서 제안하는 워터마킹 알고리즘을 바로 적용할 수 있음을 보이고 있다.

제안하는 워터마킹 방법이 잡음에 강함을 보이기 위

해서 lena, canyon, fruit, couple 영상에 균등 분포 잡음을 더한 후 워터마크 검출을 시도한다. 그 결과를 그림 13에서 보여 주고 있다. 이때 SNR은  $-20 \log \left( \frac{K_m}{N_m} \right)$ 로서 정의된다. 여기서  $K_m$ 은 영상의 각 화소에 가감된 워터마크의 평균 크기이며  $N_m$ 은 워터마크된 영상에 더해진 잡음의 평균 크기이다. 그림에서 lena, canyon, couple의 경우는 30dB까지 fruit의 경우는 20dB까지 워터마크를 검출할 수 있음을 알 수 있다. 표 1의 fruit의 분산 값을 보면 1 이하의 가장 작은 값을 가지고 있다. 이것은 영상이 매우 단조롭다는 것을 의미하며 영상 자체가 그만큼 잡음에 약하다는 것을 알 수 있다. 그림 14는 30dB의 잡음이 더해진 lena 영상이다. 이렇게 심하게 훼손된 영상에서도 워터마크를 검출할 수 있음을 보여 준다. 따라서 제안하는 알고리즘이 영상의 품질을 심하게 저하시킬 정도의 균등 분포 잡음에서도 강함을 알 수 있다.

### V. 결 론

영상의 복사 방지 장치에 적용될 수 있는 새로운 워터마킹 방법을 제시한다. 이 방법에서는 주파수 영역에서 시각 시스템 모델을 사용하여 영상의 특성에 적합한 눈에 보이지 않는 최대 크기의 워터마크를 구한다.

영상의 저주파 영역을 두 부분으로 나누고 이들의 절대값의 합을 비교하는 방법으로 원본 영상 없이 워터마크가 저장된 영상만 사용하여 워터마크를 구한다. JPEG 손실 압축과 잡음에 강한 특성을 얻기 위해 영상의 의미있는 정보인 저주파 영역에 워터마킹한다. 실험을 통해서 시각 시스템 모델에 의해서 구한 최대 크기의 워터마크가 사람의 눈에 보이지 않음을 확인한다. 또한 검출의 정확성을 높이기 위해 그 보다 약 2 배 큰 워터마크를 사용해도 영상의 품질이 저하되지 않음을 확인한다. 또한 제안하는 알고리즘이 그레이 레벨 영상과 컬러 영상에서 잡음과 손실 압축에 매우 강함을 알 수 있다.

추후 연구 분야로는 영상의 휘도에 기초한 시각 시스템 모델에 영상의 혼잡 특성까지 고려하여 K 값을 더욱 크게 얻는 방법이 연구되어야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] F. M. Boland, J. J. K. O Ruanaidh and C. Dautzenberg, "Watermarking Digital Images for Copyright Protection ", *Image Processing And its Applications*, pp. 326-330, July 1995.
- [2] Gerrit C. Langelaar, Jan C.A. van der Lubbe, Reginald L. Lagendijk , " Robust Labeling Method for Copy Protection of Images", *Proceedings of SPIE ELECTRONIC IMAGING '97, storage and Retrieval for Image and Video Databases V*, pp. 298-309, February 1997.
- [3] W.Bender, D.Gruhl, N.Morimoto, "Techniques for Data Hiding", *Proceedings SPIE*, pp. 2420-2440, February 1995.
- [4] I. Pitas, "A Method for Signature Casting on Digital Image", *Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing*, pp. 215-218, September 1996.
- [5] Nikos Nikolaidas, I. Pitas, " Copyright Protection of Images Using Robust Digital Signature", *Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech & Signal Processing*, pp. 2168-2171, 1996.
- [6] E. Koch , J. Zhao, " Towards Robust and Hidden Image Copyright Labeling", *Nonlinear Signal Processing Workshop*, pp. 460-463, 1995.
- [7] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton and T. Shamoan, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia", *Technical Report 95-10*, NEC Research Institute.
- [8] Mitchell D. Swanson, Bin Zhu and Ahumed H. Tewfik, " Transparent Robust Image Watermarking", *Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing*, pp. 211-214, 1996.
- [9] Christine I. Podilchuk, Wenjun Zeng, "Perceptual Watermarking of Still Images ", *Workshop on Multimedia Signal Processing*, June , 1997.
- [10] A. J. Ahumada, H. A. Peterson, "Luminance-Model Based DCT Quantization for color Image compression", *Human Vision, Visual Processing and Digital Display III, Proceeding of the SPIE*, vol. 1666, pp. 365-374, 1992.
- [11] Andrew B. Watson, "Visual Optimization of DCT Quantization matrices for Individual Images" *Proceedings AIAA Computing in Aerospace 9* , pp. 286-291, 1993.
- [12] Joshua A. Solomon., Andrew B. Watson, Albert Ahumada , "Visibility of DCT basis functions : Effects of contrast masking", *Proceeding of Data Compression Conference*, Snowbird, Utah : IEEE Computer Society Press, pp. 361-370, 1994.
- [13] William B. Pennebaker, Joan L. Mitchell, *JPEG Still Image Data Compression Standard*, Van Nostrand Reinhold New York, pp. 65-79, 1993.
- [14] Alex W. Lam, Sawasd Tantaratana, *Theory and Applications of Spread-Spectrum Systems*, The Institute of Electrical and Electronics Engineers Ind, pp. 93, 1994.
- [15] K. R. Rao, P. Yip , *Discrete Cosine Transform*, Academic Press New York, pp. 12 , 1990.
- [16] G. K. Bhattacharyya, R. A. Johnson, *Statistical Concepts and methods*, Wiley, 1977.

## 저 자 소 개



金 德 鈴(正會員)

1964년 7월 10일생. 1988년 2월 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1990년 2월 한양대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1993년 3월 ~ 현재 한양대학교 대학원 전자계산학과 박사과정. 1990년 3월 ~ 1991년 3월 금성사 정보기기 연구소. 1991년 4월 ~ 1996년 8월 생산기술연구원/전자부품연구소 전임연구원. 1996년 9월 ~ 현재 안산전문대학 전자계산과 전임강사. 주관심분야는 멀티미디어 통신, 멀티미디어 정보보호, Watermarking



朴 成 漢(正會員)

1947년 6월 2일생. 1970년 한양대학교 전자공학과 졸업(B.S). 1973년 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(M.S). 1984년 텍사스 주립대학 전기 및 컴퓨터공학과 졸업(Ph.D.) 1974년 3월 ~ 1978년 8월 경북대학교 전자공학과 전임강사. 1984년 5월 ~ 1984년 8월 텍사스 주립대학 Instructor. 1984년 5월 ~ 1986년 2월 금성사 중앙연구소 수석연구원. 1986년 3월 ~ 현재 한양대학교 전자계산학과 교수. 주관심분야는 멀티미디어 통신, 컴퓨터비전, Watermarking