

DCT 기반의 최대 용량 블라인드 워터마킹

정희원 최병철*, 김용철**

A Full-Capacity DCT-based Blind Watermarking

Byeong-Cheol Choi*, Yong-Cheol Kim** *Regular Members*

요약

본 논문은 DCT 기반의 블라인드 워터마킹 방법에 관한 연구 결과이다. 본 논문에서 사용한 4096비트의 워터마크는 512x512 영상이 수용할 수 있는 최대 용량의 절반에 해당한다. 각 워터마크 비트는 8x8 DCT블록의 12개의 계수에 확산 패턴을 이용하여 삽입하였다. 워터마크 삽입 과정에서, 워터마크 이득 계수는 비가시성과 견고성을 고려하여 최적화되었다. 워터마크 검출 과정에서는, 상관검출을 통하여 워터마크에 대한 예비판정을 하며, 이진가설 검증의 검증 과정을 통해서 예비판정에서의 검출 오류를 수정하였다. 검증 과정에서는 복원된 DCT계수를 이용한 가중치가 사용되었으며, 대부분의 예비 판정의 오류는 검증 과정에서 수정이 되었다. 실험 결과, 영상에 공격이 가해지지 않은 경우는 최종 검증 후에 BER이 0.5%미만으로 낮아졌으며, 20% JPEG의 고압축에서도 BER이 9%미만으로 산출되었다. 기존의 방법들과의 비교에서, 제안한 방법은 워터마크 검출 성능 및 워터마크 용량 측면에서 우수하였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a DCT-based blind watermarking system. The size of the watermark is 4096 bits, which contains watermark data in half-full capacity for 512 x 512 images. Each bit is embedded as a pseudo-random spreading pattern in 12 positions of DCT coefficients of an 8 by 8 block. In the embedding process, the watermark gain factor, α , is optimized in terms of robustness and invisibility. In the extraction process, a preliminary detection for watermark bit is obtained by correlation matching and then verified by voting on binary hypothesis tests, where the estimate of original DCT coefficients are used as weighting factors. Most of bit errors are corrected in the verification process. The proposed method has been tested on several watermarked images with attacks. After verification process, BER (bit error rate) reduces to around 0.5 % for no attack on watermarking. BER in worst case stays lower than 9 % with heavy (20%) JPEG compression. Compared with other methods, the proposed method is superior both in detection ratio and in watermark size.

1. 서론

디지털 워터마킹 기술은 멀티미디어 정보의 저작권 보호를 위한 효과적인 수단이다. 워터마크를 삽입, 검출하는 과정은 공간 영역 방법과 주파수 영역 방법으로 나눌 수 있는데, 주파수 영역으로는 DFT, DCT, DWT 등이 사용된다^[7]. 최근에는 주파수 영

역에서 HVS(Human Visual Systems)를 고려하여 워터마킹을 하는 방법이 사용되고 있다^[12,13]. 워터마크 검출 과정에서는 원 데이터를 사용하지 않는 블라인드 워터마킹 기법이 주로 사용되고 있다^[2,3,7,19]. 또한, MPEG-4의 객체기반 워터마킹 기법도 연구되고 있다^[18].

본 논문에서 제안하는 방법은 DCT 영역에서 워

* 한국전자통신연구원 사이버테러기술분석팀(corea@etri.re.kr),

** 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부(yckim@uoscc.uos.ac.kr)

논문번호 : K01038-0127, 접수일자 : 2001년 1월 27일

* 이 연구는 2000년도 서울시립대학교 학술연구조성비에 의하여 수행되었습니다.

터마크 삽입과 검출이 이루어진다. DCT 계수의 통계적 모델로는 Gaussian, Laplacian 및 Generalized Gaussian이 주로 사용되는데^[5,6], 본 논문에서는 Gaussian으로 가정한다.

효과적인 워터마킹이 이루어지기 위해서는 다음과 같은 조건이 충족되어야 한다. 첫째는 비가시성으로서 워터마크가 시각적, 통계적으로 보이지 않아야 한다. 둘째는 견고성으로서 압축을 포함한 여러 형태의 공격을 이겨낼 수 있어야 한다. 셋째는 보안성으로서 원 영상이 없어도 워터마크의 검출이 가능해야 한다. 마지막으로 삽입용량으로서 의미 있는 저작권 정보에 충분한 워터마크를 수용할 수 있어야 한다.

워터마킹 방법은 검출 과정에서 원 영상을 사용하는 방법(non-oblivious watermarking)과 원 영상을 사용하지 않는 방법(blind watermarking)으로 구분된다. 본 논문은 블라인드 워터마킹 기법에 대한 연구이다.

본 논문은 I장의 서론, II장의 제안하는 시스템의 구조 및 워터마크 삽입, III장의 워터마크의 검출, IV장의 실험 및 결과, 그리고 V장의 결론으로 구성 되어 있다.

1. 연구 배경

워터마크 용량은 워터마킹 알고리즘의 공정한 성능평가와 밀접한 연관이 있다. 일반적으로 워터마크는 수백 비트 이하의 정보를 사용한다^[14]. Barni^[11]는 non-Gaussian 모델에서의 non-additive 워터마크의 용량에 대해서 기술하였다. Servetto^[10]는 워터마크 삽입, 검출을 additive Gaussian 채널에서의 Shannon의 채널 용량 공식을 적용하여 식 (1)을 유도하였다.

$$C_w = \frac{nN}{2} \log_2 \left(1 + \frac{1}{\sigma^2} \right) \quad (1)$$

위의 식을 본 연구에서 사용하는 워터마킹 방법에 적용하면, n은 단일 블록에서 사용하는 DCT 계수의 수인 12이고, N은 영상의 4096 블록을 의미하며, σ^2 은 신호 대 잡음 비로서, 본 논문에서는 워터마크 이득 계수와 원래의 DCT 계수의 표준편차와의 비의 제곱이다. 제안된 방법에서 512x512 영상에 사용될 수 있는 워터마크의 비트 수는 7912 비트이다. 자세한 내용은 제 II장에 상술되어 있다.

실험에서 사용된 4096개의 워터마크는, 512x512 영상이 수용할 수 있는 최대 정보량의 절반에 해당

하며, 기존의 연구^[12]에서 사용하는 워터마크의 정보량보다 훨씬 크다. 그러나, 제안된 방법은 비가시성에서 38dB 이상, 견고성에서 BER에 0.5% 이하로 측정되었다. 이것은 기존의 방법에 비해 견고성과 비가시성이 모두 우수함을 보여준다.

2. 성능평가 기준

본 논문에서는 성능평가의 기준으로서, 견고성에 대해서는 BER를 사용하고, 비가시성은 MPSNR (Masked PSNR)을 사용하였다. MPSNR은 워터마크에 의한 변형 정도와 영상의 최대 밝기를 비교한 비율이다. BER은 워터마크 비트 단위의 검출 오류이다.

워터마크 검출에서 원 영상을 사용하지 않는 워터마킹 기법들은^[2,3,15], 주로 이진가설 검증(BHT: Binary Hypothesis Test)과 상관검출(CM : Correlation Matching) 이 사용된다. CDMA 워터마킹^[3]은 근본적으로 상관검출 방법이며, 이것은 워터마크 신호와 확산패턴과의 유사도 계산에 의해 워터마크를 검출하는 것이다. 본 연구에서는 상관검출에 의한 예비판정과 이진가설검증에 의한 예비판정의 오류를 수정하는 추정치 가중적 이진가설검증(EWBHT : Estimate Weighted Binary Hypothesis Test) 알고리즘을 개발하였다.

본 논문에서는 성능평가를 두 가지로 하였다. 첫째, 같은 블라인드 워터마킹 방법에서의 성능 비교이며, 제안된 EWBHT과 기존의 두 종류의 검출 알고리즘인 상관검출 및 이진가설검증과 비교하였다. 둘째, 같은 HVS의 원리를 이용한 워터마킹 방법과의 성능 비교인데, Liang^[13]이 분석한 Zeng^[12]의 IA-DCT에 의한 방법의 결과를 본 논문의 실험 결과와 비교하였다.

II. 제안하는 시스템의 구조 및 워터마크 삽입

그림 1은 워터마크 삽입 과정을 나타낸 것이다. 원 영상을 DCT 변환 한 후, 4096비트의 워터마크를 삽입하였다. 워터마크 삽입과정에서 워터마크 이득 계수는 8x8 블록의 DCT 계수의 표준편차에 비례하는 값을 사용하였다. 각 워터마크 비트는 8x8 DCT블록의 12개의 계수에 삽입되며, 이에 사용되는 확산패턴을 그림 3에 나타내었다.

그림 2는 워터마크의 검출 과정을 나타낸 것이다. 워터마크가 삽입된 영상에 대해 흔히 사용되는 공격으로는 영상처리적인 방법과 영상압축이 사용된

다. 영상처리적인 방법에는 필터링, 잡음 삽입, 기하학적 변형 등이 있으며, 영상압축으로는 JPEG이 주로 사용된다. 그림 4는 워터마크의 검출 과정에서 상관검출에 의한 예비판정을 하는 과정을 나타낸 그림이다.

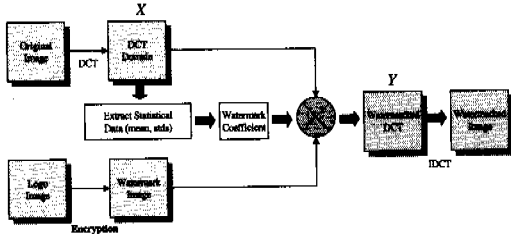


그림 1. 워터마크 삽입 과정

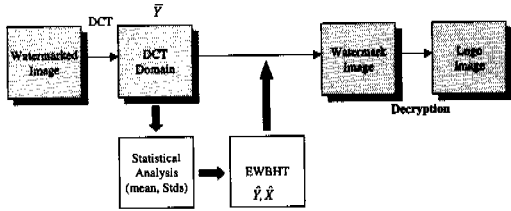


그림 2. 워터마크의 검출 과정

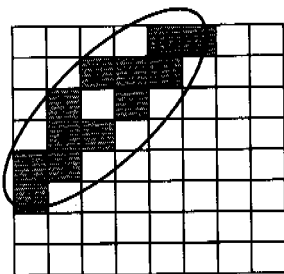


그림 3. 특정 12개의 DCT 계수 영역

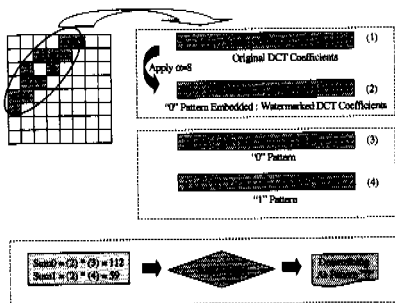


그림 4. 상관도 검사

1. 워터마크 이득 계수의 선정

기존의 DCT 기반의 방법^{[1,2]}}에서는, 워터마크 이득 계수의 선정은 비가시성의 한도 내에서 일정한 값을 사용하여 블록 전체에 삽입하였다. 식 (2)와 식 (3)은 일반적인 워터마크 삽입 과정을 나타내며, $X(u, v)$, $Y(u, v)$ 와 $W(u, v)$ 는 각각 블록 (u, v) 의 원래의 계수와 워터마크된 DCT 계수 및 워터마크를 나타내며, α 는 워터마크 이득계수이다.

$$Y(u, v) = X(u, v) + \alpha W(u, v) \quad \text{-- Type I} \quad (2)$$

$$Y(u, v) = X(u, v)(1 + \alpha W(u, v)) \quad \text{-- Type II} \quad (3)$$

Type I의 워터마크 삽입 방법은 원 영상의 DCT 계수 값에 관계없이 일정한 값이 삽입이 되고, Type II에서는 원 영상의 DCT 계수 값의 크기에 따른 비례적인 값이 삽입된다. 본 논문은 블록 단위로 워터마크 이득 계수 값이 변하므로, 식의 형태로는 Type I이지만, 실제로는 영상의 국부적인 특성을 고려하는 Type II 방식에 가깝다.

워터마크 이득 계수는 시각인지도^{[8,9]}}의 MPSNR과 견고성의 기준인 BER을 동시에 충족하도록 선정된다^{[6,7]}}. 이러한 연구에 의하면 비가시성과 만족하는 MPSNR의 기준 값은 38dB 이상이어야 하며, 또한 BER이 20% 미만일 때 최소한의 견고성이 만족된다고 본다. 본 논문에서는 BER을 20% 이내로 유지하는 최소의 α 를 사용하였다.

비가시성의 척도로는 MPSNR을 사용하였다.

$$MPSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{E^2} \quad (4)$$

여기에서, E는 각 픽셀에서의 원래의 영상과 워터마크된 영상의 차이인 $e(x, y)$ 의 절대값의 평균치이다.

$$E = \frac{1}{N_x N_y} \sum_{x=1}^{N_x} \sum_{y=1}^{N_y} |e[x, y]| \quad (5)$$

표 1은 최적의 워터마크 계수 선정의 이론적 분석을 검증하는 실험 결과이다. 워터마크 계수 α 에 따라서 MPSNR과 BER을 실험하였다. 비가시성과 견고성을 고려한 최적의 워터마크 이득 계수는 0.475σ 였으며, 실험에서는 0.5σ 의 값을 사용하였다.

표 1. 워터마크 이득계수에 따른 MPSNR과 BER

Images	Alpha	PSNR(dB)	BER(CM)	E
Airplane	I. 0.25	45	0.2633	1.05
	II. 0.333	43	0.2249	1.22
	III. 0.5	39	0.1251	1.59
	IV. 1	32	0.0531	2.96
Babara	I. 0.25	44	0.2747	1.13
	II. 0.333	42	0.1909	1.39
	III. 0.5	37	0.0745	1.94
	IV. 1	30	0.0178	3.8

2. 제안하는 시스템의 워터마크 삽입

제안된 시스템의 워터마크 삽입 방법은 원 영상의 통계적 특성을 고려하여, 블록 내부의 DCT계수의 표준편차에 따라서 블록 단위로 워터마크를 삽입하는 방법이다. 다음은 워터마크 삽입 과정의 수식이다.

$$Y_i^b = \text{sgn}(X_i^b) \left(|X_i^b| + \alpha_b P_i^k \right) \quad (i=1,2,\dots,12 \quad k=0,1) \quad (6)$$

$$\alpha_b = \beta \sigma_b, \quad P_i^k \in \begin{cases} P^0 = \{1,0,1,0,1,1,0,0,0,1,1,0\} \\ P^1 = \{0,1,0,1,0,0,1,1,1,0,0,1\} \end{cases}$$

여기서 X_i^b 는 워터마크가 삽입되기 전의 원래의 DCT 계수, $|X_i^b|$ 는 DCT 계수의 절대값이며, Y_i^b 는 워터마크가 삽입된 후의 DCT 계수, α_b 는 워터마크 계수이고, β 는 비례상수, 그리고 σ_b 는 단일 블록에서 특정 15비트의 표준 편차, P^0 와 P^1 은 워터마크 비트의 "0"과 "1"의 확산패턴이며 12-tuple 벡터이다.

워터마크 이득 계수는 DCT 계수 값의 표준편차 (블록 단위의 특정 15개의 계수 - 확산 패턴이 삽입되는 12개의 계수와 이웃하는 3개의 계수)에 비례상수가 곱해진 형태이다. 그림 3에 보인 바와 같이 확산 패턴은 주파수의 대각선 방향으로 대칭성을 가진다.

본 논문에서 4096 비트의 랜덤화된 워터마크는 512x512 워터마크 영상으로 확산이 되는데, 이때 DCT블록에서 특정 12개의 계수가 사용된다. 그림 5에서와 같이 3가지 경우에 대하여 실험한 결과, Type III의 경우가 견고성과 비가시성에서 가장 우수함을 알 수가 있었다. 같은 BER의 값에 대해, (a)는 워터마크 이득 계수를 $2\sigma_b$, (b)는 σ_b , (c)는 $0.5\sigma_b$ 를 사용하게 되는데, (c)의 경우가 영상압축과 영상처리에 대해서 가장 견고한 특성을 가진다.

III. 워터마크 검출

기존의 워터마크 검출 방법은 Podilchuk^[1]과 Zeng^[2]이 사용한 이진가설검증과 Raunaidh^[3]가 사용한 CDMA 워터마킹 기법에서의 상관검출의 방법이 있다. Podilchuck은 워터마크 검출 과정에서 원 영상을 사용하지만, Zeng과 Raunaidh의 방법은 워터마크 검출 과정에서 원 영상을 사용하지 않는다.

제안하는 워터마크 검출 방법은 상관검출과 이진가설검증 및 원 영상의 DCT계수 추정이 결합된 형태이며, 상관검출로 예비판정을 하고, 가중치가 적용된 DCT 계수를 이진가설 검증한다.

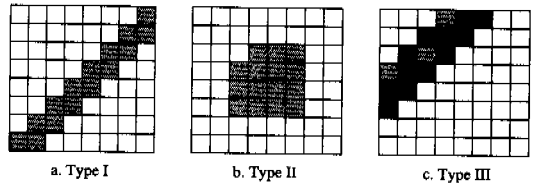


그림 5. 워터마크 삽입 영역 및 구조

1. 제안된 워터마크 검출 방법

그림 6은 EWBHT 알고리즘을 나타낸 그림이다. 상관검출에 의해 이진 패턴을 먼저 판단한 후, 워터마크 이득 계수인 α 값을 추정하여 원 영상의 DCT 계수 값을 복원한다. 이 복원된 DCT계수 값을 이용하여 가중치를 구하고, 워터마크된 영상의 DCT 계수에 가중치를 곱한 후, 이진가설검증을 수행한다. 이 방법은 기존의 방법에 비해서 BER 측면에서 2~10배의 성능 개선이 있다.

다음의 식에서 S_0 와 S_1 은 워터마크된 영상의 각각의 확산패턴의 "1"에 대응되는 DCT 계수의 절대값의 합을 나타낸다.

$$S_0 = \sum |Y_{i,b}| P_i^0, \quad S_1 = \sum |Y_{i,b}| P_i^1$$

$$\text{if } \begin{cases} S_0 > S_1 \rightarrow \text{decide bit} = 0 \\ S_0 < S_1 \rightarrow \text{decide bit} = 1 \end{cases} \quad (7)$$

워터마크된 영상의 DCT 계수로부터 원래 영상의 워터마크 이득 계수를 추정할 수 있다

$$\hat{\sigma}_b^2 = \frac{16}{17} (\sigma_b^w)^2, \quad \hat{\alpha}_b = \hat{\sigma}_b / 2 \quad (8)$$

$\hat{\sigma}_b$ 은 추정된 표준편차, σ_b^w 는 워터마크된 영상의

표준편차, $\hat{\alpha}_b$ 는 워터마크 이득계수의 추정치이다. 추정된 워터마크 이득 계수를 이용하여, 원 영상의 DCT계수 값을 복원하는 과정을 식 (9)에 나타내었다. $\hat{X}_{i,b}$ 는 복원된 DCT계수 값이다.

$$\hat{X}_{i,b} = \begin{cases} Y_{i,b} - \hat{\alpha}_b P_i^0 & \leftarrow \text{for pattern 0} \\ Y_{i,b} - \hat{\alpha}_b P_i^1 & \leftarrow \text{for pattern 1} \end{cases} \quad (9)$$

복원된 원 영상의 DCT계수 값의 평균을 이용하여 가중치를 계산하여, 워터마크된 영상의 DCT계수 값에 곱한다. 가중치가 곱해진 DCT계수를 이진 가설검증하여 예비판정 오류를 수정하게 된다. 식 (10)은 가중치를 계산하는 수식이다.

$$W = \frac{\hat{X}_{i,b}}{\text{mean}} \quad (0 < W \leq 10) \quad (10)$$

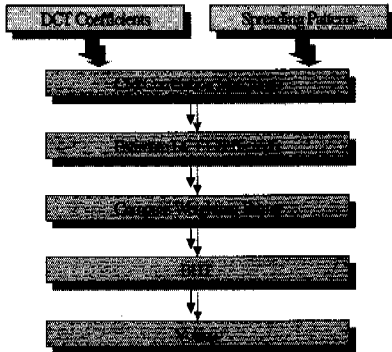


그림 6. EWBHT 알고리즘

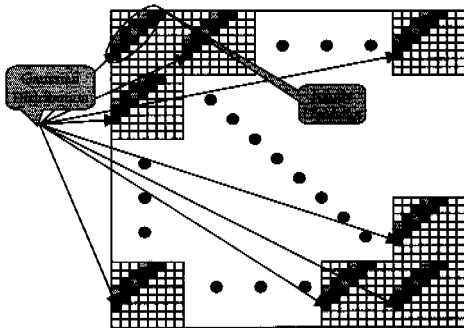


그림 7. DCT 계수의 확률 분포

2. 기존의 워터마크 검출 알고리즘 모델링

그림 7에 보이는 DCT 블록의 15개의 계수는 Gaussian 분포, 15개의 계수 전체는 jointly

Gaussian 분포를 이룬다고 가정한다. 15개의 DCT 계수 중에서 12개의 워터마크가 삽입된다.

2.1 이진가설검증(BHT)

기존의 논문^[12]에서 사용된 이진가설검증은 최종 워터마크를 추출하기 위해서 다수결 원칙이 추가된 형태의 워터마크 검출 방법이다. 기존의 이진가설검증은 one-sided Gaussian 분포를 이용한 방법이며, 제안된 방법에서는 DCT계수의 절대값을 사용하므로 two-sided Gaussian 분포를 이용하여, 그 성능을 예측할 수 있다.

2.2 상관검출(CM)

확산 패턴과 DCT 블록의 특정 영역과의 상관도를 구하여 워터마크의 이진 패턴을 판정하게 된다. 식 (7)의 각각 S_0 와 S_1 은 각각 DCT계수 값과 확산 패턴과의 상관도를 나타내며, 그 차이를 D 라고 하자.

$$D = S_0 - S_1 \quad (11)$$

식 (11)에서 D 의 분포에서 각각의 계수 값들이 jointly Gaussian 분포를 이룬다고 가정하면, 평균과 분산은 다음과 같다.

$$M_D = E(D), \quad \sigma_D^2 = \text{VAR}(D) \quad (12)$$

$$\ominus \text{VAR}[D] = \sum_{k=1}^{12} \text{VAR}[D_k] + \sum_{\substack{j=1, k=1 \\ j \neq k}}^{12} \text{COV}(D_j, D_k)$$

3. EWBHT 방법의 성능개선 이유

Barbara 영상에 워터마크 이득 계수 $0.5\sigma_b$ 를 사용하였을 때의 결과를 표 2에 나타내었다. C(correct)와 W(wrong)의 판단 기준은 원래의 워터마크 비트와 검출된 비트가 동일하면 C이고 다르면 W이다. 여기에서 distance는 S_0 와 S_1 의 차이를 나타낸다. 예비판정에서 C가 3791, W가 305인데, 이것이 검증 과정에서는 C가 4011이고, W가 85이다. 즉, 예비판정에서의 오류가 검증 과정에서 많이 수정이 됨을 알 수 있다. 특히, 차이 값이 5 미만인 경우에서 그 현상이 현저한데, C/W(예비판정은 올바른데 검증이 잘못된 경우)와 W/C(예비판정은 잘못되었으나 검증과정에서 올바르게 판단될 경우)의 경향을 보면, C/W의 확률은 작지만, W/C의 확률은 매우 높음을 알 수 있다. 표 2에서 C/W의 개수는 59이고, W/C의 개수는 279이다. 여러 영상에

대한 실험 결과, W/C가 C/W의 거의 5~10배 정도 높게 검출되었다.

그림 8은 본 논문에서 제안된 방법에서 DCT계수의 변화 과정 및 알고리즘의 흐름을 실제 데이터를 기반으로 예시한 것으로, 실제 워터마크가 "1"일 때, 상관검출에서는 "0"로 예비 판정된 후, 이진가설검증을 한 결과는 "1"로 판정되는 것을 보여준다.

만약, 예비판정을 생략하고 완전히 랜덤하게 하여 EWBHT 과정을 수행하면 어떠한 결과가 나올까? 이 경우에는 원래의 DCT계수 값의 추정이 불확실하여 EWBHT에 의한 성능개선이 낮아지게 되며, 실제 실험 결과 영상에 공격이 가해지지 않은 경우 약 19%의 BER을 얻을 수 있었다.

표 2. 예비판정과 EWBHT에 의한 성능 향상

CM / EWBHT	Original Bit	CM (Pre)	EWBHT (Verify)	Distance	
				< 5	> 5
C/C	1	1	1	273	1529
	0	0	0	292	1638
C/W	1	1	0	21	1
	0	0	1	36	1
W/C	1	0	1	178	36
	0	1	0	38	27
W/W	1	0	0	16	1
	0	1	1	8	1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Bits Count
Original DCT	11	5	10	1	13	6	7	1	4	11	10	11	std = 10 alpha=5
0 패턴 1 패턴	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	Apply alpha=5
Watermarked DCT (Pattern "1")	11	9	10	6	13	6	12	6	9	11	10	16	mean=9.66
Sum1 Sum0	58 81												Determine as
Estimated DCT	6	9	5	6	8	1	12	6	9	6	5	18	meanEst=7.33
Weighted DCT	10	10	8	5	14	3	14	7	10	10	8	18	mean=9.26
BHT	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	Pattern "0" =>Error Counts = 8 Pattern "1" =>Error Counts = 6
Modifying Pattern	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	Modify as Pattern "1"

그림 8. 알고리즘 예시 (도표화)

IV. 실험 및 결과

그림 9는 사용된 영상들이며, 그림 10은 본 연구에서 사용된 Barbara 원 영상과 워터마크 과정에서 생성된 영상들이다. 본 논문에서 사용된 원 영상은 512x512 그레이 레벨 영상이고, 4096비트의 워터마크는 64x64 이진로고 영상을 랜덤화하여 생성하였다.

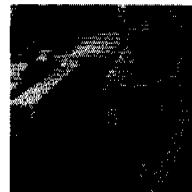
표3, 표4, 표5 및 표6은 여러 가지 영상의 공격에

대한 워터마크 검출 성능을 BER로 비교한 것이다.

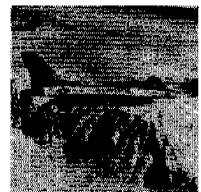
워터마크 이득 계수로는 $0.5\sigma_b$ 를 사용하였다. EWBHT의 성능을 기존의 이진가설검증 및 상관검출의 성능과 비교하였다. 사용된 영상은 Barbara, Airplane, Baboon, Lena 영상이다.

영상에 공격을 가하지 않은 경우는 기존의 방법은 0.05~0.125정도의 BER이 얻어지고, 제안한 방법은 0.002~0.05정도의 BER이 얻어진다. 영상 처리 공격에 대해서 기존 방법은 0.1~0.2정도의 BER이 얻어지며, 제안된 방법은 0.05~0.1정도의 BER을 가진다. 또한, 영상압축 공격에서는 기존의 방법이 0.1~0.3정도의 BER인데 비해 제안된 방법은 0.02~0.09정도의 BER을 가진다. 전체적으로 BER에서 2~10배 정도의 성능 개선이 있었다.

Liang^[12]은 IA-DWT와 Zeng^[31]이 사용한 IA-DCT에 의한 방법의 워터마크 검출 성능(원 영상 사용), 비가시성, 삽입된 워터마크 정보량에 대해서 비교하였다. 표 7(참고논문[12])과 본 논문의 결과를 종합한 것)에서 알 수 있듯이, 검출 성능(여기에서는 NC(normalized correlation) 측면에서는 본 논문에서 제안한 방법이 10%까지의 성능 이득이 있다. 워터마크 정보량 및 비가시성의 측면에서 IA-DCT가 512비트를 삽입하였을 때 30dB였는데, 본 논문은 4096비트를 사용하고 40dB정도가 산출됨으로, 워터마크 삽입 정보량은 약 7.8배, 비가시성은 10dB정도 제안한 방법의 성능이 우수하다. 또한, 비교한 방법들은 원 영상을 사용하는 데에 비해, 제안한 방법은 원 영상을 사용하지 않고 워터마크를 검출하였다.



a. Barbara



b. Airplane



c. Baboon



d. Lena

그림 9. 사용된 영상의 종류

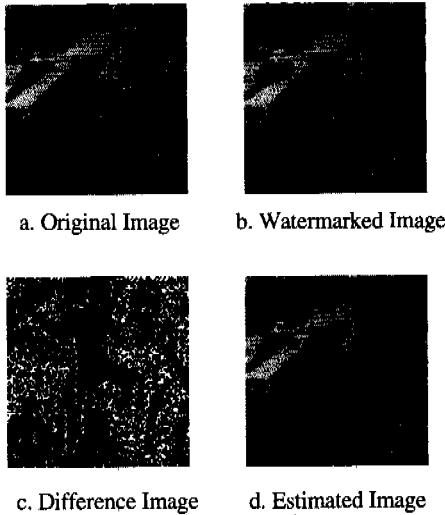


그림 10. 워터마킹에서 생성된 영상

표 7. 기존의 방법과의 비교

Methods	Info(bits)	PSNR(dB)	JPEG(20%)	Blur(0.2)	Sharpen(0.5)
IA-DCT	512	30	0.4953	0.9534	0.8255
IA-DWT	512	34	0.3387	0.9066	0.8744
EWBHT	4096	38	0.9088	0.9414	0.9761

V. 결론

본 논문은 DCT를 기반으로 한 블라인드 워터마킹 방법이며, 512x512 원 영상이 수용할 수 있는 최대 용량의 절반에 해당하는 4096비트의 워터마크를 사용하였다. 워터마크 이득 계수의 최적 선정을 이론적($0.475\sigma_b$) 및 실험적($0.5\sigma_b$)으로 분석하였다. 제안된 EWBHT는 상관검출의 예비판정 과정과 이진가설검증의 오류 검증 과정의 2단계로 구성되어 있으며, 실험 결과에 의하면, 기존의 방법에 비해서 BER 측면에서 2~10배 정도의 성능 개선이 있었다. 영상에 공격이 가해지지 않은 경우는 BER이 0.5% 미만이었으며, JPEG(20%)의 강한 압축에서도 BER이 9% 미만으로 측정되었다. 또한, 기존의 HVS 관점에서의 논문의 결과와 비교해 보면, 제안한 방법이 IA-DCT나 IA-DWT에 의한 방법에 비해서, 워터마크 정보량, 비가시성, 견고성의 모든 면에서 성능 개선이 있었다.

표 3. 공격에 따른 BER 성능 (Barbara)

Attacks	BHT	CM	EWBHT
1. No	0.0718	0.0745	0.0091
2. Sharpen	0.0802	0.0813	0.0066
3. Blur	0.1241	0.1289	0.0288
4. Median	0.1762	0.1833	0.0823
5. Noise(G)	0.1214	0.1188	0.0293
6. JPEG(20%)	0.1001	0.1044	0.0259

표 4. 공격에 따른 BER 성능 (Airplane)

Attacks	BHT	CM	EWBHT
1. No	0.1231	0.1251	0.0511
2. Sharpen	0.1189	0.1201	0.0239
3. Blur	0.1853	0.1861	0.0586
4. Median	0.3657	0.3769	0.1031
5. Noise(G)	0.2847	0.2839	0.0301
6. JPEG(20%)	0.3557	0.3193	0.0851

표 5. 공격에 따른 BER 성능 (Baboon)

Attacks	BHT	CM	EWBHT
1. No	0.0525	0.0501	0.0002
2. Sharpen	0.0584	0.0569	0.0007
3. Blur	0.1013	0.1023	0.0029
4. Median	0.3232	0.3127	0.0173
5. Noise(G)	0.1269	0.1257	0.0015
6. JPEG(20%)	0.1751	0.1455	0.0886

표 6. 공격에 따른 BER 성능 (Lena)

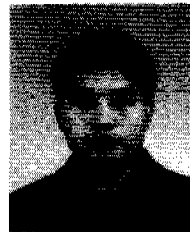
Attacks	BHT	CM	EWBHT
1. No	0.0745	0.0732	0.0039
2. Sharpen	0.0874	0.0867	0.0073
3. Blur	0.1514	0.1528	0.0127
4. Median	0.3625	0.3748	0.0625
5. Noise(G)	0.2813	0.2769	0.0056
6. JPEG(20%)	0.2965	0.3406	0.0912

참고 문헌(References)

- [1] R. Wolfgang, C. Podilchuk, "Perceptual watermarks for digital images and video", Proceedings of the IEEE, Vol. 87, No. 7, pp.1108-1126, July 1999
- [2] W Zeng, B Liu, "A statistical watermark detection technique without using original images for resolving rightful ownerships of digital images", IEEE Transaction on Image Processing, Vol.8, No.11, pp.1534-1548, November 1999
- [3] J. ORaunaidh, G. Csurka, A bayesian approach to spread spectrum watermark detection and secure copyright protection for digital image libraries, Proceedings of IEEE Computer Vision and Pattern Recognition, pp.207-212, 1999
- [4] F. Petitcolas, R. Anderson, "Evaluation of copyright marking systems", IEEE Multimedia

- Systems '99*, vol.1, pp.574-579, June 1999
- [5] F. Muller, "Distribution shape of 2-D DCT coefficients of natural images", *Electronics Letters*, Vol. 29, pp.1935-1936, Oct. 1993,
- [6] E. Lan, J. Goodman, A mathematical analysis of the DCT coefficient distributions for images, *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol.9, No.10, pp.1661-1666, October 2000
- [7] G. Langelaar, I. Setywan, R. Lagendijk, Watermarking digital image and video data, *IEEE Signal Processing Magazine*, pp.20-46 Sep. 2000
- [8] S. Comes, O. Bruyndonckx, B. Macq, "Image quality criterion based on the cancellation of the masked noise", *ICASSP-95*, Vol.4, pp.2635-2638
- [9] C. B. Lambrecht, O. Verscheure, "Perceptual quality measure using a spatio-temporal model of the human visual system", in *Proceedings of the SPIE*, Vol. 2668, pp. 450-461, 1996
- [10] S. Servetto, C. Podilchuk, K. Ramchandran, Capacity issues in digital image watermarking, *ICIP 98*, Vol. 1, pp.445449, 1998
- [11] M. Barni, F. Bartolini, A. De Rosa, A. Piva, Capacity of full frame DCT image watermarks, *IEEE Transactions on image processing*, Vol. 9, No. 8, pp.1450-1455, August 2000
- [12] W. Zhihui, X Liang, An evaluation method for watermarking techniques, *IEEE International Conference on Multimedia 2000*, Vol.1, pp.373-376
- [13] C. Podilchuk, W. Zeng, "Image-adaptive watermarking using visual models", *IEEE journal on selected areas in communications*, Vol.16, No.4, pp.525-539, May 1998
- [14] I. Cox, T. Shamoan, Secure spread spectrum watermarking for multimedia, *IEEE Transaction on Image Processing*, Vol.6, No.12, pp.1673-1687, December 1997
- [15] J. O'Raunaidh, T. Pun, Rotation, scale and translation invariant digital image watermarking, in *Proc. Int. Conf. Image Processing*, Vol.1, pp.552-555, 1997.
- [16] J. Hernandez, M. Amado, F. Perez-Gonzalez, DCT-domain watermarking technique for still images: Detector performance analysis and a new structure, *IEEE Trans. Image Processing*, Vol.9, pp.55-68, Jan. 2000
- [17] 김현환, 김용민, 김두영, 웨이브렛 변환과 다중가중치를 이용한 강인한 패턴 워터마킹, *한국통신학회지*, 제25권 제3B호, pp.557-564, 2000
- [18] 김현태, 김대진, 원치선, 주파수 영역에서의 재채기반 디지털 워터마킹, *대한전자공학회지*, 제37권 제5호, pp.9-20, 2000
- [19] W. Kim, C. Lee, W Lee, A Watermarking scheme for both spatial and frequency domain to extract the seal image without the original image, *ISSPA99*, pp.293-296, August, 1999
- [20] C. Lee, H. Oh, Y. Back, H. Lee, Adaptive digital image watermarking using variable size of blocks in frequency domain, *TENCON 99. Proceedings of the IEEE Region 10 Conference*, Vol.1, pp.702-705, 1999

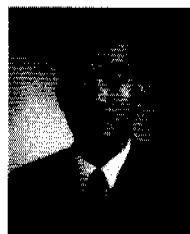
최 병 철(Byeong-cheol Choi) 정회원



1999년 2월 : 서울시립대학교
제어계측공학과(학사)
2001년 2월 : 서울시립대학교
전자전기공학부(석사)
2001년 1월~현재 :
한국전자통신연구원
(연구원)

<주관심 분야> 컴퓨터비전, 워터마킹, 시스템 보안

김 용 철(Yong-cheol Kim) 정회원



1981년 2월 : 서울대학교
전자공학과 졸업(학사)
1983년 2월 : KAIST 전기 및
전자공학과 졸업(석사)
1983년~1986년 :
금성전기연구소
무선통신부

1993년 5월 : University of Southern California 졸업
(Ph.D.)

1993년~1996년 : LG정밀연구소 전문팀장
1996년~현재 : 서울시립대학교 전자전기공학부 부교수
<주관심 분야> 컴퓨터비전, 이동통신 시스템, 워터마킹