

# DCT 기반 강인한 디지털 워터마킹

신용달\*, 장종국\*\*

\*영동대학교 정보통신공학부

\*\* 영동대학교 전자공학부

## Robust Digital Watermarking based on DCT

Yong-Dal Shin\*, Jong-Kook Jang\*\*

\* Dept. of Information & communication Eng., Youngdong University

\*\* Dept. of Electronic Eng., Youngdong University

### 요 약

본 논문에서는 DCT의 DC 성분에 워터마크를 삽입하여 강인성을 갖는 디지털 워터마킹 방법을 제안하였다. 제안한 방법에서는  $8 \times 8$  블록 DCT를 수행하였으며, 사용한 워터마크 신호는 평균 0, 분산 1 및 길이가 1000인 정규분포 랜덤시퀀스이다. 작은 값을 갖는 워터마크 신호와 질감 영상영역에서 DC성분에 워터마크 신호들을 삽입하였다. 제안한 방법의 컴퓨터 시뮬레이션 결과, 제안 방법의 강인성이 기존의 디지털 워터마킹 방법보다 우수한 방법임을 확인하였다.

### 1. 서론

최근 디지털 워터마킹 알고리즘들은 이산 여현 변환(Discrete Cosine Transform : DCT) 및 이산 웨이브릿 변환(Discrete Wavelet Transform: DWT)과 같은 주파수 영역의 방법들이 연구되고 있다 [1]-[4].

DWT를 이용한 디지털 워터마크에 관한 연구[1]-[2]에서, Podilchuk 등[1]은 인간시각의 JND를 이용한 워터마킹 알고리즘을 제안하였으며, Lumini 등[2]은 워터마크가 삽입되는 영상에 따라 다른 가중치를 갖는 워터마킹 알고리즘을 제시하였다.

한편, DCT를 이용한 디지털 워터마킹 방법[3]-[4]에서는 주로 DC를 제외한 AC 주파수 영역에 워터마크를 삽입하였다[3]. 그러나, Huang 등[4]은 DCT의 DC 성분에 워터마크를 삽입한 디지털 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 이 방법은 JPEG 압축방법에서 낮은 JPEG 품질(quality)과 다양한 영상처리를 행하였을 때 강인성이 떨어지는 단점이 있다. 따라서 DCT의 DC 성분에 워터마크를 삽입하더라도 낮은 JPEG quality와 다양한 영상처리를 행하였을 때 강인성이 우수한 디지털 워터마킹 알고리즘에 관한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 DCT의 DC 성분에 워터마크를 삽입하여 강인성을 갖는 디지털 워터마킹 방법을 제안하였

다. 제안한 방법에서는  $8 \times 8$  블록 DCT를 수행하였으며, 워터마크 신호는 평균 0, 분산 1, 길이가 1000인 정규분포 랜덤시퀀스이다. 워터마크 신호들 중에서 작은 값을 갖는 워터마크 신호들은 DCT의 DC 성분에 삽입하고, 나머지 워터마크 신호에 대해서는 라플라시안 에지 연산자를 이용하여 질감으로 판단된 영상 영역들에서 DCT의 DC 성분에 워터마크 신호를 삽입하였다. 제안한 방법의 성능을 확인하기 위해서 컴퓨터 시뮬레이션을 수행한 결과, 제안 방법이 기존의 워터마킹 방법보다 낮은 JPEG quality 및 스케일링(scaling), 디더링(dithering)과 같은 다양한 영상처리 공격에 대해서 견고성이 우수한 방법임을 확인할 수 있었다.

### 2. DCT를 이용한 디지털 워터마킹 방법

DCT를 이용한 기본적인 디지털 워터마킹 알고리즘은 그림 1과 같다. 이 그림에서 입력 영상  $I(x, y)$ 를  $8 \times 8$  블록으로 나누어 DCT를 수행하여 주파수 영역인  $I'(u, v)$ 를 만든다. 주파수 영역인  $I'(u, v)$ 에 워터마크  $W(k)$ 를 삽입한 후, 역변환 DCT (Inverse DCT)를 실행하여 워터마크가 삽입된 영상  $I_w(x, y)$ 을 얻는다.

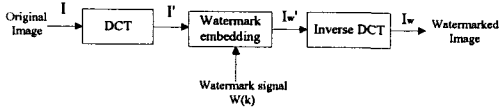


그림 1. DCT를 이용한 워터마킹 삽입 알고리즘

본 논문에서 사용한 디지털 워터마킹 알고리즘에서의 DCT 및 IDCT는 다음 식과 같다.

DCT는

$$I(u, v) = C(u)C(v) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} I(x, y) \cos\left[\frac{(2x+1)u\pi}{2N}\right] \cos\left[\frac{(2y+1)v\pi}{2N}\right] \quad (1)$$

$$C(u) = \sqrt{1/N} \quad \text{for } u=0 \quad (2)$$

$$C(u) = \sqrt{2/N} \quad \text{for otherwise} \quad (3)$$

여기서, N은 블록 DCT를 수행하기 위한 블록크기 N을 나타낸다.

Inverse DCT (IDCT)는

$$I(x, y) = C(u)C(v) \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} I(u, v) \cos\left[\frac{(2x+1)u\pi}{2N}\right] \cos\left[\frac{(2y+1)v\pi}{2N}\right] \quad (4)$$

이다.

### 3. 제안한 디지털 워터마킹 알고리즘

DCT를 이용한 디지털 워터마킹 알고리즘들은 워터마크된 영상의 화질 열화를 막기 위해 DC 계수를 제외한 AC 영역에 워터마크를 삽입하였다[3]. 그러나 Huang 등[4]은 DCT의 DC 성분에 모든 워터마크를 삽입하는 알고리즘을 제안하였다. 이 방법에서는 원 영상에 Robert 에지 연산자를 이용하여 강, 약의 질감 영역으로 구분하여, 각 질감영역에 서로 다른 워터마크 삽입강도  $\alpha$ 를 삽입하였다.

본 논문에서는 작은 값을 갖는 워터마크 신호와 질감 영상영역을 기반으로 한 강인한 디지털 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 제안한 방법에서는 우수한 강인성을 얻기 위해서 모든 워터마크 신호(watermarking signal:WS)들을 DCT의 DC 성분에 삽입하였다.

본 논문에서 사용한 워터마크 신호는 평균 0, 분산 1 및 길이가 1000인 정규분포 랜덤시퀀스를 사용하였으며, 아래와 같이 DCT의 DC 성분에 모든 워터마크 신호들을 삽입하였다.

1) 워터마크 신호 중에서 작은 값을 갖는 워터마크 신호들을 DCT의 DC 성분에 삽입한다.

① 워터마크 신호 중에서  $|WS| < th_1$ 를 만족하는 작은 값을 갖는 워터마크 신호를 선택한다.

② 입력영상을 8×8 블록 크기로 나누어서 DCT를 수행한다.

③ 위 ①에서 선택된 작은 워터마크 신호들을 DCT의 DC 성분에 삽입한다.

2) 강한(strong) 질감영상 블록의 DC 성분에 워터마크를 삽입한다.

① 입력영상을 에지 연산자(Edge operator:EO) 중에서 라플라시안 연산자[5]를 이용하여 에지를 구한다.

② 8×8 블록에 있는 에지 개수의 합이 큰 블록을 강한 질감영역으로 선택한다.

③ 입력영상을 8×8 블록으로 나누어서 DCT를 수행한다.

④ 위 ②에서 선택한 강한 질감영역들을 DCT의 DC 성분에 워터마크를 삽입한다.

제안한 워터마크 삽입 알고리즘의 흐름도는 그림 2와 같다. 이 그림에서 EO는 에지연산자(Edge Operator:EO), SEO는 블록에서 에지 연산자의 합(Sum of Edge Operator:SEO)을 나타낸다.

이 그림에서 워터마크 신호 WS 중에서  $|WS| < th_1$  경우에는 그 값이 매우 작아 DCT의 DC 성분에 워터마크로 삽입하더라도 화질에는 큰 영향을 미치지 않는다. 그러나  $|WS| > th_1$  경우에는 삽입강도가 커서 DCT의 DC 성분에 워터마크로 삽입하게 되면 DC 성분 값이 증가되어 워터마크 삽입된 영상은 블록화(block effect) 현상이 나타나서 화질이 매우 나쁘게 된다. 이런 경우에는 위 2)에서와 같이 라플라시안 연산자 기준으로 하는 강한 질감영역 블록을 선택해서 DC 성분에 워터마크 신호를 삽입하였다. 이와 같이 강한 질감 영역에 워터마크를 삽입하면 비가시성이 저하되지 않는다.

워터마크 신호를 추출(extract)하는 방법은 다음과 같다.

1. 워터마크를 삽입한 영상 및 원 영상의 DCT 계수 각각  $I_w', I_o$ 를 구한다.

2. 식 (5)를 이용하여 삽입한 워터마크  $X^*$ 를 검출한다.

$$X^* = \frac{I_w' - I_o}{aI_o} \quad (5)$$

스케일링, 디더링 및 JPEG quality [%]에 대한 유사도 NS를 표 1, 그림 4 및 5와 같다.

#### 4. 모의실험

모의실험에서 사용한 실험 영상은 그림 3과 같이 8비트, 512×512 화소크기를 갖는 LENA 및 GOLDHILL 영상데이터이다. 또한, 본 실험에서 사용한 워터마크 신호는 길이가 1000, 평균이 0, 분산이 1인 정규 분포를 갖는 랜덤 시퀀스이었다. 본 실험에서 사용한 삽입강도  $a$ 는 두 가지 하였다. 먼저, 작은 값을 갖는 워터마크 신호로 선택된 블록에서는 Cox 등[3]의 방법에서 사용한  $a = 0.1$ 을 사용하였으며, 강한 질감 영역에서의 삽입강도  $a$ 는 Huang 등[4]이 사용한 0.03을 이용하였다.

제한한 방법의 성능의 우수함을 평가하기 위하여 Huang, Podilchuk 및 Lumini 방법과 비교하였다. 사용한 문턱 값  $th_1=0.031$ ,  $th_2=16$ 을 사용하였다.

또한 비가시성에 대한 성능평가의 기준으로 PSNR (peak to peak signal to noise ratio)을 척도로 사용하였으며, 객관적인 견고성 비교를 위해서 식 (6)과 같이 정규화 된 유사도 (normalized similarity) NS를 사용하였다.

$$NS(X, X^*) = \left( \frac{X \cdot X^*}{\sqrt{X^* \cdot X^*}} / \sqrt{X \cdot X} \right) \times 100 \% \quad (6)$$

여기서,  $X$ 는 원래의 워터마크이고,  $X^*$ 는 검출된 워터마크이며,  $\langle \cdot \rangle$ 는 벡터의 내적을 나타낸다. 식 (6)에서는 워터마크를 삽입한 영상에서 추출한 워터마크 신호가 원래의 워터마크 신호와 동일할 경우 정규화 된 유사도 NS는 100%가 된다.

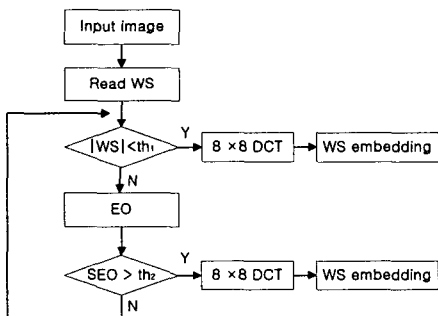
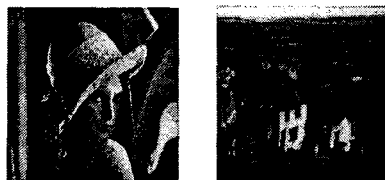


그림 2. 제안한 워터마크 삽입 알고리즘 흐름도

또한 각 방법에 대한 견고성을 평가하기 위해서 절단,



(a) (b)

그림 3. 실험 영상들 (a) LENA 및 (b) GOLDHILL

여기서 절단은 영상의 중앙을 기준으로 수평 및 수직 방향으로 각각 전체 영상 크기의 1/4에 해당하는 부분을 획득한 영상으로, 나머지 부분은 원 영상으로 구성을 하는 것을 나타낸다. 스케일링은 획득한 영상을 수평 및 수직 방향으로 각각 절반의 해상도를 갖도록 부 표본화 한 후, 다시 원래의 해상도로 만드는 것을 의미한다. 디더링은 다음과 같은 4×4 디더링 행렬  $D$ 를 사용하였다.

$$D = \begin{bmatrix} 176 & 112 & 160 & 96 \\ 48 & 240 & 32 & 224 \\ 114 & 80 & 192 & 128 \\ 16 & 208 & 64 & 256 \end{bmatrix}$$

표 1에서 Dithering, Scaling, Cropping의 공격에 대해서는 기존의 방법보다 우수함을 알 수 있다. 또한 각 영상에 대한 JPEG quality [%] 유사도의 결과는 그림 4 및 5와 같다.

이 그림에서 제안 방법은 기존의 방법들 보다 아주 낮은 JPEG quality에서 우수한 성능을 나타냄을 알 수 있다. 이와 같이 제안 방법에서 우수한 성능을 얻을 수 있는 이유는 작은 값인 워터마크 신호와 라플라시안 연산자를 이용하여 선택한 강한 에지 영역들에서 DCT의 DC 성분에 워터마크를 삽입함으로써 비록 낮은 JPEG quality 일지라도 삽입한 워터마크가 잘 보존되어 유사도가 높게 되었으며, 또한 작은 값을 갖는 워터마크 신호와 강한 에지 영역들을 DC 성분에 워터마크를 삽입하더라도 복원한 영상의 화질은 크게 열화 되지 않는다.

표 2는 제안한 방법과 기존의 방법에 대하여 비가시성에 대한 성능 평가이다. 이 표에서 제안방법은 기존의 Huang의 방법과는 거의 비슷하지만, Podilchuk 및 Lumini 방법보다는 PSNR이 높아 비가시성이 매우 우수함을 알 수 있다.

표 1. 다양한 공격에 대한 정규화 된 유사도 NS

Images	Attack	Proposed method	Huang method	Podilchuk method	Lumini method
GOLD HILL	Dithering	43.75 %	32.40 %	23.19 %	7.02 %
	Scaling	67.90	53.48	36.01	14.40
	Cropping	67.56	62.85	56.40	34.01
LENA	Dithering	34.71	26.65	22.12	2.20
	Scaling	54.64	41.57	34.99	6.01
	Cropping	70.01	67.93	67.78	19.30

표 2. 워터마크가 삽입된 영상에 대한 PSNR (No attack, NS=100 %)

Image	Method	Proposed method	Huang method	Podilchuk method	Lumini method
GOLDHILL		43.30 dB	44.23 dB	36.64 dB	34.97 dB
LENA		43.67	44.40	38.67	36.97

### 5. 결론

본 논문에서는 강인한 디지털 워터마킹을 유지하기 위해서 모든 워터마크 신호들을 DCT의 DC 성분에 삽입하는 디지털 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 제안한 논문에서는 8 × 8 블록 DCT를 수행하였으며, 사

연산자를 이용해서 질감으로 판단된 영상 영역들을 DCT의 DC 성분에 워터마크 신호를 삽입하였다. 제안한 방법의 성능을 확인하기 위해서 컴퓨터 시뮬레이션을 수행한 결과, 제안 방법이 기존의 워터마킹 방법인 Huang, Podilchuk 및 Lumini 방법보다 낮은 JPEG 품질, 스케일링, 디터링, 절단과 같은 다양한 영상처리 공격에 대해서 강인성이 우수한 방법임을 확인할 수 있었다.

GOLDHILL

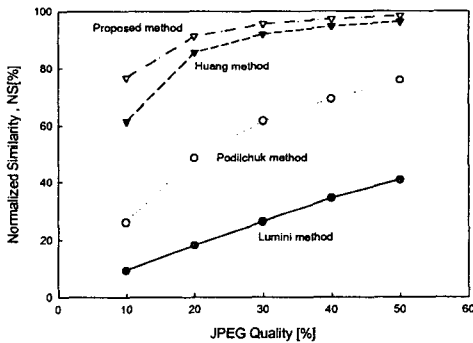


그림 4. GOLDHILL 영상에 대한 다양한 JPEG quality에 따른 정규화 된 유사도.

용한 워터마크 신호는 평균 0, 분산 1 및 길이가 1000인 정규분포 랜덤시퀀스이다.

강인한 워터마킹을 유지하기 위해서 다음과 같이 DCT의 DC 성분에 워터마크를 삽입하였다. 먼저, 작은 값을 갖는 워터마크 신호들은 DCT의 DC 성분에 삽입하고, 나머지 워터마크 신호들은 라플라시안 에지

LENA

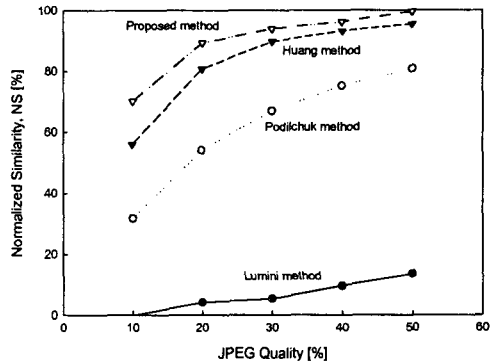


그림 5. LENA 영상에 대한 다양한 JPEG quality에 따른 정규화 된 유사도.

### [참고문헌]

- [1] C. I. Podilchuk and W. Zeng, "Image adaptive watermarking using visual models," IEEE Trans. on Selected Areas of Communications, vol. 16, no. 4, pp. 525~539, May 1998.
- [2] A. Lumini and D. Maio, "A wavelet-based image watermarking scheme," Proc. of Int. Conf. on Information Technology: Coding and Computing, pp. 122~127, 2000.
- [3] I. J. Cox and J. Kilian, T. Leighton, and T. Shamoan, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," IEEE Trans. on Image Processing, vol. 6, no. 12, pp. 1673~1687, 1997.
- [4] J. Huang, Y. Q. Shi, and Y. Shi, "Embedding image watermarks in DC components," IEEE Trans. on Circuit and System for Video Technology, vol. 10, no. 6, pp. 974~979, Sept. 2000.
- [5] 고성제, 김재원, *DIPSIM을 이용한 디지털 영상 처리*, 대영사, 2002.