

DCT 영역에서의 인간의 시각적 특성을 이용한 정지 영상 워터마킹 방법

정회원 권 오 형*,**, 박 래 홍**,***

Still Image Watermarking in the DCT Domain Using the Human Visual System

O-Hyung Kwon*,**, Rae-Hong Park**,*** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 DCT 평면에서 modulation transfer function (MTF)을 사용한 정지영상 워터마킹 방법을 제안하였다. 정지영상에 삽입된 워터마크의 가시성을 줄이기 위하여 인간의 시각적 특성을 나타내는 MTF를 사용하였다. 제안한 워터마킹 방법이 lowpass filtering 및 cropping 등의 공격에 강인한 특성을 나타내었다. 공간평면과 DCT 평면 사이의 에너지 상관관계를 이용하여 DCT 평면에서 삽입될 워터마크의 길이와 공간 평면에서 원하는 peak signal to noise ratio (PSNR)가 주어졌을 때 DCT 평면에서 워터마크 weighting factor를 구하는 식을 유도하였으며, 원하는 PSNR과 공간평면 및 DCT 평면에서 계산된 PSNR이 본 실험에서 사용한 7가지 영상에 대하여 최대 0.07dB 이내로 오차를 나타내었다.

Key Words : Watermark, DCT, Watermark weighting factor, Human visual system, Modulation transfer function

ABSTRACT

In this paper, we propose a digital watermarking method for still images, in which the human visual system (HVS) is used in the discrete cosine transform (DCT) domain. The modulation transfer function (MTF) of the HVS model is employed to increase the invisibility of the inserted watermark in images. The proposed watermarking method is shown to be robust to several common image processing techniques, including lowpass filtering and cropping. Also, using the energy relationship of the DCT, we derive the equation that directly computes the watermark weighting factor in the DCT domain for the specified peak signal to noise ratio (PSNR) of the still image and the length of watermark to be inserted. The difference between desired PSNR and PSNR in spatial domain is within 0.07dB for the 7 test images.

I. 서 론

1990년대 초반 world wide web의 활성화로 디지

털 네트워크를 통하여 누구나 다중 매체를 손쉽게 접할 수 있게 되었다. 따라서 이러한 디지털 다중 매체의 디지털 네트워크를 통한 서비스 제공자들의

※ 본 연구는 서강대학교 산업기술연구소에서 지원되었습니다.

* 한국전자통신연구원 디지털방송연구단 방송시스템연구그룹(ohkwon@etri.re.kr)

** 서강대학교 전자공학과 (rhpark@sogang.ac.kr),

*** 서강대학교 바이오 융합기술 협동과정

논문번호 : KICS2005-09-368, 접수일자 : 2005년 9월 12일

소유권을 보호하려는 연구가 활발히 진행 중이며, 이를 해결하려는 노력으로 디지털 워터마크 기법이 제안되었다^{[1][2][3][4][5][7]}.

디지털 워터마크 기법이 제안된 초기에는 정지 영상에 대하여 공간 영역에서의 워터마크 기법이 제안되었는데, 이 방법은 소유권이 없는 공격자로부터 쉽게 삽입된 워터마크가 제거될 수 있다는 단점을 나타내고 있다^[4]. 따라서 최근에 대부분의 워터마크 기법들은 공간 영역 방법보다 월등한 특성을 나타내는 주파수 영역에서 워터마크 삽입 방법들이 제안되고 있다^{[1][2][3][4][7]}. 삽입된 워터마크의 가시성을 어렵게 하기 위하여 인간의 시각적 특성을 이용한 방법이 Piva 등에 의하여 제안되었는데, 이 방법은 워터마크가 삽입된 DCT 계수를 inverse DCT (IDCT) 를 취한 후 공간 영역에서 인간의 시각적 특성을 이용한 방법이다^[5]. 하지만 이 방법은 인간의 시각적 특성을 공간 영역에서 적용했기 때문에 삽입된 워터마크의 정보가 손실되어 검출 값이 감소하는 단점을 나타낸다. 반면에 본 논문에서 제안된 방법은 워터마크의 삽입과 인간의 시각적 특성을 이용한 방법을 DCT 영역에서 적용함으로써 이러한 단점을 보완하였다.

또한, 디지털 정지영상의 저작권을 보호하기 위한 많은 방법을 적용하여 실용화할 때 삽입될 워터마크의 길이나 weighting factor를 실험적으로 정해야 하는 문제가 발생한다. 본 논문에서는 이 문제를 해결하기 위해서 공간 평면에서의 주어진 peak signal to noise ratio(PSNR) 값을 이용하여 DCT 평면에서 watermark weighting factor값을 계산하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법을 이용함으로써 IDCT를 하지 않고 공간 평면에서의 주어진 PSNR 값과 워터마크의 길이를 이용하여 watermark weighting factor를 구할 수 있다. 제안된 방법은 워터마크를 다른 변환 (DWT: discrete wavelet transform) 평면 등에 삽입할 경우에도 확장 적용이 가능하다.

본 논문에서는 gray level 영상에 적용하기 위한 인간의 시각적 특성을 이용한 DCT 영역에서의 워터마크 방법을 제안하였다. 2장에서는 weighting factor 값을 구하는 식을 설명하였고, 3장에서는 제안된 방법의 워터마크 삽입 및 검출 방법을 기술하였으며, 4장에서는 실험 결과를 나타내었고, 5장에서는 결론 및 추후 연구 과제를 언급하였다.

II. Weighting factor의 계산

DCT 평면에서의 워터마크 삽입 식은

$$F_w(u, v) = F(u, v)(1 + \alpha w(u, v)) \quad (1)$$

을 사용하였다^[1]. 여기서 상수 α 및 $w(u, v)$ 는 각각 DCT 평면의 u, v 주파수에서의 weighting factor 및 삽입될 워터마크 값이고 $F(u, v)$ 는 DCT 평면에서의 DCT 계수 값이다. 따라서 식 (1)은

$$F_w(u, v) = F(u, v) + \alpha w(u, v)F(u, v) \quad (2)$$

로 나타내지며, $w(u, v)$ 대신에 $-w(u, v)$ 로 삽입하여 얻는 영상의 DCT 평면에서의 계수 $F'_w(u, v)$ 는

$$F'_w(u, v) = F(u, v) - \alpha w(u, v)F(u, v) \quad (3)$$

로 나타낼 수 있다. 따라서 DCT 평면에서 $w(u, v)$ 및 $-w(u, v)$ 로 워터마크를 삽입한 경우의 공간 평면에서의 에너지는 각각

$$E_w = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} f^2(i, j) + 2 \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} f(i, j)d(i, j) + \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} d^2(i, j) \quad (4)$$

$$E'_w = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} f^2(i, j) + 2 \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} f(i, j)d(i, j) + \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} d^2(i, j) \quad (5)$$

로 표현할 수 있다. 식 (4)와 식 (5)를 정리하면

$$\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} d^2(i, j) = \frac{1}{2}(E_w + E'_w) - E \quad (6)$$

로 나타내진다. 한편, 또한 DCT 특성 중 에너지 관 계식에 의해

$$E_w = \frac{1}{4N^2} \left\{ \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} F(u, v)^2 - \left[\frac{3}{4} F^2(0,0) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N-1} F_w^2(0, v) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N-1} F_w^2(u, 0) \right] \right\} \quad (7)$$

로 쓸 수 있으며, S 및 E_w 를 각각

$$S = \frac{3}{4} F_w(0,0) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N-1} F_w(0, v) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N-1} F_w(u, 0) \quad (8)$$

$$E_w = \frac{1}{4N^2} \{ \widehat{E}_w - S \} \quad (9)$$

라 정의하면 위 에너지 식은

$$E_w = \frac{1}{4N^2} \{ \widehat{E}_w - S \} \quad (10)$$

$$E = \frac{1}{4N^2} \{ \widehat{E} - S_0 \} \quad (11)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서 S' 과 S_0 는 각각

$$S' = \frac{3}{4} F_{w(0,0)}^2 + \frac{1}{2} \sum_{v=1}^{N-1} F_{w(0,v)}^2 + \frac{1}{2} \sum_{u=1}^{N-1} F_{w(u,0)}^2 \quad (12)$$

$$S_0 = \frac{3}{4} F^2(0,0) + \frac{1}{2} \sum_{v=1}^{N-1} F^2(0,v) + \frac{1}{2} \sum_{u=1}^{N-1} F^2(u,0) \quad (13)$$

이다. 따라서 식 (6)은

$$\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} d^2(i,j) = \frac{1}{4N^2} \{ (\widehat{E}_w + \widehat{E}_w - S) S - (\widehat{E} - S_0) \} \quad (14)$$

로 표현된다. 한편 공간 평면에서의 PSNR은

$$PSNR = 10 \log \left(\frac{255^2 N^2}{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} (f_w(i,j) - f(i,j))^2} \right) = 10 \log \left(\frac{255^2 N^2}{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} d^2(i,j)} \right) \quad (15)$$

이므로, 식 (15)에 식 (14)를 대입하면

$$PSNR = 10 \log \left\{ \frac{255^2 N^2}{\frac{1}{4N^2} \left(\frac{1}{2} (\widehat{E}_w + \widehat{E}_w - S) S - (\widehat{E} - S_0) \right)} \right\} \quad (16)$$

을 얻는다. 따라서 식 (16)을 이용하면 공간평면에서 주어진 PSNR과 상수 α 에 대하여 IDCT를 계산하여 값을 비교하지 않고 직접 DCT 평면에서 삽입될 워터마크 weighting factor를 계산할 수 있다.

III. 제안한 워터마킹 방법

본 절에서 제안된 워터마크 삽입 방법에 관한 기본 개념은 DCT 영역에서 워터마크를 삽입하는 것으로, HVS(Human Visual System)을 이용하여 워터마크 계수가 삽입될 시 삽입 강도를 인간의 시각적 특성 함수에 따라 강도를 정하였다. Cox 등⁴⁾이 제안한 방법과 같이 워터마크 $W = [w_1, w_2, \dots, w_M]$ 는 길이가 M 이고, 각 w_k 는 평균값이 0이고 분산이 1인 pseudo-random number이다.

3.1 Modulation Transfer Function

인간의 시각적 특성이 isotropic하다는 가정 하에서 Chitprasert와 Rao는 비선형 modulation transfer function으로 근사화하여

$$H(f) = a(b + cf) \exp(-cf)^d \quad (17)$$

로 나타내었다⁵⁾. 여기서 a, b, c 및 d 는 상수이다. 또한 식 (17)에서 주파수 변수 f 는 cycles/degree의 단위를 갖는데 이는

$$f(\text{cycles/degree}) = f_n(\text{cycles/pel}) f_s(\text{pels/degree}) \quad (18)$$

로 정규화된 공간주파수 f_n 으로 변환되어야 하며 단위는 cycles/sample 혹은 cycles/pixel이며 이때 변환 요소 f_s 가 도입된다. 여기서 f_n 은 이차원 형태의 대응되는 주파수를 나타내며

$$f_n = \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{2N}, \quad 0 \leq u, v \leq N-1 \quad (19)$$

로 표현되며, 따라서 식 (17)은 이차원 형태로

$$H(u, v) = a \left(b + c \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{2N} f_s \right) \exp \left(-c \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{2N} f_s \right)^d \quad (20)$$

와 같이 표현된다.

3.2 워터마크 삽입 과정

제안된 워터마크 삽입 방법의 첫 단계는 원영상 $I(x, y)$ 를 DCT를 이용하여 변환한다. 두 번째 단계에서는 변환된 2차원 DCT 계수를 크기 순으로 분류하여 DC 계수를 제외한 M 개의 계수를 크기 순으로 위치를 선정한다. 세 번째 단계에서는 두 번째 단계에서 선정된 위치에

$$I'_{wk} = I'_k (1 + \beta w_k) \quad (21)$$

$$\beta_k = \alpha H(u, v) \quad (22)$$

를 이용하여 워터마크를 삽입함으로써 원영상 I 로부터 워터마크가 삽입된 영상 I_w 를 얻는다. 여기서 I'_k 와 I'_{wk} 는 두 번째 단계에서 선택된 k 번째 원영상과 워터마크가 삽입된 영상의 주파수 성분을 나타낸다. 이 단계에서 인간의 시각적 특성을 이용하여 워터마크 W 를 삽입함으로써 I' 을 변경시키는 정도를 조절하는 파라미터를 도입하였다. 여기서 $H(u, v)$ 는 식 (20)을 사용하였으며, 워터마크 삽입 과정의 마지막 단계는 세 번째 단계에서 얻어진 DCT 계수를 IDCT를 취함으로써 워터마크가 삽입된 영상을 얻는 것이며, 이를 그림 1에 나타내었다.

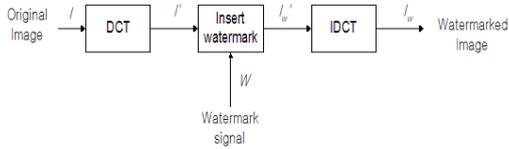


그림 1. DCT 평면에서의 워터마크 삽입 블록다이어그램
Figure 1. Watermark insertion blockdiagram in the DCT domain

3.3 워터마크 검출 과정

워터마크 검출과정을 그림 2에 나타내었으며 첫 번째 단계로 원영상과 워터마크가 삽입된 영상을 각각 DCT 평면으로 변환한다.

워터마크가 삽입된 영상으로부터 구해진 DCT 계수들로부터 DC 값을 제외한 M개의 큰 계수의 위치 정보를 구한 후, 원영상의 DCT 계수와 워터마크가 삽입된 영상의 DCT 계수로부터 삽입된 워터마크 w_k 를 식 (21)과 식 (22)로부터 추출한다.

검출과정의 마지막 단계는 원래의 워터마크와 추출된 워터마크 사이의 유사성을 측정한다. 이때 사용된 유사 함수 D는 Cox [1] 등이 제안한 .

$$D = \frac{W'_{cw} * W}{\sqrt{W'_{cw} * W'_{cw}} \sqrt{W * W}} \quad (23)$$

을 사용하였으며, *는 inner product이고 W'_{cw} 와 W는 각각 추출된 워터마크와 삽입된 워터마크를 나타낸다.

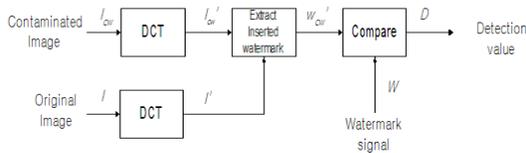
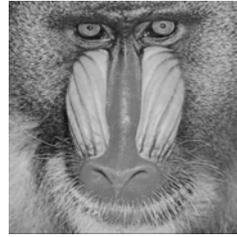


그림 2. 워터마크 검출 블록다이어그램
Figure 2. Watermark detection blockdiagram

IV. 실험 결과 및 토의

4.1 워터마크 weighting factor 계산 실험

본 실험에서는 주어진 PSNR과 적절한 워터마크의 길이를 입력으로 값을 IDCT를 수행하지 않고 DCT 평면에서 구하는 방법을 제안하였다. 본 방법의 성능을 실험하기 위하여 512x512크기의 8bit의 gray level을 갖는 Baboon, Boat, Bridge, Couple, Lena, Man 및 Pepper 영상을 사용하였고 이들 영상을 그림 3에 나타내었다.



a) Baboon 영상
a) Baboon image



b) Boat 영상
b) Boat image



c) Bridge 영상
c) Bridge image



d) Couple 영상
d) Couple image



e) Lena 영상
e) Lena image



f) Man 영상
f) Man image



g) Pepper 영상
g) Pepper image

그림 3. 실험 영상.
Figure 3. Test images.

Weighting factor를 구하기 위하여 원하는 PSNR을 30dB에서 50dB까지 증가시키는 동시에 워터마크 길이를 1000부터 8000까지 1000씩 증가시키면서 7개의 실험 영상에 대하여 적용하였다.

먼저 공간평면에서 워터마크를 삽입하였을 경우의 원하는 PSNR값과 워터마크 길이를 입력하고 실험에 이용될 정지영상을 입력한다. 입력된 정지영상에 대하여 DCT를 실행하고 식 (2)와 (3)을 이용하

여 워터마크를 삽입한다. 이후 식 (16)에 따라 PSNR 값을 DCT 평면에서 구하고 공간평면에서 원하는 PSNR값과 비교하여 DCT 평면에서 구한 PSNR값이 크면 값을 0.001증가시키고 이 과정을 반복한다. 만일 공간평면의 PSNR값이 DCT 평면에서 계산된 PSNR보다 크면 이때의 weighting factor를 저장하고 프로그램을 종료한다.

표 1은 Baboon 영상에 대하여 주어진 PSNR이 38dB이고 워터마크 길이를 변화시켰을 경우의 구해진 값과 DCT 평면에서의 PSNR과 IDCT하였을 경우의 공간평면에서의 PSNR을 나타내었다. 이 경우 계산된 weighing factor 값이 정확히 구해짐을 관찰하였고, 원하는 PSNR과 공간평면 및 DCT 평면에서 계산된 PSNR이 본 실험에서 사용한 7가지 영상에 대하여 최대 0.07dB 이내로 오차를 나타내었다. 이 오차가 워터마크 길이가 증가함에 따라 커지는 이유는 주어진 워터마크의 길이에 대하여 값이 0.001씩 증가하면서 계산되기 때문이며, α 값의 증가 량을 줄이는 경우 주어진 PSNR에 근접되도록 값을 구할 수 있다. 또한, 표 2는 Baboon 실험 영상에 대하여 주어진 PSNR을 30dB부터 50dB까지 2dB씩 증가시키고 워터마크 길이는 1000부터 8000 까지 1000씩 증가시키면서 구한 weighting factor 값을 나타내었고 이를 그림 4에 그래프로 표시하였으며, 주어진 PSNR에 대하여 워터마크 길이가 증가함에 따라 값이 크게 변하지 않는 것을 알 수 있다. 그림 5에서 알 수 있듯이 주어진 영상에 대하여 PSNR이 증가함에 따라 α 값이 주어진 영상의 특성에 따라 수렴함을 알 수 있다. 이때 DCT 평면에서 계산된 PSNR과 IDCT한 후의 공간평면에서 계산된 PSNR과의 약간의 오차가 발생하는 것은 IDCT

표 1. 주어진 워터마크 길이에 대한 weighting factor 계산 결과(PSNR =38dB, Baboon영상).
Tabel 1. Calculated weighting factor as a function of the length of the watermarks(PSNR = 38dB, Lena image).

Length of watermark	PSNR(dB)					
	30	34	38	42	46	50
1000	0.1665	0.1051	0.0663	0.0419	0.0264	0.0167
2000	0.1638	0.1034	0.0652	0.0412	0.0260	0.0164
3000	0.1627	0.1027	0.0648	0.0409	0.0258	0.0163
4000	0.1620	0.1022	0.0645	0.0407	0.0257	0.0162
5000	0.1615	0.1019	0.0643	0.0406	0.0256	0.0162
6000	0.1611	0.1017	0.0642	0.0405	0.0256	0.0162
7000	0.1608	0.1015	0.0641	0.0404	0.0255	0.0161
8000	0.1606	0.1013	0.0640	0.0404	0.0255	0.0161

표 2. 다양한 PSNR값에 대한 weighting factor 계산 결과(Baboon영상).
Table 2. Calculated weighting factor as a function of the length of the watermarks for various specified PSNR values(Lena image).

Length of watermarks	α	PSNR(dB)	
		DCT domain	Spatial domain
1000	0.0663	37.993802	37.962288
2000	0.0652	37.999243	37.963239
3000	0.0648	37.991722	37.956588
4000	0.0645	37.994710	37.960181
5000	0.0643	37.994309	37.960632
6000	0.0642	37.988675	37.955163
7000	0.0641	37.986441	37.952224
8000	0.0640	37.988185	37.951369

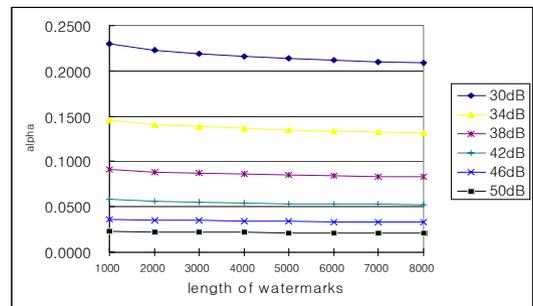


그림 4. 워터마크 길이에 대한 weighting factor 변화(Baboon 영상).

Figure 4. Calculated weighting factors as a function of the length of the watermarks (Baboon image).

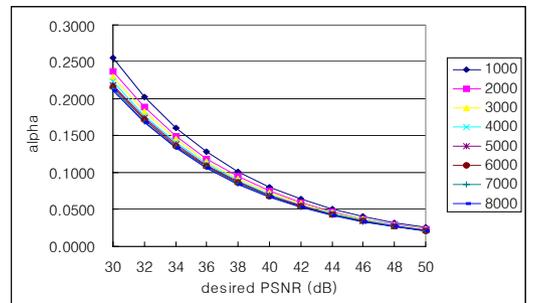


그림 5. 원하는 PSNR에 대한 계산된 weighting factor (Baboon 영상).

Figure 5. Calculated weighting factors as a function of the desired PSNR(Baboon image).

시 공간 평면에서 한 화소 당 표현되는 bit수가 8 비트로 제한되어 발생하는 오차로 판단된다.

4.2 제안한 워터마킹 실험 결과

제안된 방법의 성능을 실험하기 위하여 MTF의 4개 파라메타는 $a = 2.6$, $b = 0.192$, $c = 0.114$, 및

$d = 1.1$ 로 하였다. 또한 f_s 는 64 pel/degree로 설정하였으며, 워터마크를 얻기 위한 random number의 seed number를 100으로 하였다. 제안한 방법의 성능을 비교하기 위하여 Cox 등이 제안한 방법과 비교 실험을 하였으며, 제안한 방법의 강인성을 실험하기 위하여 워터마크가 삽입된 영상에 대하여 다양한 공격 기법을 적용하였다.

4.2.1 No attack

이 실험은 워터마크가 삽입된 영상에 대하여 공격을 하지 않은 경우에 대하여 PSNR과 워터마크 검출 결과를 살펴보기 위한 실험으로, 모든 실험 영상에 대하여 Cox등이 제안한 방법과 본 논문에서 제안한 방법의 검출 결과는 대등하게 나타났으나, 워터마크가 삽입된 영상의 화질에 대한 주관적 평가는 제안한 방법의 경우가 개선됨을 알 수 있었다.

워터마크 길이 M 이 2000이고, 주어진 PSNR이 30dB인 경우 워터마크를 삽입한 Bridge영상의 검출 결과를 그림 6에 나타냈으며 삽입된 워터마크가 정확하게 검출됨을 확인하였다. 그림 7은 Bridge 영상에 대하여 원영상과 워터마크가 삽입된 영상을 나타내었으며, 실험에 사용된 7개의 영상에 대하여 워터마크 삽입 후 워터마크 검출 값을 30dB에서 50dB까지 변화시키며 관찰하였고, 이때 워터마크 검출 값이 매우 우수하게 나타남을 알 수 있었다.

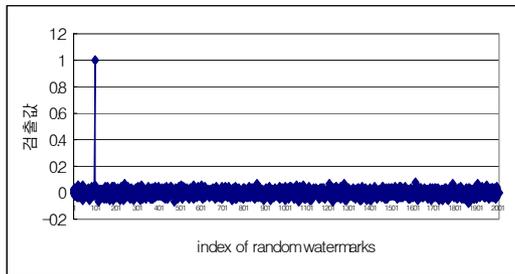


그림 6. 워터마크 검출결과 (no attack, Bridge 영상).
Figure 6. Watermark detection results (no attack, Bridge image).



a) Bridge image b) 30dB

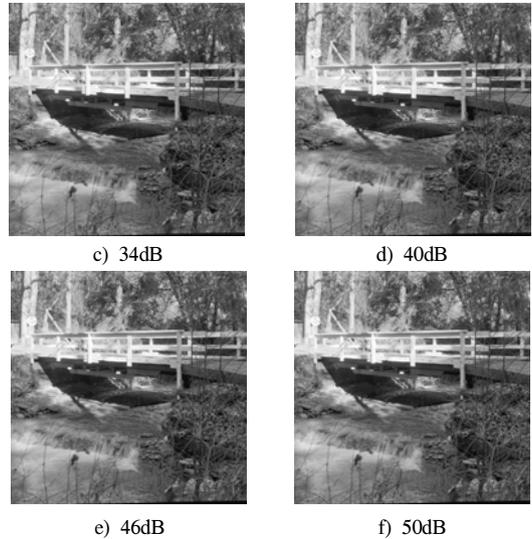
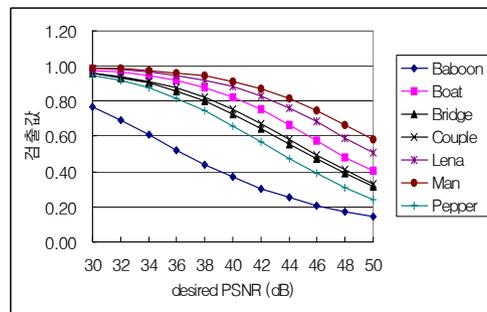


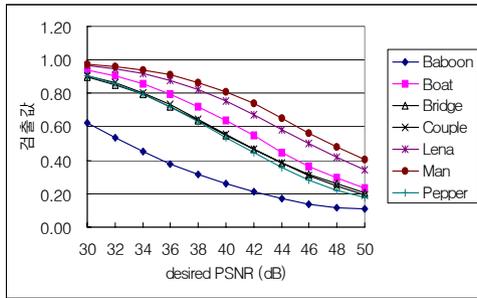
그림 7. Bridge 원영상 및 워터마크 삽입 후의 영상.
Figure 7. Bridge image and watermarked bridge image.

4.2.2 Lowpass Filtering

본 실험을 위해 3x3 lowpass filter를 사용하였으며 lowpass filter후의 영상의 화질이 열화 되었음에도 불구하고 그림 8의 결과에서 알 수 있듯이 만족할만한 결과를 얻을 수 있었다. 이 실험에서도 제안한 방법이 Cox 등이 제안한 방법보다 검출 값이 다소 작은 것은 식 (22)를 이용하여 고주파 성분에서의 weighting factor값이 상대적으로 커서 lowpass filtering 공격에 상대적으로 작은 검출 값을 나타낸다. 또한 그림 8에서 알 수 있듯이 주어진 PSNR값이 커짐에 따라 워터마크 검출값이 감소하는 것을 확인하였으며, 실험영상이 고주파 성분을 상대적으로 많이 갖는 경우 그렇지 않은 영상과 비교하여 lowpass filtering 공격에 작은 워터마크 검출값을 나타냄을 알 수 있다.



(a) Cox 등이 제안한 방법
(a) Cox's method



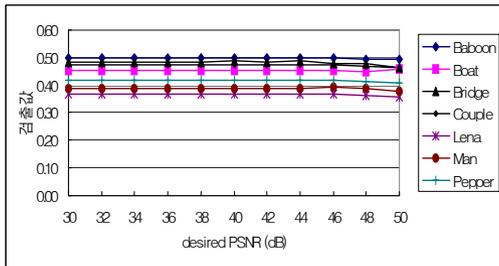
(b) 제안한 방법
(b) proposed method

그림 8. 워터마크 검출 결과 (Lowpass filtering).
Figure 8. Watermark detection results (Lowpass filtering).

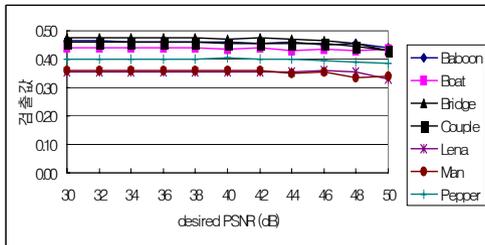
4.2.3 Cropping

이 실험은 워터마크가 삽입된 영상의 일부를 도용했을 시의 워터마크 검출 성능을 알아보기 위한 것으로, 원 영상의 1/4크기를 갖는 영상을 중심부에서 취했다. 검출과정에서는 3/4에 해당하는 나머지 부분을 원 영상으로 채운 후 워터마크 검출을 하였고, 그 결과를 그림 9에 나타냈다.

이 실험의 경우 Cox 등이 제안한 방법과 유사한 워터마크 검출 결과를 얻을 수 있었고 cropping의 경우 검출결과는 영상의 어느 부분을 취하는가에 검출 결과가 좌우됨을 알 수 있다.



(a) Cox 등이 제안한 방법
(a) Cox's method



(b) 제안한 방법
(b) Proposed method

그림 9. 워터마크 검출 결과 (Cropping).
Figure 9. Watermark detection results (Cropping).

V. 결론

디지털 정지영상의 저작권을 보호하기 위한 많은 방법을 적용하여 실용화할 때 삽입될 워터마크의 길이나 weighting factor를 실험적으로 정해야 한다. 본 논문에서는 정지 영상에서 원하는 PSNR 값이 주어졌을 때 DCT 영역에서 삽입될 워터마크의 길이 혹은 weighting factor를 계산하는 수식을 유도하였고 이를 실험을 통하여 확인하였다. 실험을 통해 원하는 PSNR과 워터마크 길이가 주어졌을 때 weighting factor가 구해짐을 실험을 통해 확인할 수 있었으며, 원하는 PSNR과 공간평면 및 DCT 평면에서 계산된 PSNR이 본 실험에서 사용한 7가지 영상에 대하여 최대 0.07dB 이내로 오차를 나타내었다. 또한 제안한 방법은 wavelet 평면에서 워터마크를 삽입하는 경우 등 DCT 평면이 아닌 경우에도 확장 적용이 가능하며, 워터마크 삽입을 자동화하는데 사용될 수 있다.

인간의 시각적 특성을 이용하기 위해서 비선형 MTF로 근사화한 식을 DCT 평면에서 적용한 방법에서는 공격을 하지 않은 경우에 대하여 PSNR과 워터마크 검출 결과를 살펴보기 위한 실험의 경우, Cox 등이 제안한 방법과 유사한 검출 성능을 나타냈으며, 워터마크가 삽입된 영상의 화질에 대한 주관적 평가도 훨씬 개선됨을 유추할 수 있다. 이는 인간의 시각 특성에 의해 민감한 부분의 주파수 성분에는 상대적으로 약하게 워터마크를 삽입하고 둔감한 부분의 주파수 성분에는 상대적으로 강하게 워터마크를 삽입함으로써 나타나는 효과로 판단할 수 있다.

추후 연구 과제로는 자동화된 워터마크 삽입 및 추출을 위하여 공간평면에서 주어진 PSNR값과 삽입될 워터마크 길이에 대하여 값을 구하는 방법을 wavelet 평면 등 다른 변환 평면에 적용하는 방법과 동영상 및 컬러 영상에 적용 가능한 방법을 연구하는 데 있다.

참고 문헌

[1] Matt L. Miller, Gwenael J. Doerr, and Ingmar J. Cox, "Applying informed coding and embedding to design a robust high-capacity watermark," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 13, no. 2, pp. 792-807, Jun. 2004.

- [2] Chuhong Fei, Deepa Kundur, and Raymong H. Kwong, "Analysis and design of watermarking algorithms for improved resistance to compression," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 13, no. 2, pp. 126-144, Feb. 2004.
- [3] C. D. Vleeschouwer, J. Delaigle, and B. Macq, "Invisibility and application functionalities in perceptual watermarking An overview," *Proc. IEEE*, vol. 90, pp. 64-77, Jan. 2002.
- [4] I. J. Cox, J. Kilian, F. T. Leighton, and T. Shanon, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 6, pp. 1673-1687, Dec. 1997.
- [5] A. Piva, M. Barni, F. Bartolini, and V. Cappellini, "DCT-based watermark recovering without resorting to the uncorrupted original images," in *Proc. Int. Conf. Image Processing 97*, vol. I, pp. 520-523, Santa Barbara, CA, USA, Oct. 1997.
- [6] B. Chitprasert and K. R. Rao, "Human visual weighted progressive image transmission," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 38, pp. 1040-1044, July 1990.
- [7] 유저연, 유지상, 김동욱, 김대경, "특이치 분해를 이용한 비가시적 워터마크 기법," *한국통신학회논문지*, 제 28권 11C호, pp. 1118-1122, 2003년 11월.

권 오 형 (O-Hyung Kwon)

정회원



1981년 2월 서강대학교 전자공학과 학사

1983년 2월 서강대학교 대학원 전자공학 석사

2004년 8월 서강대학교 대학원 전자공학과 박사

1983년 3월~현재 한국전자통신

연구원 디지털CATV시스템연구팀장

<관심분야> 디지털방송, 영상처리

박 래 홍 (Rae-Hong Park)

정회원



1976년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업

1979년 8월 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1981년 미국 Stanford University 전기공학과(공학석사)

1984년 미국 Stanford University 전기공학과(공학박사)

1984년 현재 서강대학교 전자공학과 교수

<관심분야> 컴퓨터 비전, 영상처리, 패턴인식