

論文99-36S-12-4

웨이블릿 영역에서의 디지털 영상 워터마킹 방법

(Watermarking Method for Digital Images in the Wavelet Domain)

金永植*, 權五亨*, 朴來弘*

(Young-Sik Kim, O-Hyung Kwon and Rae-Hong Park)

요약

본 논문에서는 인간의 시각 시스템 (human visual system)을 이용한 웨이블릿 기반 다중해상도 워터마킹 방법을 제안하였다. 각 밴드의 에너지에 비례하여 각각 다른 길이의 워터마크가 삽입되었다. 여러 실험영상을 통한 실험결과에 의하면 제안한 3단계 웨이블릿 기반 워터마크 방법이 joint photographic experts group (JPEG) 압축, smoothing, cropping, collusion, 다중 워터마크 등의 다양한 공격에 강건한 것으로 나타났다.

Abstract

A wavelet based multiresolution watermarking method using the human visual system (HVS) is proposed, in which a different number of watermarks, in proportion to the energy contained in each band, are embedded into each band. Experiments with various test images show that the proposed three level wavelet based method is robust to various attacks such as joint photographic experts group (JPEG) compression, smoothing, cropping, collusion, multiple watermarking, and so on.

I. 서론

네트워크 멀티미디어 시스템의 빠른 발전으로 인하여 사람들은 쉽게 디지털 데이터를 복사할 수 있게 되었다. 따라서 소유권 보호를 위해 디지털 데이터에 저작권을 확인시켜주는 신호를 삽입하는 것이 중요한 문제로 대두되고 있다. 디지털 워터마킹 기법은 최근 수년 동안 디지털 멀티미디어 데이터에 대해 올바른 저작권을 확인시켜 주는 저작권 보호 방법으로 제안되어 왔다.

이러한 도구로서 멀티미디어 데이터에 삽입된 워터마크의 조건으로는 지워지지 말아야 하며, 시각적으로 보이지 않아야 하며, 통계적으로 검출되지 말아야 하며 손실 데이터 압축과 일반적 영상처리 연산에 살아남을 수 있어야 하는 점등이 있다. 그리고 검출 시에는 명확하게 원 소유주를 찾아낼 수 있어야 한다.

최근 수년동안 다양한 워터마크 기법들이 제안되어 왔다. 워터마크의 실현방법은 크게 두 가지로 나뉘어진다. 하나는 공간영역에서의 처리방법이고 다른 하나는 주파수 영역에서의 처리방법이다. 초기에는 공간영역에서의 처리가 많이 연구되었으나 공간영역에서의 워터마크 삽입방법은 주로 least significant bit (LSB)을 조작하는 것이기 때문에 주파수 영역의 방법보다 각종 신호처리에 의해 워터마크가 쉽게 없어지는 단점이 생기고, 따라서 현재는 그런 단점들을 잘 극복할 수 있는 방법으로 주파수 영역에서의 워터마크 삽입 방법

* 正會員, 西江大學校 電子工學科

(Department of Electronic Engineering, Sogang University)

※ 이 논문은 1999년도 한국전자통신 연구소의 국내위탁연구비의 지원을 받아 연구되었음.

接受日字:1999年4月26日, 수정완료일:1999年10月20日

이 많이 쓰이고 있다. 주파수 영역에서의 워터마킹 방법중 가장 기본적인 논문의 하나로 알려져 있는 Cox 등의 논문^{[1][2]}에서는 영상전체를 discrete cosine transform (DCT)하여 시각적으로 중요한 부분을 결정한다. 즉 그 계수를 크기순으로 나열한 뒤 1000개의 계수에 대해서 난수발생기를 통해 워터마크를 삽입한다. 그후 역DCT를 취하면 삽입과정이 끝나게 된다. 워터마크의 검출과정은 삽입과정의 역순이다. 즉 받은 영상과 원영상을 DCT를 취해서 그 차이를 뽑아내고 그것과 원래의 워터마크의 상관도를 구함으로써 워터마크의 삽입여부를 알아 낼 수 있다. 한편 Piva 등^[3]은 삽입된 워터마크의 가시성을 어렵게 하기 위해서 인간의 시각적 특성을 이용한 방법을 제안하였다. 이 방법은 워터마크가 삽입된 DCT 계수를 IDCT한 후 공간 영역에서 인간의 시각적 특성을 이용한 방법이다. 여기서 시각적 특성이라 함은 눈에 비교적 둔감한 에지쪽에 워터마크를 삽입하는 방법을 말한다. 하지만 이 방법은 인간의 시각적 특성을 공간 영역에서 이용하기 때문에 삽입된 워터마크 정보가 손실되어 검출값이 감소하는 단점을 나타낸다.

본 논문에서는 디지털 영상을 위한 다중해상도 워터마킹 방법을 이산 웨이블릿 변환 (DWT)^{[4][5]}을 기반으로 제안하였다. 시각적 효과를 높여주기 위해 DWT 대역에 modulation transfer function (MTF)의 특성에 따른 다른 가중치^[6]를 사용하였다. 제안한 방법에서는 DWT 평면상의 각 주파수 밴드에서 뽑아낸 큰 계수에 의사 랜덤 잡음을 삽입시켰다. 각 밴드별로 삽입된 워터마크의 수는 각 밴드별 에너지에 비례하도록 정하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 제안한 워터마크 삽입과 검출 방법을 나타내었고, III장에서는 이의 실험 결과와 토의를 나타내었다. 마지막 IV장에서는 결론을 내렸다.

II. 제안한 워터마크 방법

본 장은 제안한 워터마크 방법의 DWT 영역에서의 삽입과 검출방법을 자세히 알아보도록 한다.

1. 워터마크 삽입

전체적인 워터마크 삽입과정을 그림 1에 나타내었다. 삽입과정을 보면 처음에 이미지를 그림 2와 같은 3-레벨 피라미드 구조를 써서 10개의 대역으로 분해한다.

여기서 $L(H)$ 는 저역통과(고역통과) 대역을 의미하며, 숫자 첨자는 분해 레벨을 나타낸다. 각 대역의 에너지 E 는

$$E = \frac{1}{NM} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N y^2(m, n) \quad (1)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서 MN 은 대역 크기를 의미하고, y 는 영상 Y 의 DWT 계수를 나타낸다.

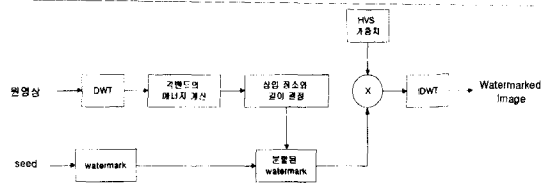


그림 1. 제안한 워터마크 삽입 블록다이아그램

Fig. 1. Blockdiagram of the proposed DWT based watermark insertion process.

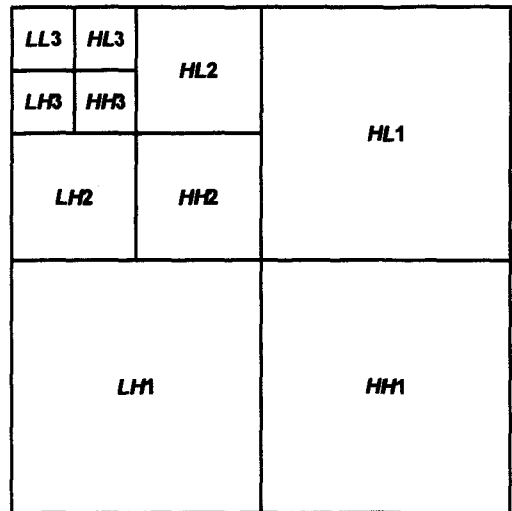


그림 2. 3-레벨 피라미드를 사용한 영상의 DWT 분해

Fig. 2. DWT decomposition of an image using three-level pyramid.

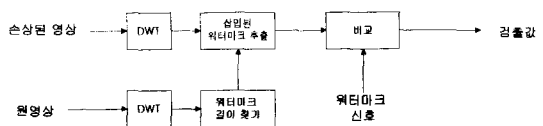


그림 3. 제안한 워터마크 검출 블록다이아그램

Fig. 3. Blockdiagram of the proposed DWT based watermark detection process.

모든 계수 y 는 그 크기별로 정렬되고, 의사 랜덤 순열인 가우시안 잡음이 계수들에 첨가된다. 위터마크는 HL_1 , LH_1 , HH_1 대역을 제외한 나머지 7개 대역에 첨가되는데 위터마크 크기는 각 대역의 에너지 E 에 비례하여

$$y'(m, n) = y(m, n) + w_i \cdot \alpha_i \cdot y(m, n)N(m, n) \quad (2)$$

와 같이 삽입된다. 여기서 w_i 는 i 번째 대역의 HVS 가중치를 의미하며, α_i 는 위터마크의 강도를 조절하는 파라미터이다. $N(m, n)$ 은 평균이 0이고 분산이 1인 가우시안 잡음을 나타내며, y' 은 위터마크가 삽입된 DWT 계수를 나타낸다. 이후 계수 y' 에 IDWT를 취하여 위터마크가 삽입된 영상 Y' 를 얻는다.

위터마크를 효율적으로 삽입하기 위해서 2개의 파라미터가 실험에 사용되었다. a_0 는 가장 낮은 대역인 LL_3 에, α_i 는 나머지 6개 대역에 사용되었다. 여기서 $i=1, 2, \dots, 6$ 에서의 α_i 값은 동일한 값으로 사용하였다. LL_3 대역에는 상대적으로 작은 값, 즉 $a_0 = 0.01 a_1$ 가 사용되었는데 이는 원영상이 심하게 열화되는 것을 막기 위한 것이다. 상대적으로 에너지가 작은 HL_1 , LH_1 , 그리고 HH_1 대역에는 위터마크를 삽입하지 않았다. 다양한 실험영상을 통한 결과로는 위 3개 대역의 에너지는 전체 에너지의 1% 미만이었다.

본 실험에서는 전체의 위터마크 길이를 5000개로 정하고 각 대역에 삽입되는 위터마크 수는 LL_3 를 제외하고는 각 대역의 에너지에 따라 정하였다. 가장 저해상도인 LL_3 에는 위터마크의 길이를 500으로 결정하였다. 에너지가 큰 LL_3 에도 위터마크를 첨가하면서 화질의 열화를 최소화하려는 데 그 목적이 있다.

위터마크의 불가시성을 증대하기 위하여 MTF를 사용하였다. MTF는 인간의 시각적 특성을 주파수상에서 근사화한 함수이다. MTF $H(f_s)$ 는 CPD (Cycles per Degree)를 단위로 하는 변수를 사용하며 이 단위는 시각도당 sine 곡선의 수로서 정의된다. MTF $H(f_s)$ 는

$$H(f_s) = p(q + rf_s) \exp(-sf_s)^t \quad (3)$$

과 같이 정의된다.^[6] 이 때 p, q, r, s 는 주파수 f_s 에 대해 인간의 시각적 특성을 정합시키기 위한 상수로서, 본 실험에서는 각각 $p=2.6, q=0.192, r=s=0.114,$

$t=1.1$ 을 사용하였다. 또한 주파수 변수 f_s 는 영상의 크기와 눈의 위치에 의해 최대값이 결정된다.

MTF는 CPD를 단위로 하여 정의되었으므로 실제 영상에서의 주파수에 대해서 적용하기 위해서는 변수 f_s 에 대한 단위를 적절히 변환하여야 한다. Chitprasert와 Rao는 DCT상의 주파수에 따른 가중값을 위해 변수 f_s 를 영상 주파수 영역으로 변환하였다^[6]. CPD로 정의된 주파수 변수 f_s 를 정규화된 주파수 변수로 바꾸고, 반복적인 필터뱅크를 사용한 절반대역 고역필터 $g(n)$ 의 반복 적용은 필터의 대역폭을 2배씩 감소시키는 것에 해당한다. i 번째 필터의 대역폭 WB_i 는

$$WB_i = \left(\frac{1}{2^{i+1}}, \frac{1}{2^i} \right) \quad (4)$$

로 표시될 수 있다.

$g(n)$ 이 이상적 필터라면 i 번째 필터 뱅크에 대한 가중치는

$$w_i = \frac{\int_{WB_i} df_s}{\int_{WB} H(f_s) df_s} \quad (5)$$

통과대역 WB_i 의 적분값을 MTF의 적분값으로 나눈 것으로 정의된다. 그리고 MTF가 2-D 주파수 영역에서 구현되면 각 대역의 가중치가 결정된다^[7].

2. 위터마크 검출

위터마크 검출과정에는 원영상과 위터마크가 첨가된 영상 모두 필요하다. 전체적인 과정은 그림 3에 나타나 있는데, 검사하려는 영상과 원영상 모두 DWT한다. 다음으로 원영상에서 구해진 에너지를 가지고 첨가된 위터마크 각 대역의 길이를 구하고, 이것으로 검사하는 영상의 위터마크를 추출해 낼 수 있다. 이렇게 추출된 위터마크와 원래의 위터마크를 비교함으로써 그 존재 여부를 확인할 수 있다.

원영상을 Y 라고 하고 왜곡되었을 지도 모르는 위터마크된 영상을 Y^* 라고 할 때, 위터마크 삽입과정의 반대로 수행함으로써 왜곡된 위터마크 X^* 를 얻어낼 수 있다. 만약 Y^* 가 고의적이든 혹은 고의가 아니든 어떤 공격에 의해 위터마크된 영상 Y^* 와 다르다면, 추출된 위터마크 X^* 가 원래의 위터마크 X 와 같지 않을 것이다. 위터마크 검출을 위한 유사도 측정 함수는

$$\text{sim}(X, X^*) = \frac{X^* \cdot X}{\sqrt{X \cdot X} \sqrt{X^* \cdot X^*}} \quad (6)$$

로 정의되는 상호 상관도를 사용하였다. 여기서 ‘·’는 두 벡터의 내적을 의미한다.

실험에서는 3-레벨 DWT를 사용하였는데, 그림 1에서 보인 것과 같이 10개의 부대역으로 분해하였다. 하나의 seed 값으로 발생시켜서 조개진 워터마크는 10개의 부대역 중 HL_1 , LH_1 , 그리고 HH_1 밴드를 뺀 7개 대역에 삽입되었고 각각의 워터마크는 검출과정에 사용된다.

III. 실험결과 및 토의

실험에서 사용한 다양한 영상 가운데 512×512 Lena 영상이 제안된 방법의 효율성을 보여주기 위해 사용되었다. 그림 4에 1000개의 임의로 발생시킨 워터마크에 대한 워터마크 검출기의 반응을 나타내었는데, 실제로 삽입된 워터마크에서 오로지 하나만 부응하는 것을 볼 수 있다. 그림 4의 경우 a 는 실험적으로 0.15로 선택하였고 $\alpha_0 = 10^{-2} \alpha_1$, 즉 $\alpha_0 = 0.0015$ 이다.

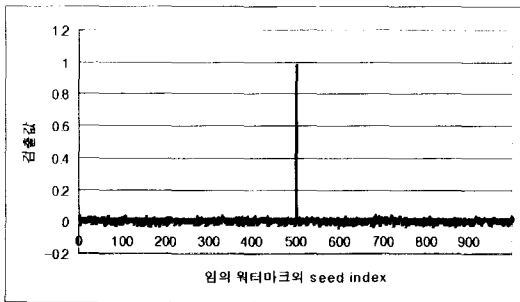


그림 4. 워터마크 검출 결과 (Lena 영상)
Fig. 4. Response of the watermark detector (Lena image).

그림 5(a), 5(b), 그리고 5(c)는 각각 원래의 Lena 영상, 제한한 방법에 의해 검출값이 그림 4에 보여진 워터마크된 영상, 그리고 그림 5(b)의 JPEG 압축 영상을 나타낸다. a 값이 커질수록 워터마크된 영상의 열화 정도는 심해진다. 왜냐하면 a 는 워터마크를 삽입하는 정도를 조절하는 파라미터로서 이 값이 커진다는 것은 그만큼 랜덤 잡음이 많이 첨가된다는 것을 뜻하기 때문이다.



(a) (b) (c)
그림 5. 실험결과 (Lena)
(a) 원영상
(b) 워터마크영상
(c) (b)의 JPEG 결과

Fig. 5. Simulation result (Lena).
(a) original image
(b) watermarked image of (a)
(c) JPEG image of (b)

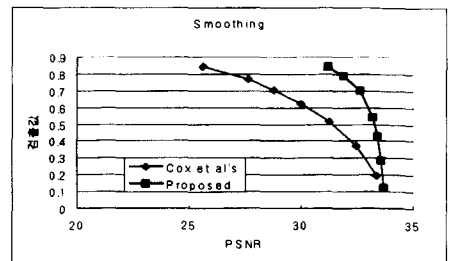
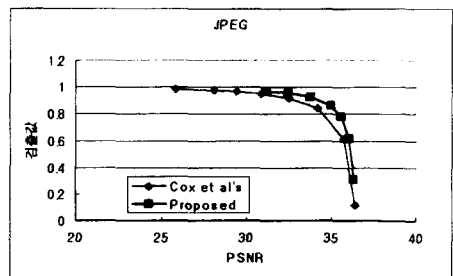
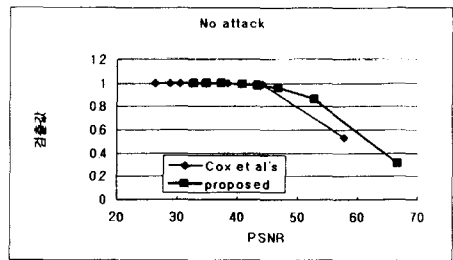


그림 6. PSNR 값에 따른 검출결과 (Lena)
(a) 공격없을 경우 (b) JPEG 압축
(c) Smoothing

Fig. 6. Detection value as a function of the PSNR (Lena).

(a) No attack (b) JPEG (c) Smoothing
그림 6은 Lena 영상에 대해 제한한 방법과 Cox 등

의 방법¹¹⁾에 대한 검출 결과를 나타낸다. 여기서 비교를 위해 제안된 방법과 Cox 등의 방법 모두 동일하게 5000개의 길이를 갖는 워터마크를 발생시켜 영상에 삽입하였고, 워터마크를 검출하는 비교함수로는 식 (6)의 상호상관도를 사용하였다. Peak signal to noise ratio (PSNR)로 표현되는 영상 화질과 검출값과의 상충을 보완하기 위해서 제안된 방법과 Cox 등의 방법에 의해 나타난 α 의 변화를 통한 PSNR 값들을 서로 비교하였다. 그림 6(a)는 공격이 없을 경우이며 그림 6(b)는 JPEG 압축, 그림 6(c)는 smoothing의 결과를 각각 나타낸다. 다양한 영상에 적용한 실험결과를 보면 공격이 없을 경우는 비슷한 성능을 보이지만, JPEG과 smoothing의 공격 등에는 제안된 방법의 결과가 Cox 등의 방법보다 다소 좋음을 볼 수 있다. 그림에서 각 공격에 나타난 점들은 그림 6(a)의 각 점에 대응한 결과를 나타낸다. 이때 α 값이 아주 작은 1개씩의 점은 각각의 압축과정에서 워터마크가 소멸된 것으로 나타났다. HVS 개념을 도입한 제안된 방법의 피크 검출값은 HVS를 사용하지 않은 결과값보다 약간 작게 나오지만 화질은 향상되었다. 예로 그림 7을 보면 Lena 영상에 대한 모자부분을 나타냈는데 HVS를 사용한 경우 모자의 주름이 적어지는 것을 확인할 수 있다.

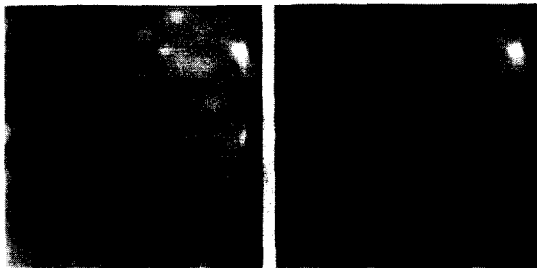


그림 7. 실험결과 (Lena)

- (a) HVS 개념 없는 경우
- (b) HVS 개념 있는 경우

Fig. 7. Simulation result (Lena).

- (a) Without HVS concept
- (b) With HVS concept

1. 변형이 가해지지 않은 경우

이 실험은 워터마크가 삽입된 영상에 대해 변형이 가해지지 않은 경우에 PSNR과 워터마크 검출결과를 보기 위한 실험으로, 삽입된 워터마크 강도를 나타내는 α 값 변화에 따른 PSNR 결과를 그림 6(a)에 보였다. 다양한 영상에 대한 실험결과를 보면 변형이 가해지지 않은 경우 Cox 등의 결과와 비슷한 값을 보이며

PSNR이 높은 경우 즉, α 값이 작은 경우에 약간 더 좋은 결과를 보였다.

2. JPEG 압축

워터마크는 JPEG 압축 과정 등의 다양한 화질열화에 의해서도 살아남아야 한다. 실험에서는 압축률과 공간해상도를 각각 40, 300 DPI로 설정하였다. α 값이 아주 작을 때를 제외하고는 쉽게 워터마크를 검출할 수 있었다. α 값이 아주 작을 때는 JPEG 압축과정 중에 워터마크가 손실되었다. α 값의 변화에 따른 JPEG 압축과정에서 워터마크 검출결과를 표 1(a)에 나타내었다. 표에서는 검출 결과의 상대적 의존도를 보기 위해 3개의 큰 값들을 순서대로 나타내었다. 표 1(b)에는 다양한 영상에 대한 JPEG 압축에 대한 검출결과를 나타내었다. 이때 α 값은 각각 0.15이다. 그림 6(b)의 경우 각 점은 그림 6(a)에서의 각 점에 대응하는 값의 JPEG 압축결과를 나타낸다.

표 1. 실험 결과 (JPEG)

Table 1. Simulation results (JPEG).

(a) Lena 영상

(a) Lena image

α	performance	Peaks			PSNR
		first	second	third	
0.05		0.310	-0.048	0.047	36.35
0.10		0.614	-0.047	0.043	36.06
0.15		0.779	-0.048	-0.048	35.61
0.20		0.858	0.053	0.047	35.06

(b) 다양한 영상

(b) Various images

image	performance	Peaks			PSNR
		first	second	third	
Bridge		0.843	0.051	-0.042	29.92
Pepper		0.787	-0.057	-0.040	34.60
Boat		0.809	-0.048	-0.047	34.54
Baboon		0.847	0.050	0.048	28.83

3. Smoothing

워터마크된 영상이 3×3 평균치를 취하는 것으로 필터링 되었을 경우에는 다른 공격의 경우보다 검출값이 상대적으로 줄어들었지만 제안된 방법은 성공적으로 워터마크를 검출할 수 있었고 그 결과를 표 2(a)에 나

타내었다. 아울러 그림 6(c)에서는 공격이 없을 경우 비슷하게 나타나던 검출값들이 smoothing 공격에 대해 시 제안한 방법이 더 좋은 결과를 나타냄을 볼 수 있었다. 이는 Cox 등의 방법이 저주파수 성분에 많은 워터마크를 삽입하는 반면 제안한 방법은 고주 삽입한 결과에 따른 것이라 할 수 있다.

표 2. 실험 결과
Table 2. Simulation results.

(a) smoothing

α	performance	Peaks			PSNR
		first	second	third	
0.05		0.119	0.045	0.044	33.69
0.10		0.285	0.044	0.044	33.58
0.15		0.426	0.044	0.044	33.42
0.20		0.540	0.046	0.045	33.20

(b) cropping

α	performance	Peaks			PSNR
		first	second	third	
0.05		0.529	0.043	-0.040	56.39
0.10		0.573	-0.046	-0.044	50.56
0.15		0.582	-0.044	-0.043	47.10
0.20		0.584	0.043	-0.043	44.63

(c) 5연속 워터마크

(c) watermarking five times

α	performance	Peaks			PSNR
		first	second	third	
0.05		0.372	-0.048	-0.044	45.30
0.10		0.420	-0.043	-0.043	39.18
0.15		0.440	0.055	0.050	35.57
0.20		0.426	-0.042	-0.039	32.85

4. Cropping

이 실험은 워터마크가 삽입된 영상의 일부를 도용했을 시의 워터마크 검출 성능을 알아보기 위한 것으로 워터마크된 영상의 가운데 부분을 1/4 크기로 잘라내었고 잘려진 영상에서 워터마크를 검출하기 위해서 나머지 배경부분은 워터마크가 들어있지 않은 원영상으로 대체하였다. Cropping 결과에 의한 검출값이 α 의 변화에 따라 표 2(b)에 나타나 있다. 이 그림으로부터 약 75% 정도의 데이터가 없어진 상황에서 제안된 방법이

워터마크를 잘 검출 할 수 있음을 나타낸다.

5. 5연속 워터마크

표 2(c)는 제안된 방법이 영상에 5차례의 연속적인 워터마크를 삽입했을 경우를 α 변화에 따른 성능을 보여준다. 5차례의 연속적인 워터마크란 영상에 워터마크를 첨가하고 그 워터마크 영상에 seed 값을 달리하여 다시 워터마크를 삽입하는 것을 5차례 했음을 의미한다. 공격자가 워터마크된 영상에 워터마크를 삽입할 수 있는데 제안된 방법은 원래의 올바른 소유주를 성공적으로 찾아낼 수 있다. α 값이 상대적으로 작을 경우 높은 PSNR에 성공적으로 워터마크를 검출할 수 있었다.

6. Collusion

앞의 경우와 비슷한 실험으로 5개의 각각의 워터마크 영상의 평균을 취하는 경우를 그림 8에 보았다. 1000개의 임의로 생성된 워터마크에 대해 5개의 워터마크가 하나의 영상에 존재하는 것을 보여준다. 5개의 피크값은 5개의 워터마크가 영상에 존재함을 나타내며 이것은 collusion 기반 평균치를 취함으로써 워터마크를 없애고자 하는 것이 효과가 없음을 보여준다고 하겠다.

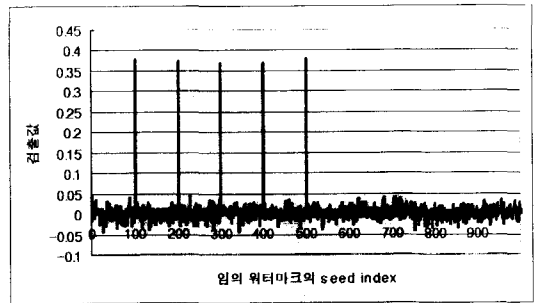


그림 8. Collusion 결과

Fig. 8. Collusion result.

IV. 결론

본 논문에서는 HVS 성질에 근거한 웨이블릿 기반 워터마킹 기법이 제안되었다. 삽입되는 워터마크 크기는 각 대역의 에너지에 비례하도록 하였으며 다양한 공격에 강건한 결과를 나타내었다. 다중해상도 웨이블릿 워터마킹 기법을 도입함으로써 워터마크 검출시 삽입된 모든 대역이 고려된다. HVS 개념을 도입한 제안한 방법의 검출값이 HVS를 도입하지 않은 것보다 약간 작지만 주관적인 화질 향상을 피할 수 있었다. 추후

과제로는 non-invertibility^{[10]-[11]}가 증명될 수 있는 효율적인 워터마크 방법의 개발이다.

참 고 문 헌

[1] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shamoon, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," NEC Research Institute Technical Report, 95-10, 1995.

[2] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shamoon, "Secure spread spectrum for multimedia," IEEE Trans. Image Process., vol. IP-6, no. 12, pp. 1673-1687, Dec. 1997.

[3] A. Piva, M. Barni, F. Bartolini, and V. Cappellini, "DCT-based watermark recovering without resorting to the uncorrupted original image," in Proc. Int. Conf. Image Processing 97, vol. I, pp. 520-523, Santa Barbara, CA, USA, Oct. 1997.

[4] X.-G. Xia, C. G. Boncelet, and G. R. Arce, "A Multiresolution watermark for digital images," in Proc. Int. Conf. Image Processing 97, vol. I, pp. 548-551, Santa Barbara, CA, USA, Oct. 1997.

[5] C.-T. Hsu and J.-L. Wu, "Multiresolution watermarking for digital images," IEEE Trans. Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing, vol. 45, no. 8, pp. 1097-1101, Aug. 1998.

[6] B. Chitprasert and K. R. Rao, "Human visual weighted progressive image transmission," IEEE Trans. Commun., vol. COM-38, no. 7, pp. 1040-1044, July 1990.

[7] Y. K. Kim, I. S. Choi, I. G. Yun, T. H. Lee, and K.T. Park, "Wavelet transform image compression using human visual characteristics and a tree structure with a height attribute," Optical Engineering, vol. 35, no. 1, pp. 204-212, Jan. 1996.

[8] Y.-S. Kim, O.-H. Kwon, and R.-H. Park, "Wavelet based watermarking method for digital images using the human visual system," in Proc. 1999 IEEE Int. Symp. Circuits and Systems, vol. IV, pp. 80-83, Orlando, FL, USA, June 1999.

[9] Y. S. Kim, O.-H. Kwon, and R.-H. Park, "Wavelet based watermarking method for digital images using the human visual system," in Electronics Letters, vol. 35, no. 6, pp. 466-468, Mar. 1999.

[10] S. Craver, N. Memon, B. Yeo, and M. Yeung, "Can invisible watermarking resolve rightful ownership?," IBM Research Report, RC 20509, July 1996.

[11] L. Qiao and K. Nahrstedt, "Watermarking schemes and protocols for protecting rightful ownership and customer's rights," in Journal of Visual Communication and Image Representation, vol. 9, no. 3, pp. 194-210, Sept. 1998.

저 자 소 개



金 永 植(正會員)
1998년 2월 서강대학교 전자공학과 학사. 1998년 2월~현재 서강대학교 전자공학과 석사과정. 주관심 분야는 워터마킹, wavelet transform



權 五 亨(正會員)
1981년 2월 서강대학교 전자공학과 학사. 1983년 2월 서강대학교 전자공학과 석사. 1983년 3월~현재 전자통신연구원 무선방송 기술 연구소 1992년 8월~현재 서강대학교 전자공학과 박사과정. 주관심 분야는 워터마킹, DCT transform

朴 來 弘(正會員) 第 36卷 S編 第 6號 參照
현재 서강대학교 전자공학과 교수