

# 웨이브릿 기반의 강인한 패턴 디지털 워터마킹 방법

이경훈<sup>†</sup>, 김용훈<sup>\*\*</sup>, 이태홍<sup>\*\*\*</sup>

## 요 약

본 논문에서는 시각적으로 인식 가능한 패턴 워터마크를 영상의 중간 주파수 대역에 삽입하는 방법을 제안한다. 영상의 저작권 보호를 위해 웨이브릿 변환 영역의 LH2, HL2, HH2의 부대역에 이진영상 워터마크를 삽입하였다. 제안한 방법의 강인성을 실험하기 위해 크기 변화, 필터링, 잘라내기, 히스토그램 평활화, 손실압축(JPEG, gif)과 같은 영상처리를 하였다. 제안한 방법의 실험 결과 높은 화질로 워터마크가 인지되어 다양한 공격에 대해서 강인함이 입증되었다.

## A Robust Pattern Digital Watermarking Method using Wavelet Transform

Kyung Hoon Lee<sup>†</sup>, Yong Hun Kim<sup>\*\*</sup>, Tai Hong Yi<sup>\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

In this paper, we proposed a watermarking algorithm for embedding visually recognizable pattern into the middle-frequency parts of image. Binary image as watermark is embedded in the LH2, HL2 and HH2 band of wavelet transformed domain for copyright protection of image data. To evaluate robustness of the proposed method, we applied some basic algorithm of image processing such as scaling, filtering, cropping, histogram equalizing and lossy compression(JPEG, gif). As a result of experiment, the proposed method has the good image quality and the high perceptibility of watermark. It was demonstrated by experiments that the proposed algorithm can provide an excellent protection under various attacks.

**Key words:** Watermarking(워터마킹), Robustness(강인성), Invisibility(비가시성), Pattern Watermark(패턴 워터마크)

## 1. 서 론

워터마킹 방법은 비가시성(invisibility)과 강인성(robustness)의 절충(trade off) 관계에 있다. 비가시성이란 삽입된 워터마크를 육안으로 확인할 수 없어야 하고 워터마크의 삽입으로 인한 원본의 훼손이 인지되지 않아야 한다는 것이다. 강인성이란 데이터의 어떠한 영상 조작에도 워터마크가 쉽게 지워지지

않고 추출되어지는 정도를 말한다. 영상 데이터의 워터마킹 방법은 크게 공간 영역(spatial domain)과 주파수 영역(frequency domain)에서 연구되어져 왔다 [1]. 공간 영역에서의 워터마킹 기법은 영상의 화소 자체를 조작하는 방법으로 단순하고 빠른 장점은 있지만 영상처리나 압축 등에 강인하지 못하다. 주파수 영역에서의 워터마킹 기법은 압축이나 잡음에 견고한 특성을 갖는다. 주파수 영역에서의 워터마킹 기법 중에 웨이브릿 변환[2-4]은 DFT(Discrete Fourier Transform)[5]나 DCT(Discrete Cosine Transform) [1]와는 달리 공간과 주파수의 두 영역에서 영상을 표시할 수 있다. 그러므로 영상의 가장자리 등과 같은 공간적 특성과 저주파 영역에서 에너지가 밀집되어 있는 영상의 주파수적 특성을 보다 효율적으로 나타낼 수 있는 특징이 있다. 2차원 영상에서 웨이브

※ 교신저자(Corresponding Author) : 이경훈, 주소 : 포항시 흥해읍 죽천동 산 55번지(791-711), 전화 : 054)245-1134, FAX : 054)252-2600, E-mail : chunja@pohang.ac.kr  
접수일 : 2003년 4월 4일, 완료일 : 2003년 6월 24일

<sup>†</sup> 정희원, 포항1대학 컴퓨터정보처리과 조교수

<sup>\*\*</sup> 비희원, 영남대학교 대학원 전자공학과 박사과정  
(E-mail : garam027@yumail.ac.kr)

<sup>\*\*\*</sup> 정희원, 영남대학교 전기전자공학부 교수  
(E-mail : taehong@yu.mail.ac.kr)

릿 변환을 적용하면 그림과 같이 서로 다른 단계의 다해상도(multiresolution) 부대역 신호, 즉 저주파 성분(LL), 대각 성분(HH), 수평 성분(LH), 수직 성분(HL)의 부분 영상으로 분할할 수 있다[6]. 이 4가지 영역 중에서 LL 부대역에 워터마크의 삽입은 저주파 영역이기 때문에 시각적인 화질저하를 가져올 수 있다. 그리고 HH 부대역에 삽입한 워터마크는 고주파 성분을 제거하는 손실 압축을 할 경우 추출할 가능성이 약간 희박해진다.

본 논문에서는 웨이브릿 기반에서 수평, 수직, 대각 성분의 부대역에서 적절한 임계치를 기준으로 가중치를 달리 부여하는 방법을 제안한다. 제안한 방법은 비가시성을 최대한 고려하면서 강인성을 발전시킬 수 있도록 구성하였다. 필터링(filtering), 히스토그램 평활화(histogram equalizing), 크기변화(resizing), 잘라내기(cropping), 손실압축(JPEG, gif)과 같은 공격에 대해 제안한 방법의 강인성을 실험하였다. 실험에 사용된 워터마크는 이진 영상의 패턴이다. 패턴 워터마크는 워터마크 추출 여부가 확실하고 직관적으로 저작권을 주장할 수 있어 좋은 점이라 생각되어진다.

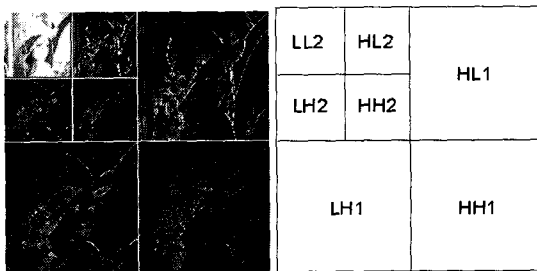


그림 1. 2단계 웨이브릿 변환

## 2. 제안 알고리즘

워터마크를 웨이브릿 공간상에서 삽입하고 워터마크된 영상에 압축이나 변형 등의 영상 조작에 대해서도 워터마크를 추출하고자 한다.

### 2.1 워터마크 삽입(Watermark Embedding)

원 영상을  $X$ 라고 하고 이진 워터마크 영상을  $W$ 라고 하면  $X$ 와  $W$ 는 각각

$$X = \{ x(i, j), 0 \leq i, j < N \} \quad (1)$$

$$W = \{ w(i, j), 0 \leq i, j < M \} \quad (2)$$

로 표현되며 여기서 화소 값  $x(i, j) \in \{0, 1, 2, \dots, 2^{L-1}\}$ 이고  $L$ 은 한 화소 값을 표현하는 비트 수이다.  $L$ 은 8비트로 이진 영상을 실험대상으로 하였다. 그리고  $w(i, j) \in \{0, 1\}$ 이며 워터마크 영상의 각 화소 값이다.  $N$ 과  $M$ 은 원 영상과 워터마크 영상의 크기로서 각각 256, 64로 하였다. 워터마크의 삽입을 위해 원 영상( $N \times N \times 8\text{bit}$ )을 2 Level의 haar 웨이브릿 변환을 하였다. 웨이브릿으로 변환한 부대역  $V$ 는

$$V = \left\{ v(i, j), 0 \leq i, j < \frac{N}{2} \right\} \quad (3)$$

로 표현된다.

워터마크 삽입에 의한 영상의 화질저하를 비교하기 위해  $PSNR$ (Peak Signal to Noise Ratio)을 사용하였다. 식 (4)는  $PSNR$ 에 대한 식이다.

$$MSE = \frac{1}{N \times N} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} [x(i, j) - x'(i, j)]^2 \quad (4)$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE}$$

여기서,  $x(i, j)$ 는 원 영상의 화소를 표시하고  $x'(i, j)$ 는 워터마크된 영상의 화소를 표시한다.

부대역에서 저주파 성분(LL2)을 제외한 3영역에 워터마크 영상  $W$ 를 제안한 식 (5)에 의해 삽입하였다.

$$V^* = \begin{cases} V(1 - \alpha(V_H - |V|)SW), & |V| > V_T \\ V(1 - \alpha(V_L + |V|)SW), & |V| \leq V_T \end{cases} \quad (5)$$

여기서,  $\alpha, V_T, V_H, V_L$  값은 부대역에 따라 서로 다른 값이 적용된다.  $|V|$ 는  $V$ 의 절대값이다.  $V_T$  값은 각 부대역에서 공격에 강한 위치에 가중치를 크게 하는 역할을 한다.  $V_H, V_L$  값은 일종의 바이어스로 삽입할 부대역의 최고  $|V|$ 값을 고려하여 정해진다. 부대역의  $V$  값이 +일 경우는  $V^*$ 값을 감소시키고 -일 경우는  $V^*$  값이 증가하도록 했다. 인간 시각에 둔감한 영역에 가중치를 크게 하기 위한  $S$  값은 밝기를 측정하여 적용하였다. 인간의 눈은 빛의 밝기가 변화된 만큼 빛의 변화를 동일하게 인식하지 못한다. 인간 시각 특성은 빛의 강도와 빛의 밝기에 대하여 로그함수 형태를 이룬다. 어두운 지역에서 빛의 강도가 약간 변화하는 것이 밝은 지역에서 빛의 강도가 약간 변화하는 것 보다 더 인식하기 쉽다(Weber's Law)[7]. 그러므로 어두운 곳보다는 밝은 곳에서 더 큰 강도로 삽입하기 위해 식 (6)과 같이 삽입 강도  $S$ 를 구한다.

$$S = \log(B_M \times B_N) \quad (6)$$

여기서,  $B_M$ 은 영상 전체의 밝기이고  $B_N$ 은 인접 영역의 밝기이다.  $B_N$ 은 LL2 부대역에서  $5 \times 5$  마스크를 사용하여 평균을 구한다.

대각 성분(HH2)에 삽입한 워터마크는 고주파 성분을 제거하는 손실 압축을 할 경우 추출할 가능성이 약간 희박해진다. 하지만 인간 시각은 수직에 가까운 방향일수록 민감하며  $45^\circ$ 의 대각선 방향에 가까울수록 둔감하므로 비가시성을 향상시키기 위해 대각 성분의 가중치  $\alpha$ 는 다른 부대역보다 크게 부여한다. 대각 성분의 부대역에 가중치를 크게 한 경우에는 같은 수치의 PSNR이라도 시각적인 화질 저하를 줄일 수 있다.

그림 2는 식 (5)를 도식화한 그림이다.

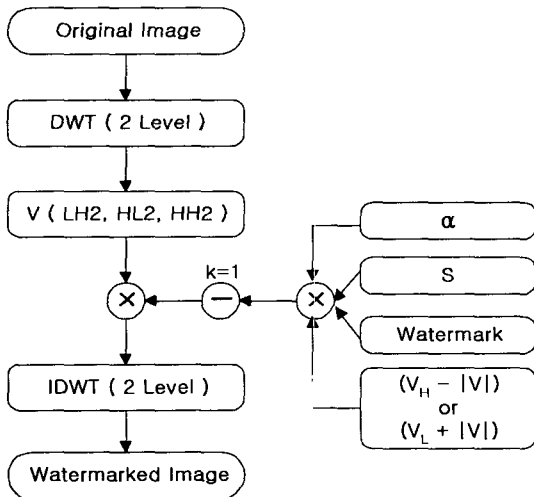


그림 2. 제안한 워터마크 삽입 알고리즘

기존의 논문들은 Cox의 DCT기반의 워터마크 삽입 수식 (6)을 웨이브릿 기반에서 그대로 적용하고 있다.

$$V^* = V(1 + \alpha W) \quad (6)$$

웨이브릿 변환한 후 LH2, HL2, HH2 부대역은 수평, 수직, 대각 성분의 값을 나타낸다. DC성분을 제외한 나머지 이들 세 부대역에는 각 성분의 크기가 나타난다. 상기 수식(6)과 유사한 형태로 이들 부대역에 워터마크를 삽입할 경우 부대역 V값에 비례하여 V값이 큰 영역에 큰 가중치를 부여한다. 결과적으로 인

간시각에 덜 민감한 고주파 영역에 워터마크를 삽입할 수 있지만 압축 등과 같은 고주파 손실 공격에 취약하다. 이를 해결하기 위해서 삽입영역을 다시 결정하거나 다른 방법으로 중간 주파수 대역을 찾는다. 이와 달리 제안한 수식은 워터마크를 삽입하는 강도와 위치를 수식적으로 구현하여 선택된 부대역 전체에 삽입한다. 각 부대역의 값이  $V_T$  값 이하로 작은 경우는  $(V_L + |V|)$  항목을 사용하여  $|V|$ 에 비례하는 가중치를 적용했다. 반면에 부대역의 값이  $V_T$  값 이상으로 높은 경우는 화질의 열화를 최소화하면서 중간 값에 가중치를 크게 하고자  $|V|$ 에 반비례하는 항목  $(V_H + |V|)$ 를 부여했다.  $V_H, V_L$  값은 삽입할 부대역의 최고  $|V|$  값을 고려하여 정해지는데 일정한 값 이상의 가중치를 부여하기 위한 항목이다. 저주파 대역을 제외한 나머지 부대역의 적절한  $V_T$  값을 선택하여 비가시성과 강인성을 절충하여 워터마크를 삽입할 수 있다. 특히 인간 시각에 덜 민감한  $45^\circ$  방향의 대각성분의 부대역(HH)에는 수평, 수직 부대역보다 높은 가중치( $\alpha$ )를 주었다. S항목은 어두운 영역에 삽입된 워터마크는 화질의 열화를 초래하므로 밝은 영역에 높은 가중치를 부여하므로 워터마크 삽입 후 비가시성을 높일 수 있다. 결과적으로 비가시성과 절충하여 워터마크를 좀 더 강인하게 삽입할 수 있다.

### 2.2 워터마크 추출(Watermark Detection)

워터마크가 삽입된 영상에서의 워터마크 추출은 원본 영상을 사용하여 삽입방법과 거의 동일하게 역으로 이루어진다. 제안한 알고리즘의 워터마크 추출은 식 (7)과 같다.

$$W = \begin{cases} \frac{V^*/V-1}{-\alpha(V_H - |V|)S}, & |V| > V_T \\ \frac{V^*/V-1}{-\alpha(V_L + |V|)S}, & |V| \leq V_T \end{cases} \quad (7)$$

그림 3은 식 (7)을 도식화한 그림이다. 각 부대역에서 추출된 워터마크 영상은 OR 또는 AND 연산을 사용한 경우 보다 평균치 계산한 경우가 최적의 워터마크 영상을 얻을 수 있었다. 원 워터마크와 추출된 워터마크 사이의 객관적인 유사성 측정을 위하여 정규화된 상관계수(normalized correlation)  $C_n$ 를 사용하여 나타내었다. 본 논문에서 사용한  $C_n$ 은 식 (8)과 같다. 여기서,  $w(i)$ 는 원 워터마크이며  $w'(i)$ 는 추출

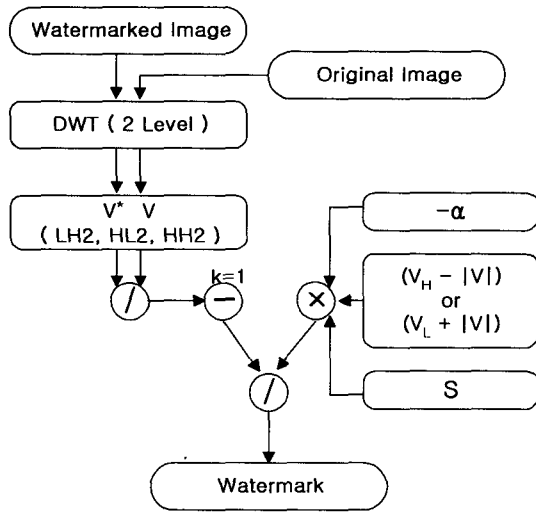


그림 3. 제안한 워터마크 추출 알고리즘

된 워터마크이다.

$$C_n(w, w') = \frac{\sum w(i)w'(i)}{\sqrt{\sum w(i)^2 \sum w'(i)^2}} \quad (8)$$

실험에 사용된 워터마크 영상은 그림 4와 같이 64×64의 이진 영상이다. 또한 워터마크는 보안성과 이미지 잘라내기(crop) 공격 등에 강인하기 위해서 초기 값을 갖는 여러 단계의 무작위 교환을 통해 워터마크를 섞었다. 또한 섞어 놓은 워터마크를 16등분 안에 섞어 짜 맞추기(interlace) 하였다. 특히 섞어 짜 맞추기를 한 경우에 영상의 고른 영역에 워터마크를 삽입하면서 워터마킹된 영상의 시각적 화질저하를 줄이게 된다. 그러므로 잘라내기 공격 등의 여러 공격에 강인하고 워터마크의 모양을 추측할 수 없다.



그림 4. 실험에 사용된 워터마크와 섞어놓은 워터마크

### 3. 실험 결과 및 성능 분석

제안한 기법과 수식의 성능을 평가하기 위하여 펜티엄 III, 메모리 128MB, Visual C++ 6.0으로 컴퓨터 시뮬레이션을 하였다. 실험에 사용된 영상은 그림 5의 256×256×8bit의 5개의 정지영상(Lena, Barboon,



Lena Baboon Couple Girl Man

그림 5. 실험에 사용된 원 영상(256×256)

Couple, Girl, Man)이다. 수평(LH2)과 수직(HL2) 성분 부대역에는  $V_T$  값을 6으로 했다. 수평, 수직 부대역에서  $V_T$  값보다 클 경우  $V_H$  값을 64로  $\alpha$  값을 0.0024로 했다.  $V_T$  값보다 작을 경우에는  $V_L$  값을 80으로  $\alpha$  값을 0.004로 했다. 대각(HH2) 성분 부대역에는  $V_T$  값을 3으로 했다. 대각 성분 부대역에서  $V_T$  값보다 클 경우  $V_H$  값을 34로  $\alpha$  값을 0.005로 했다.  $V_T$  값보다 작을 경우에는  $V_L$  값을 51로  $\alpha$  값을 0.008로 했다. 대각 성분에 가중치를 약간 높게 부여했다. 워터마킹 알고리즘의 성능 분석을 위하여 워터마크가 삽입된 영상의 화질저하 정도를 PSNR로 표현하였으며, 추출된 워터마크의 성능은 정규화된 상관계수  $C_n$ 을 사용하였다.

5개의 실험영상 중에 워터마킹 한 이미지에 왜곡 정도가 시각적으로 잘 보여지는 Lena 이미지의 실험 결과에 대해서 살펴보고 나머지 4개 영상은 표로 표현하였다. 그림 6에 제안한 삽입 알고리즘으로 워터마킹 한 이미지와 원본 이미지를 200% 확대 비교하여 나타내었다. 워터마킹 한 이미지의 PSNR은 42.11 dB로서 확대한 후 원본 이미지와 비교해도 거의 차이가 나질 않았다.

워터마크가 삽입된 영상은 필터링, 히스토그램 평활화, 크기변화, 잘라내기, 손실압축과 같은 신호 왜곡에 대해 강인성을 실험하였다.



그림 6. 원본 이미지와 워터마크가 삽입된 Lena 이미지

3.1 고주파 강화/차단 필터링에 대한 강인성

선명화와 흐리게 하기 위해 그림 7과 8에서처럼 마스크를 사용했다. 워터마크가 삽입된 영상을 3×3 마스크 연산을 이용하여 저주파 성분은 차단하고 고주파 성분을 부각시킨 선명화와 저주파 성분은 유지하고 고주파 성분을 제거하여 흐리게 한 후 추출된 워터마크를 분석하였다. 선명화(PSNR: 18.46dB)와 흐리게(PSNR: 26.82dB) 한 후의 추출된 워터마크의  $C_n$ 은 그림 7과 8처럼 각각 0.793과 0.680으로 측정되었다.

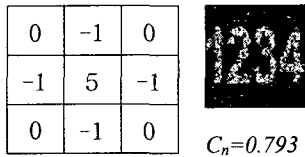


그림 7. 고주파 강화 필터링 마스크와 강인성 실험결과

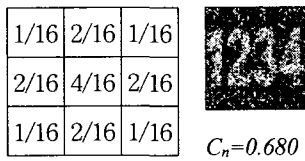


그림 8. 고주파 차단 필터링 마스크와 강인성 실험결과

3.2 잘라내기와 히스토그램 평활화에 대한 강인성

워터마크가 삽입된 영상을 여백 잘라내기 공격과 히스토그램 평활화 공격에 대한 워터마크의 강인성을 실험하였다. 워터마크를 수평과 수직으로 여러 번 무작위 섞어 짜 맞추기 형태로 삽입을 하였기 때문에 여백 잘라내기에 대해서 잃어버린 워터마크의 정보가 다른 영역에서 찾을 수 있었다. 표 1은 여백을 잘라낸 공격 정도에 따른  $C_n$ 값을 나타냈다. 50% 정도 여백 잘라내기의 PSNR은 9.02dB로 왜곡이 심한 탓에  $C_n$ 은 0.694로 약간 낮았지만 그림 9와 같이 시각적으로 쉽게 판별되었다.

표 1. 여백 잘라내기 공격에 대한  $C_n$

잘라낸 정도	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
$C_n$	0.923	0.887	0.792	0.734	0.694	0.651	0.620	0.592	0.559



그림 9. 여백 50% 잘라내기에 대한 강인성 실험 결과

그림 10과 같이 히스토그램의 평활화 공격에 대한 워터마크 이미지의 PSNR은 19.42dB만큼 왜곡되었지만  $C_n$ 은 0.873으로 다소 높게 나타났다.

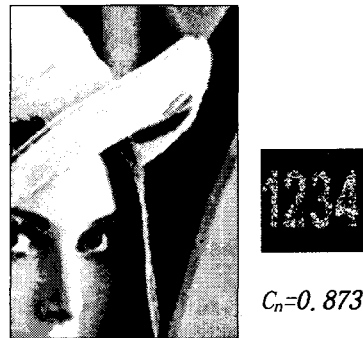


그림 10. 히스토그램 평활화에 대한 강인성 실험 결과

3.3 크기 변화에 대한 강인성

크기 변환에 의한 공격 실험에서는 영상의 크기를 두 배 확대한 후 다시 원 영상의 크기로 축소하였을 때 보간법(interpolation)에 의한 워터마크의 강인성을 분석했다. 영상의 크기 변환 공격은 압축이나 다른 영상처리 공격에 비하여 영상의 화질 열화를 가져와서 주파수 계수값의 변화가 심하게 일어나므로 워터마크된 영상에서도 워터마크의 손실을 가져왔다. 특히 축소 후 확대하는 경우에는 너무 많은 정보를 잃어버려서 추출된 워터마크의  $C_n$  = 0.693으로 다소 낮았다. 하지만 그림 11에서 보이는 것처럼 시각적으로 판별이 가능했다. 두 배로 확대한 후 다시 원 영상 크기로 축소한 경우에는 PSNR이 37.71dB로 큰 왜곡이 없어  $C_n$  = 0.964로 추출이 쉬웠다.



그림 11. 축소와 확대에 따른 강인성 실험 결과

### 3.4 손실압축에 대한 강인성

워터마크가 삽입된 영상을 손실 압축(JPEG, gif) 한 후 추출된 워터마크를 분석했다. JPEG 압축은 압축화질(quality)을 30%, 20%, 10%까지 낮춰가면서 워터마크의 추출 가능성을 분석하였다. gif 압축은 색상 수를 8bit(256)로 고정하고 포토샵에서 30%, 40%, 50%로 파일 손실율을 높이면서 워터마크의 추출을 분석하였다. 압축율(Compression ratio)을 식 (9)에 따라 계산하면 JPEG 압축은 화질을 30%, 20%, 10%까지 낮추었을 경우 압축율은 각각 7.71, 9.14, 12.31이었다.

$$CR = \frac{\text{Number of bits in the original image}}{\text{Number of bits in the compressed image}} \quad (9)$$

GIF 압축은 30%, 40%, 50%로 파일 손실(lossy)을 높였을 경우 0% 손실 gif 파일 용량이 69.7KByte에 대해 각각 28.6KByte, 26KByte, 24.1KByte로 줄었다. GIF 압축율은 2.44, 2.68, 2.89이다. JPEG 압축의 경우 압축율은 높은 반면 PSNR값은 각각 32.18, 30.92, 30.12로 왜곡이 적었다. GIF의 경우는 압축율은 낮는데 PSNR값은 각각 30.72, 28.54, 26.86으로 왜곡이 상대적으로 컸다. JPEG 압축의 경우  $C_n$ 값은 각각 0.846, 0.639, 0.564이고 GIF의 경우  $C_n$ 값은 각각 0.677, 0.636, 0.604이다. JPEG 경우 GIF 보다 압축율을 크게 하였으나 왜곡은 적어 워터마크의 추출이 상대적으로 매우 우수하였다. 그림 12와 그림 13에서는 많은 손실 압축으로 화질 열화가 매우 큰 경우의 예를 들어 추출된 워터마크와  $C_n$ 값을 표현하였다.

JPEG 압축에 대한 객관적인 성능 비교는 Hsu 등의 논문 결과를 이용하였다[8]. 이 논문은 DCT기반의 워터마크의 삽입이지만 패턴을 워터마크로 사용한 부분이 비슷하여 성능평가를 비교했다.

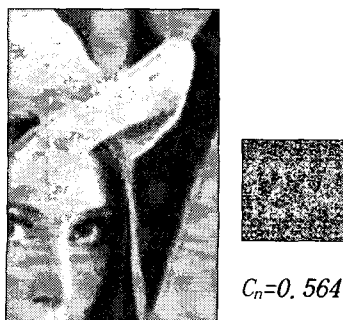


그림 12. 10% quality jpg에 대한 강인성 실험 결과

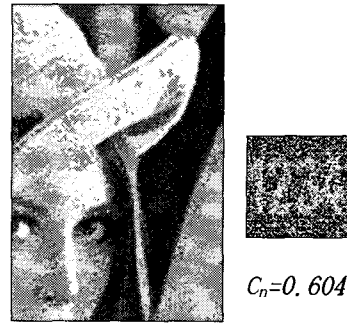


그림 13. 50% Lossy gif에 대한 강인성 실험 결과

Hsu 논문에서 사용한 정규화된 상관계수는 본 논문에서 사용한 수식  $C_n$ 과 달리 식 (10)과 같이  $NC$ 이다.

$$NC(w, w') = \frac{\sum w(i)w'(i)}{\sum w(i)^2} \quad (10)$$

표 2는 Hsu 논문에서 제시한 실험결과와 제안 방법의 압축율에 따른 실험결과이다. Lena 영상에 워터마크를 삽입했을 때 Hsu의 경우는 PSNR은 40.83 dB로 제시되어있고 제안 방법은 42.11dB로 화질열화가 적게 삽입하였다. 제안 방법은 압축율이 낮은 경우  $NC$  값이 Hsu 방법에 비해 약간 낮았으나 압축율이 높을수록  $NC$  값이 높게 나타났다.

### 3.5 다른 실험영상에 대한 강인성

다른 4개의 실험 영상에 대한 PSNR에 따른  $C_n$ 값과 추출된 워터마크 영상을 표 3으로 나타냈다. 표 3에 나타내지 않은 여러 다른 실험 영상 또한 비슷한 결과의 강인성을 보였다.

## 4. 결론

본 연구에서는 디지털 영상데이터의 저작권 보호를 위해 시각적으로 인지할 수 있는 이진 워터마크 영상을 원 영상에 삽입하고 추출할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 제안 방법은 이산 웨이브릿을 사용하여 저주파 성분을 제외한 나머지 부대역의 적절한 중간 주파수에 가중치를 주어 워터마크를 삽입하고 추출한다. 원 영상의 열화가 적은 정도에서 중간 주파수에 가중치를 둬으로써 기존의 알고리즘에 비해 손실 압축에 따른 공격에도 우수했다. 제안한 방법의 실험 결과 높은 화질로 워터마크가 인지되어 다양한

표 2. Hsu의 JPEG 손실압축에 대한 NC값

Hsu 방법	CR	3.49	4.41	5.18	5.92	6.55	7.16	7.81	8.46	9.05	9.81	10.74
	PSNR	33.78	35.52	34.74	33.84	33.15	32.56	32.07	31.75	31.47	31.41	31.27
	NC	0.999	0.998	0.998	0.990	0.942	0.883	0.830	0.726	0.661	0.493	0.413
제안 방법	CR	3.76	4.52	5.21	5.96	6.72	7.33	8.13	8.74	9.12	9.95	11.21
	PSNR	36.09	35.12	34.28	33.24	32.87	32.22	32.15	31.89	31.29	30.84	30.42
	NC	0.987	0.965	0.947	0.935	0.914	0.898	0.819	0.748	0.712	0.675	0.662

표 3. 다양한 공격에 따른 강인성 실험결과

강인성 실험		실험 영상					
		Baboon	Couple	Girl	Man		
no attack	PSNR	39.10	39.10	38.13	41.14		
선명화	PSNR	13.63	16.29	20.27	16.59		
	$C_n$	0.671	0.747	0.820	0.734		
흐림	PSNR	23.18	25.23	25.01	25.75		
	$C_n$	0.615	0.642	0.706	0.656		
잘라내기	PSNR	11.21	9.82	12.85	10.83		
	$C_n$	0.670	0.674	0.678	0.670		
평활화	PSNR	19.76	17.58	11.85	18.21		
	$C_n$	0.755	0.707	0.776	0.842		
확대후 축소	PSNR	32.00	34.70	41.14	35.34		
	$C_n$	0.948	0.953	0.974	0.957		
축소후 확대	PSNR	23.56	25.65	33.36	27.02		
	$C_n$	0.627	0.647	0.720	0.666		
JPG	압축 회전	30	PSNR	28.63	31.59	34.90	30.88
			$C_n$	0.796	0.719	0.673	0.734
		20	PSNR	27.75	30.64	34.32	30.06
			$C_n$	0.744	0.680	0.625	0.696
		10	PSNR	25.80	28.54	32.81	28.30
			$C_n$	0.633	0.594	0.556	0.597
GIF	손실율	30	PSNR	30.00	30.34	30.57	30.42
			$C_n$	0.804	0.718	0.669	0.724
		40	PSNR	27.83	28.08	28.40	28.21
			$C_n$	0.746	0.668	0.615	0.676
		50	PSNR	26.03	26.37	26.79	26.57
			$C_n$	0.699	0.619	0.586	0.636

공격에 대해서 강인함이 입증되었다. 회전에 따른 공격에는 원 영상을 같은 각도로 회전시켜 동기를 맞춘 경우에는 워터마크 추출에 문제가 없었으나 좀 더 많은 연구가 필요하다. 향후 연구 과제는 여러 웨이브릿 방법을 사용하여 워터마크에 가장 적합한 웨이브릿 모함수의 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] I. J. Cox and M. L. Miller, "A Review of Watermarking and the Importance of Perceptual Modeling," in *Proc. SPIE Conf. on Human Vision Electronic Imaging II*, vol. 3, no. 16, pp. 92-99, Feb. 1997.

[2] H. J. M. Wang, P. C. Su and C. C. J. Kuo, "Wavelet-based Digital Image Watermarking," *Optics Express 491*, vol. 3, no. 12, 1998.

[3] D. Kundur and D. Hatzinakos, "A Robust Digital Image Watermarking Method using Wavelet based Fusion," *Proc. of ICIP'97*, Santa Barbara, CA, USA, vol. 1, pp. 544-547, 1997.

[4] X. G. Xia, C. G. Boneclet and G. R. Arce, "Wavelet Transform based Watermark for Digital Image," *Optics Express 497*, vol. 3, no. 12, 1998.

[5] J. J. K. O'Ruanaidh, W. J. Dowling and F. M. Boland, "Phase Watermarking of Digital Image," in *Proc. of ICIP'96*, vol. 3, pp. 239-242, 1996.

[6] A. Graps, "An Introduction to Wavelet," *IEEE Computational Science and Engineering*, vol. 2, no. 2, 1995.

[7] G. A. Baxes, *Digital Image Processing Principles and Application*, pp. 16-20, 1994.

[8] C.-T. Hsu and J.-L. Wu, "Hidden Digital Watermarks in Images," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 8, no. 1, pp. 58-68, Jan. 1999.



이 경 훈

1991년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
1993년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)  
1999년 3월~현재 영남대학교 대학원 전자공학과 박사과정  
1993년 3월~현재 포항1대학 컴퓨터정보처리과 조교수

관심분야 : 정보보호, 영상처리, 멀티미디어



김 용 훈

1999년 2월 영남대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
2001년 2월 영남대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)  
2001년 3월~현재 영남대학교 대학원 전자공학과 박사과정

관심분야 : 신호처리, 영상검색, 영상통신



이 태 흥

1975년 2월 서울대학교 공업교육학과 전자공학 전공 졸업(학사)  
1976년 5월~1979년 10월 동양정밀(주) 중앙연구소 책임연구원  
1980년 2월 서울대학교 공업교육학과 전자공학 전공 졸업(석사)

1980년 1월~1981년 2월 금성연구(주) 기술연구소 기좌  
1981년 3월~현재 영남대학교 전기전자공학부 교수  
1996년 10월~1997년 10월 한국통신학회 대구·경북 지부장

1997년 2월 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사)  
관심분야 : 신호처리, 영상처리, 통신시스템