

웨이블릿영역에서 영상융합에 의한 영상 워터마킹 기법

김동현[†], 최인호^{**}

요 약

본 논문에서는 이진 로고영상의 1레벨 DWT(Discrete Wavelet Transform) 계수값을 워터마크로 사용하여 대상영상의 웨이블릿 영역의 동일 주파수 영역에 삽입하였다. 이것이 본 논문에서 제안한 영상융합이다. 워터마크는 웨이블릿 영역의 동일 주파수 영역에 삽입시 중요 계수들에 삽입된다. 중요 계수는 영상에서 중요한 윤곽선이나 중요 평탄 영역의 정보를 가지고 있다. 워터마크는 절대값이 임계값 이상인 중요계수들에 삽입된다. 강건성을 위해 워터마크의 삽입 가중치로 계수값들의 표준편차를 이용한다. 따라서 제안 기법은 영상에 적응적 기법이며, 워터마크가 삽입된 영상이 절단이나 필터링 또는 압축으로 왜곡되었을 때 제안된 두 가지 검출 알고리즘이 왜곡에 적응적으로 사용될 수 있다.

An Image Watermarking Scheme by Image Fusion in the Wavelet Domain

Dong hyun Kim[†], In Ho Choi^{**}

ABSTRACT

In this paper, the 1-level DWT(Discrete Wavelet Transform) coefficients of a binary logo image are used as the watermark. The watermark should be inserted in the same band which is equivalent to the host image when the watermark is inserted in the wavelet domain. This is the image fusion of the proposed watermarking method. The watermark is inserted in relatively significant coefficients after the insertion area is defined. The more significant coefficients have the important information because they are identified as the edge and major surface in images. The significant coefficients are defined when their absolute value exceeds the threshold. The standard deviation is used as the weight value of watermark insertion in order to strengthen the weight of the watermark insertion according to the value of the coefficients. The proposed watermarking method is an adaptive scheme, and the proposed two detection algorithms can be adaptively used when the watermarked image is distorted by cropping, filtering, or compression.

Key words: Watermarking(워터마킹), Discrete Wavelet Transform(DWT)(이산 웨이블릿 변환), Image fusion(영상 융합)

1. 서 론

멀티미디어 데이터는 디지털 데이터라는 특성상 복제가 쉽고 여러 번 복제를 하여도 원본과 똑같은

품질을 유지할 수 있기 때문에 정보를 배포하고 공유하는 기준에서는 긍정적인 면도 있지만 불법적으로 복제되어 유통될 수 있다는 부정적인 면도 있다. 멀티미디어 데이터의 불법 복제와 유통은 저작자의 창

※ 교신저자(Corresponding Author): 최인호, 주소: 경기도 김포시 월곶면 포내리 산14-1(415-761), 전화: (031)999-4152, FAX: (031)999-4775, E-mail: inhochoi@kimpo.ac.kr
접수일: 2007년 10월 17일, 완료일: 2008년 3월 7일

[†] 정회원, 경희대학교 전자공학과 박사
(E-mail: dragondh@nate.com)

^{**} 정회원, 김포대학 정보통신과 교수

작의욕을 저하시켜 멀티미디어 데이터의 창작과 병행하여 발전되는 산업들까지 피해를 줄 수 있다. 이와 같은 문제로 멀티미디어 데이터의 저작권 보호와 인증을 위해 디지털 워터마킹 분야에서 많은 연구들이 수행되고 있다. 디지털 워터마킹은 멀티미디어 데이터에 사람의 눈이나 귀로 인지할 수 없는 신호 즉, 워터마크를 삽입하는 기술로, 워터마크가 삽입된 이후에도 인지할 수 있을 정도로 원본 데이터의 질적 저하를 초래해서는 안되며, 비소유권자의 불법적인 조작에도 존재해야 하며, 소유권 인증을 위한 방법도 제공해주어야 한다. 이를 각각 비가시성(invisibility), 강건성(robustness), 명확성(unambiguity)이라 하며, 디지털 워터마킹의 중요한 판단 기준이 된다. 특히 비가시성과 강건성은 서로 상반되는 특성이므로 데이터의 질적 저하를 초래하지 않는 범위 내에서 워터마크를 삽입하는 것이 중요하다[1,2]. 워터마크로 특정 영상을 사용하는 것은 랜덤 신호보다 훨씬 더 설득력이 있어 데이터의 저작권을 보다 쉽게 판별할 수 있는 장점이 있다. 워터마크를 주파수영역에 삽입하는 방법은 DCT(Discrete Cosine Transform)나 DWT[3] 등을 이용해 영상을 주파수 영역으로 변환한 후에 워터마크를 삽입하는 방법이다[4].

Hsu와 Wu[5]은 256×256 크기의 인장 영상을 LFSR(Liner Feedback Shift Register)를 이용하여 치환하고, 2 레벨 DWT 후 생성된 1과 2 레벨의 HL 영역과 LH 영역에 인장 영상의 치환 값을 삽입하는 방법을 제안하였다. 견고성을 보장받기 위해 인장 영상을 2 단계로 분해하여 삽입하였으나 인장 영상의 크기가 삽입 영역의 크기와 동일하므로 cropping과 같은 기하학적인 왜곡에 약하며 중주파와 고주파 대역에만 삽입됨으로써 압축에도 약한 단점이 있다. Hsieh와 Tseng[6]는 웨이블릿 변환후 부대역간의 상관도에 기초하여 Zerotree를 이용하는 방식을 제안하였다. Bao[7]은 DWT에서 양자화 매개변수를 모델링하여 양자화된 값에 워터마크를 삽입하는 방식을 제안하였으나 워터마크 삽입 방식이 복잡하다.

본 논문의 제안 알고리즘은 기존의 워터마킹 기법들이 워터마킹의 강건성과 비가시성을 동시에 만족하기 위해 복잡한 과정을 통해 워터마크를 삽입함으로써 검출 과정 또한 복잡해지는 문제점을 해결하는 방법을 제안한다. 워터마크를 두 가지 방법으로 검출한다. 첫 번째 방법은 삽입의 역과정으로 워터마크를

검출하며, 두 번째 방법은 원본 영상과 워터마크가 삽입된 영상간의 차영상에서 워터마크 형태를 검출하여 소유권을 확인할 수 있다. 이 방법은 간단하고 빠른 시간내 워터마크의 존재 유무를 확인할 수 있다. 하지만 이 방법이 가능하기 위해서는 본 논문에서 제안하는 워터마크 삽입 기법을 사용하여야만 가능하다.

본 논문의 구성은 II장에서는 제안한 워터마킹 방식에 대해 설명을 하고, III장에서는 제안한 방식에 대해 실험 및 결과를 보이고, IV장에서 전체적인 결론 및 추후 연구 방향을 논의한다.

2. 제안 알고리즘

2.1 워터마크 삽입

그림 1은 본 논문에서 제안하는 워터마크 삽입 기법을 블록도로 나타낸 것이다. l 은 해상도 단계를 나타내며 o 는 웨이블릿 영역에서 수직, 대각, 수평 방향의 고주파 성분과 최저주파 성분을 나타낸다. 대상영상에 대해 3($l=3$)레벨 DWT를 수행하고 식 (9)의 영상의 특성에 따라 다른 값을 가지는 삽입가중치 $\alpha_{o,l}$, $o \in \{1,2,3,4\}$ 를 구하기 위해 각 해상도별 DWT 계수값에 대한 표준편차 $\sigma_{o,1}$ 과 $\sigma_{o,k}$ ($k=2,3$)를 구한다. 로고영상은 이진 로고영상으로, 이 영상의 1레벨 DWT 계수값을 워터마크로 사용한다. 워터마크는 대상영상의 DWT 계수값 C_x 가 임계값 T 보다 크거나 같은 값을 가지는 위치에 삽입된다.

본 논문에서는 워터마크 검출시 보다 명확하게 데이터의 소유권을 확인하기 위하여 대상 영상에 의미 있는 로고영상을 삽입한다. 그림 2는 그림 1의 Logo Image로 이진 영상(64×64 pixels, 1 bit/pixel)이며 S

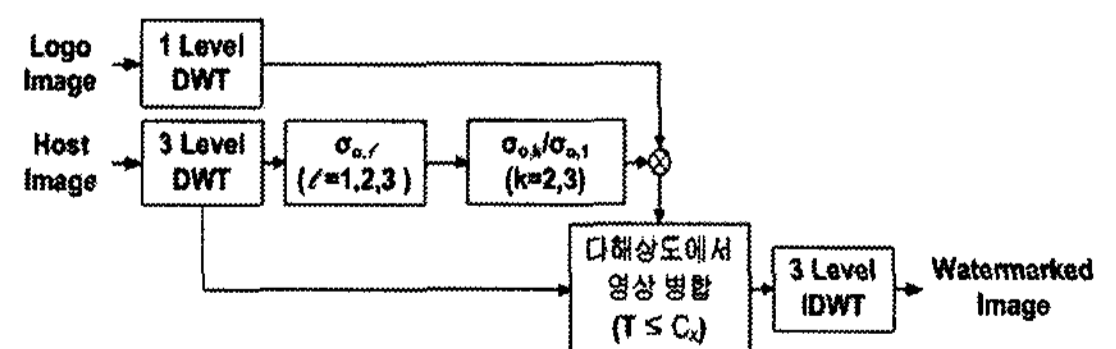


그림 1. 제안 기법의 삽입 블록도



그림 2. 이진 로고영상

자로 선택한 이유는 워터마크가 잘못 검출될 경우 S 자가 6 이나 8 또는 9로 왜곡되어 검출될 수 있기 때문에 이를 이용하여 워터마크 검출방법의 문제점을 파악하기 위해서이다.

본 논문에서 사용한 웨이블릿 필터는 9/7 탭을 가지는 Antonini[3]가 제안한 방법을 이용한다. 표 1은 웨이블릿 필터 계수들이다.

일반적으로 크기가 $2N_{wx} \times 2N_{wy}$ ($N_{wx}=N_{wy}=2^k$)인 이진 로고영상에 대해 1레벨 DWT를 수행하면 크기가 $N_{wx} \times N_{wy}$ 인 부대역 $w_{o,1}$ 이 생성된다. 부대역내 계수값은 $w_{o,1}(p,q)$ 로 나타내며, (p,q) 는 부대역내 계수들의 위치를 나타낸다.

본 논문에서 사용하는 영상 융합의 원리는 대상 영상의 웨이블릿 영역에 워터마크를 삽입하고 IDWT를 수행하였을 때 삽입한 이진 로고영상의 1레벨 DWT 계수값도 동일하게 IDWT가 수행되어 워터마크가 삽입된 영상에 삽입한 영상의 형태를 내재적으로 포함시키는 원리이다. DWT의 MRA(Multi-Resolution Analysis) 분해 과정[8]을 통해 크기가 $2^{n_x} \times 2^{n_y}$ 인 영상에 대해 l 레벨 DWT를 수행하면 $2^{n_x-l} \times 2^{n_y-l}$ 크기의 LL 영역이 만들어지고, 크기가 $2^{n_x-(l,l-1,\dots,2,1)} \times 2^{n_y-(l,l-1,\dots,2,1)}$ 인 HL과 HH, LH 영역들이 만들어진다. IDWT를 하면 LL 영역은 2배의 크기로 확장되고, HL, HH, LH 영역들은 각각 $2^{(l,l-1,\dots,2,1)}$ 배의 크기들로 확장된다. 만약 LL, HL, HH, LH 영역에 다른 영상의 DWT 계수값을 넣고 IDWT를 수행하게 되면 LL, HL, HH, LH 영역에 있는 다른 영상의 DWT 계수값도 동일한 영향을 받게 된다. 만약 대상 영상의 LL, HL, HH, LH 영역에 삽

입된 다른 영상의 DWT 계수값이 크다면 대상 영상에 다른 영상의 형태가 가시적으로 나타나게 된다. 단, 다음과 같은 세 가지 조건이 적용되면 대상 영상의 화질 저하에도 크게 영향을 미치지 않는다.

- (조건1) 삽입하는 영상의 계수값이 작아야 한다.
- (조건2) 동일한 특성의 영역끼리 결합해야 한다.
- (조건3) 삽입 위치를 제한적으로 선택해야 한다.

삽입하는 이진 로고영상의 1레벨 DWT 계수값의 범위는 $-0.68 \sim 2.19$ 이므로 조건1을 만족한다.

두 번째 조건인 동일한 특성의 영역끼리 결합해야 한다는 것은 웨이블릿 영역내 각 부대역들의 특성을 이용하는 것이다. 웨이블릿 영역의 각 부대역들은 저주파수 대역으로부터 고주파수 대역으로의 계층적 정보를 가지고 있다. 이진 로고영상의 LL 영역은 대상영상의 LL 영역에, 그리고 이진 로고영상의 HL 영역은 대상영상의 HL 영상에 삽입한다. LH 영역과 HH 영역도 동일한 방법으로 삽입한다. 저주파수 영역인 LL 영역은 영상의 화질에 중요한 영역이기 때문에 일반적으로 다른 알고리즘들에서는 이 영역에 워터마크를 삽입하지 않는다. HVS(Human Vision System)[9]에 의하면 LL 영역은 휘도 민감도에 적용될 수 있으며, 휘도 민감도에 의하면 인간의 눈은 보다 밝은 부분에 있는 잡음에 덜 민감하므로 LL 영역에 삽입된 작은 값의 워터마크는 워터마크가 삽입된 영상에 가시적으로 나타나지 않는다. 그리고 LL 영역은 DC 성분에 해당하므로 손실 압축 또는 필터링 등의 일반적인 영상 처리에 대해 다른 영역에 비해 덜 영향을 받는다. 인위적인 왜곡에 워터마크의 강건성을 유지하기 위해서는 워터마크의 비율이 낮은 주파수 요소들에 더 많이 포함되어 있어야 한다[5].

워터마크를 대상영상에 가시적으로 나타내지 않고 대상영상의 화질 저하를 최소화하기 위한 세 번째 조건은 워터마크가 삽입되는 위치를 제한적으로 선택하는 것이다. 이 조건을 만족하기 위해서는 DWT 특성을 잘 파악하여 임계값을 설정하여야 한다. 영상의 화질 저하를 고려하여 영상에 있어서 시각적으로 중요하지 않은 부분에 워터마크를 삽입하게 된다면 간단한 인위적인 왜곡에도 워터마크가 손실되어 워터마크를 검출할 수 없게 된다. 왜냐하면 절대값이 작은 계수값들은 압축과 같은 영상 처리 후에 변화가 크기 때문이다[1]. 그러므로 영상에 있어서 중요한

표 1. 웨이블릿 필터 계수

Low pass filter	High pass filter
3.7828456e-002	6.4538883e-002
-2.3849465e-002	-4.0689418e-002
-1.1062440e-001	-4.1809227e-001
3.7740286e-001	7.8848562e-001
8.5269868e-001	-4.1809227e-001
3.7740286e-001	-4.0689418e-002
-1.1062440e-001	6.4538883e-002
-2.3849465e-002	
3.7828456e-002	

부분을 나타내는 절대값이 큰 계수값들에 워터마크를 삽입하여야 한다. 이 계수값들을 중요 계수(SCs : Significant Coefficients)라 하며, DWT 특성에 의해 해상도 단계가 높은 영역(l 값이 큰 영역)일수록 중요 계수가 많다. HL, HH, LH 영역의 중요 계수는 영상의 윤곽선과 직접적인 연관성을 가지고 있으며, LL 영역의 중요 계수는 영상의 평탄 영역과 직접적인 연관성을 가지고 있다. 중요 계수에 워터마크를 삽입함으로써 화질 저하가 많이 발생할 수 있으나, 중요 계수를 어떤 범위 내에서 선택한다면 화질 저하를 최소화하면서 워터마크의 강건성을 유지할 수 있다. 어떤 범위 내에서 중요 계수를 선택하기 위해서는 임계값을 설정하여야 하고, 그 임계값 이상인 중요 계수에 한해서 워터마크를 삽입하여야 한다. 중요 계수에 대해 임계값을 설정할 때 중요한 기준은 다음과 같다.

- ① 삽입 영역내 절대값이 가장 큰 계수값 : Cmax
- ② 워터마크의 전체 개수 : N

본 논문에서 임계값을 설정하는 방법은 삽입 영역의 블록내 절대값이 가장 큰 계수값을 이용하는 것이다. 이 방법은 LL, HL, HH, LH 각각의 영역을 워터마크와 동일한 크기의 블록으로 분할한 후 블록내 절대값이 가장 큰 계수값들을 기준으로 워터마크를 다 삽입할 수 있도록 임계값을 설정하는 방법이다. 이 방법을 이용하면 대상 영상의 웨이블릿 영역에 워터마크가 균일하게 삽입된다. 대상영상의 웨이블릿 영역을 중복되지 않게 $w_{o,l}(p,q)$ 와 동일한 크기인 $N_{wx} \times N_{wy}$ 크기로 분할한다. 각 부대역의 $N_{wx} \times N_{wy}$ 으로 분할된 블록을 $f_{o,l}^i(m,n), o \in \{1,2,3,4\}, l \in \{1,2,\dots,l-1,l\}, i=1, 2, \dots, 2^{n_x+n_y-2(l+k)}$ 로 나타낸다. n_x 와 n_y 는 대상영상의 크기 $2^{n_x} \times 2^{n_y}$ 의 지수들이고, k 는 워터마크의 크기 $2^k \times 2^k$ 의 지수이다. l 레벨 웨이블릿 영역인 경우 각 블록들의 최대값은 다음과 같다.

$$C_{max(LL,l)}^i = |\max_{o \in \{1,2,3,4\}} \max_{all} f_{4,l}^i(m,n)| \quad (1)$$

$$C_{max(HL,l)}^i = |\max_{o \in \{1,2,3,4\}} \max_{all} f_{1,l}^i(m,n)| \quad (2)$$

$$C_{max(HH,l)}^i = |\max_{o \in \{1,2,3,4\}} \max_{all} f_{2,l}^i(m,n)| \quad (3)$$

$$C_{max(LH,l)}^i = |\max_{o \in \{1,2,3,4\}} \max_{all} f_{3,l}^i(m,n)| \quad (4)$$

$$\therefore C_{max(o,l)}^i = |\max_{o \in \{1,2,3,4\}} \max_{all} f_{o,l}^i(m,n)| \quad (5)$$

각 블록들의 최대값들을 이용하여 임계값을 구하

는 식은 다음과 같다.

$$T_{o,l}^i = \frac{(C_{max(o,l)}^1, C_{max(o,l)}^2, \dots, C_{max(o,l)}^{B-1}, C_{max(o,l)}^B)}{d_o^{V(i)}} \quad (6)$$

식 (6)에서 B는 각 부대역내 들어갈 블록의 총 개수로 $2^{n_x+n_y-2(l+k)}$ 이다. 식 (6)에서 각 블록의 최대값은 동일한 $d_o^{V(i)}$ 로 나누어지나 $T_{o,l}^i$ 은 블록에 따라 다르다. 임계값이 설정되면 $f_{o,l}^i(m,n)$ 내 임계값 이상인 값에 대해서만 $w_{o,l}(p,q)$ 내 동일 위치의 값을 삽입한다.

본 논문에서의 워터마크 삽입 가중치는 식 (7)와 같은 형태로 표현할 수 있다[2].

$$\tilde{I}(x,y) = I(x,y)(1 + \alpha \times W(x,y)) \quad (7)$$

식 (7)에서 $I(x,y)$ 는 원본 영상의 주파수 영역이고, $\tilde{I}(x,y)$ 는 워터마크가 삽입된 주파수 영역이다. 그리고 $W(x,y)$ 는 워터마크이고 α 는 워터마크가 삽입될 때 부여되는 워터마크의 가중치이다. α 는 스케일링 변수(scaling parameter)로 신호의 크기에 따라 삽입하는 워터마크의 강도를 적절하게 조절하기 위해 사용하는 변수이다. 워터마크의 삽입 강도를 조절하기 위해 이용되는 부대역들의 특성은 대상영상의 웨이블릿 영역내 계수값들의 통계적 특성에서 중요한 부대역들의 표준편차이다. 대상영상의 DWT 계수값 $f_{o,l}(m,n)$ 의 통계적 특성은 식 (8)와 같다[3].

$$P_{o,l}(x) = a_{o,l} \exp(-|b_{o,l}x|^{r_{o,l}}) \quad (8)$$

$$a_{o,l} = \frac{b_{o,l}^{r_{o,l}}}{2\Gamma(\frac{1}{r_{o,l}})} \quad \text{and} \quad b_{o,l} = \frac{1}{\sigma_{o,l}} \frac{\Gamma(\frac{3}{r_{o,l}})^{1/2}}{\Gamma(\frac{1}{r_{o,l}})^{1/2}}$$

식 (8)에서 $\sigma_{o,l}$ 는 웨이블릿 영역의 부대역 $f_{o,l}$ 에 대한 표준편차이며, $\Gamma(\cdot)$ 는 일반적인 감마 함수이다. 그리고 $r_{o,l}$ 는 Gaussian 확률 밀도 함수인 경우는 2 이고, Laplacian 확률 밀도 함수인 경우는 1이다. 그러므로 해상도 단계가 l 이고 주파수 방향이 0인 부대역 $f_{o,l}$ 의 웨이블릿 계수값에 대한 확률 밀도 함수 $P_{o,l}(x)$ 는 표준편차 $\sigma_{o,l}$ 에 의해 각 부대역들 간에 차이가 발생한다. o 이 동일하고 l 이 다른 부대역을 비교해보면 l 이 큰 영역일수록 표준편차 값이 크다. 본 논문에서는 계수값들의 이러한 통계적 특성을 이용하여 α 값을 설정한다. 각 부대역에 대한 워터마크 삽입 가중치 $\alpha_{o,l}$ 는 식 (9)과 같다.

$$\alpha_{o,l} = \sigma_{o,l} / \sigma_{o,1} \quad (9)$$

그림 3은 3레벨의 웨이블릿 영역에서 각 부대역별로 할당되는 삽입 가중치 $\alpha_{o,l}$ 를 웨이블릿 영역의 위치 값을 대입하여 나타낸 것이다. 즉, $\alpha_{1,2}$ 는 대상영상 DWT 계수값의 표준편차 $\sigma_{1,2}/\sigma_{1,1}$ 를 이용하여 구한 값이다. 본 논문에서 사용하는 워터마크는 해상도 단계가 모두 1 이므로 대상영상의 웨이블릿 영역에서 해상도 단계가 1 인 영역을 기준으로 α 을 설정한다. 그림 3의 왼쪽 상단에 있는 것이 이진 로고영상의 1레벨 DWT 계수값이고 오른쪽에 있는 것이 3레벨 DWT를 수행한 대상영상이다. 그림 3의 오른쪽 대상 영상에서 점선으로 구분된 것은 삽입하는 이진 로고 영상의 부대역과 동일한 크기의 블록들을 나타낸다. 그림 3에서 HL, LH, HH 영역이 해상도 단계별로 생성되므로 LL 영역을 제외한 HL, LH, HH 영역에 중복적으로 워터마크를 삽입하는 이유는 인위적인 왜곡으로 인해 특정 대역이 훼손될 경우 다른 대역에 삽입된 워터마크를 검출하여 저작권을 주장할 수 있기 때문이다.

특정 대역에 따라 왜곡에 대한 반응이 틀린 데 저주파수 영역은 압축에 강하며, 중간대역 주파수 영역은 압축이나 저대역 통과 필터에 취약하나 휘도 성분을 변형시키는 공격에는 아주 강하다[4]. 대상 영상에 따라 적응적인 가중치가 적용되면 워터마크 강도가 적절하게 조절되므로 영상에 불필요한 화질 저하가 발생하지 않는다.

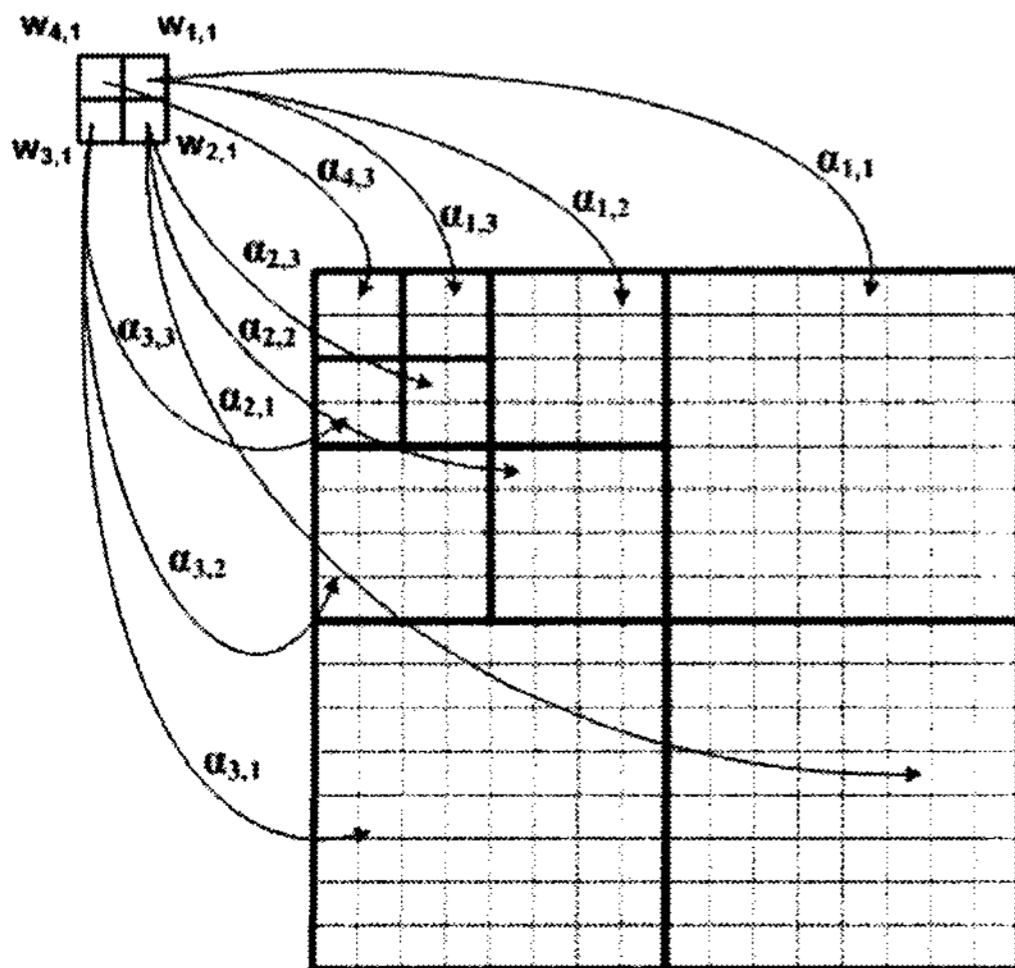


그림 3. 3레벨 영역에서의 워터마크 삽입 가중치

```

if (o=1 or o=2 or o=3 or o=4) then
  for( i is 1 to 2nx+ny-2(l+k) )
    for(p is 0 to Nwx-1,q is 0 to Nwy-1)
      if( fo,li(p,q) ≥ To,li ) then
        fo,lw,i(p,q) = fo,li(p,q) + Wo,1(p,q)
      end if
    end for
  end for
end if
    
```

그림 4. 워터마크 삽입 과정

워터마크의 삽입 위치와 삽입 가중치가 결정되면 대상 영상에 삽입되는 워터마크는 식 (10)과 같다.

$$W_{o,1}(p,q) = \alpha_{o,1} \cdot w_{o,1}(p,q) \quad (11)$$

그림 4는 워터마크 삽입 과정을 나타낸 것이다. $f_{o,l}^{w,i}(p,q)$ 는 대상 영상의 웨이블릿 영역에서 분할된 블록내 워터마크가 삽입된 계수값이다.

2.2 워터마크 검출

일반적으로 워터마크의 검출은 워터마크 삽입의 역과정이다. 만약 강건하고 비가시적인 워터마킹 기법을 구현하기 위해, 워터마크가 복잡한 과정으로 삽입된다면 워터마크의 검출도 복잡한 과정이 될 것이다. 또한 복잡한 삽입 과정으로 인해 많은 시간이 소요된다면 검출 과정 역시 많은 시간이 소요된다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 본 논문에서는 워터마크 삽입의 역과정으로 워터마크를 검출할 뿐만 아니라, 워터마크가 삽입된 영상에 내재적으로 포함된 워터마크도 검출할 수 있도록 워터마크의 삽입 기법을 설계한다. 본 논문에서의 워터마크 검출 방법은 두 가지인데, 첫 번째 방법은 삽입의 역과정으로 웨이블릿 영역에서 워터마크를 검출하고, 두 번째 방법은 대상영상의 공간 영역에서 워터마크의 형태를 검출한다.

워터마크 검출 방법 1은 워터마크 삽입의 역과정이다. 그림 5는 워터마크 검출 방법 1을 나타낸 것이다. 워터마크 검출 방법 1은 원본 영상과 워터마크를 검출하고자 하는 영상을 호출하여 l레벨 DWT를 수행한 후, 각각의 LL, HL, HH, LH 영역별로 임계값이 상인 부분에 대해 원본 영상과 워터마크를 검출하고자 하는 영상간의 차로부터 워터마크를 검출한다. 그

```

if (o=1 or o=2 or o=3 or o=4)then
  for(i is 1 to 2nx+ny-2(l+k))
    for(p is 0 to Nwx-1,q is 0 to Nwy-1)
      if(( $\tilde{w}_{o,l}(p,q)=\max_{oer\ all} w_{o,l}(p,q)+0.1$ )
        and( $f_{o,l}^i(p,q) \geq T_{o,l}^i$ )) then
         $\tilde{w}_{o,l}(p,q) = \frac{\tilde{f}_{o,l}^{w,i}(p,q) - f_{o,l}^i(p,q)}{\alpha_{o,l}}$ 
      else  $\tilde{w}_{o,l}(p,q)=\max_{oer\ all} w_{o,l}(p,q)+0.1$ 
    end if
  end for
end for
end for
end if
    
```

그림 5. 워터마크 검출 방법 1의 과정

리고 각각의 영역별로 검출된 워터마크를 조합한 뒤, IDWT를 수행하여 이진 로고영상을 생성한다.

그림 5에서 $\tilde{f}_{o,l}^{w,i}(m,n)$ 는 워터마크를 검출하고자 하는 영상의 블록내 계수값이고 $\tilde{w}_{o,l}(p,q)$ 는 검출된 워터마크이다. $\tilde{w}_{o,l}(p,q)$ 는 $w_{o,l}(p,q)$ 의 최대값에 0.1을 더한 값으로 초기화한 뒤, 워터마크가 제대로 검출된 경우에만 검출된 워터마크로 대체된다. 이것은 워터마크의 중복 검출을 막고 결과에서 검출된 부분과 검출되지 않은 부분을 판별하기 위해서이다.

대상영상의 웨이블릿 영역에 이진 로고영상의 DWT 계수값을 넣고 IDWT를 수행하면 삽입된 이진 로고 영상의 DWT 계수값도 동일하게 IDWT가 수행되어 대상영상이 이진 로고 영상의 형태를 내포하게 된다. 이러한 특성을 이용해 워터마크 검출 방법 2는 소유권자만이 가지고 있는 원본 영상과 워터마크가 삽입된 영상간의 차영상으로 간단하게 워터마크가 검출된다.

그림 6은 워터마크 검출 방법 2의 과정을 나타낸 것이다.

그림 6에서 $f_d(m,n)$ 는 워터마크가 검출된 결과 영

```

for(i is 0 to 2nx-1, j is 0 to 2ny-1)
   $f_d(m,n) = f(m,n) - f_w(m,n)$ 
  if (  $f_d(m,n) < 0$  ) then
     $f_d(m,n) = f_d(m,n) + 255$ 
  end if
end for
    
```

그림 6. 워터마크 검출 방법 2의 과정

상이고, $f_w(m,n)$ 는 워터마크를 검출하고자 하는 영상이다. 일반적으로 워터마크가 삽입된 영상은 원본 영상보다 부분적으로 약간 큰 화소값을 가진다. 이러한 특성을 이용하여 원본 영상에서 워터마크가 삽입된 영상의 차를 구하면 결과가 0 보다 작은 값들을 구하게 되고, 이 값에 8비트 그레이스케일 영상의 최대 화소값인 255를 더하면 뚜렷한 로고 형태가 검출된다.

3. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서 제안한 기법은 윈도우 기반 Visual C++ 6.0 환경에서 구현되었다. 실험영상은 512×512 크기의 그레이스케일(8 bits/pixel) 표준 영상인 Airplane, Barbara, Bridge, Goldhill, Lena, Peppers를 사용하였다. 실험영상들은 영상내 구성 요소와 영상의 복잡도면에서 서로 차이가 있는 영상들로 구성하였다.

워터마크가 삽입된 영상에 대해 워터마크의 비가시성과 강건성 측면에서 실험하였다. 비가시성 측면에서 평가하기 위하여 연구자의 시각적 판단으로 삽입된 워터마크의 형태가 워터마크를 삽입한 영상에 나타나는 지 조사하였고, PSNR를 이용하여 화질 저하를 평가하였다. 그리고 강건성 측면에서 평가하기 위하여 워터마크가 삽입된 영상에 대해 중간값 필터링, 잡음 첨가, JPEG 압축과 같은 인위적인 왜곡을 인가한 후에 워터마크를 검출하였다.

본 논문에서 제안한 기법을 실험 영상의 3 레벨 DWT한 영역에 적용하였다. 그림 7은 Barbara 영상의 3레벨 DWT 영역에서 워터마크가 삽입된 위치를 나타낸 것이다.



그림 7. 워터마크가 삽입된 위치

표 2는 각 부대역에 대한 워터마크의 삽입 가중치를 나타낸 것이다. 표 2에서 동일 주파수 방향을 가진 영역을 기준으로 해상도 단계가 클수록 표준편차는 커지기 때문에, 해상도 단계 1을 기준으로 각 해상도 단계의 가중치를 계산하면 높은 해상도 단계의 가중치가 가장 높았다. 이것은 원본 신호가 큰 곳에 워터마크의 삽입 강도가 큰 워터마크를 삽입하는 워터마킹의 기본 원리와 일치한다.

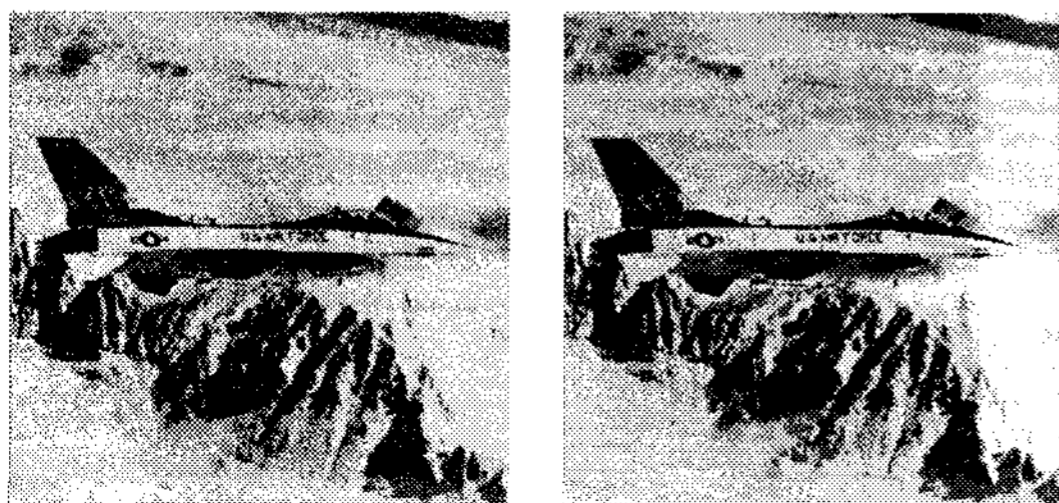
그림 8은 원본 Airplane 영상과 3레벨 웨이블릿 영역에서 워터마크가 삽입된 Airplane 영상이다. 시각적 판별을 위해 Airplane 영상을 선택한 이유는 이 영상은 평탄 영역이 많아 영상에 잡음이 섞일 경우 시각적으로 명확하게 드러나기 때문이다. 그림 8을 보면 워터마크의 존재가 가시적으로 나타나지 않는 것을 알 수 있다.

표 3은 실험 영상들에 대해 워터마크를 삽입한 후에 PSNR를 조사한 것이다.

표 4는 제안 기법과 웨이블릿 영역에서 구현된 Hsu[5], Huang[10], Kwon[11]을 비가시성 측면에서 비교한 것이다.

표 2. 부대역들의 워터마크 삽입 가중치

영상 부대역	Airplane	Barbara	Bridge	Goldhill	Lena	Peppers
$\alpha_{1,2}$	3.30	1.40	2.21	2.81	3.21	2.62
$\alpha_{2,2}$	4.67	4.11	2.48	4.03	3.65	1.68
$\alpha_{3,2}$	2.43	3.93	2.47	2.77	3.14	2.63
$\alpha_{1,3}$	8.77	2.20	4.69	6.72	8.99	7.76
$\alpha_{2,3}$	15.09	4.40	4.95	9.30	11.06	5.00
$\alpha_{3,3}$	6.65	8.47	5.78	6.45	7.96	7.10
$\alpha_{4,3}$	3.67	3.72	3.65	3.86	3.77	3.79



(a) 원본 영상 (b) 워터마크가 삽입된 영상 (3 level)

그림 8. 원본 영상과 워터마크 영상의 시각적 비교

워터마크는 영상을 기준으로 보면 잡음이므로 저역통과 필터보다는 중간값 필터링에 더 취약하다. 표 5는 3x3 중간값 필터링을 사용하여 실험한 결과를 PSNR과 함께 나타낸 것이다. 표 5를 보면 검출 방법 1은 영상에 따라 검출 결과가 불규칙적이지만, 검출 방법 2는 모든 영상에서 명확하게 로고 형태가 나타나므로 중간값 필터링에 대하여 강건성이 우수한 것을 알 수 있다.

그림 9는 워터마크가 삽입된 Lena 영상을 중간값 필터링한 경우에 검출 방법 1과 검출 방법 2의 가시적 결과를 나타낸 것이다.

그림 10은 Bao[7] 기법에서 사용된 로고 영상과 Lena 영상에서 중간값 필터링 결과이다. Bao[7]의 기법은 중간값 필터링에 약한 것을 알 수 있다. 일반적으로 워터마킹 기법들은 잡음을 제거하는 중간값 필터링에 약하다.

그림 11은 워터마크가 삽입된 Goldhill 영상에 Salt & Pepper 잡음을 10%와 100% 첨가한 경우를

표 3. 워터마크가 삽입된 영상의 PSNR

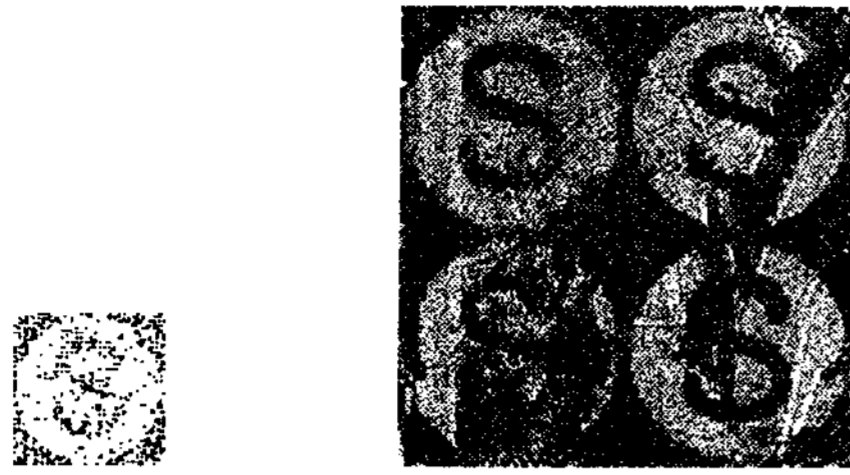
영상 \ level	3 Level
Airplane	39.68
Barbara	46.34
Bridge	42.87
Goldhill	43.18
Lena	50.30
Peppers	37.90

표 4. 워터마크가 삽입된 Lena영상의 PSNR 비교

제안	Hsu[5]	Huang[10]	Kwon[11]
50.30	44.18	52.63	38.63

표 5. 중간값 필터링한 경우의 검출 결과 및 PSNR

영상 \ level	3 Level		
	검출 방법		PSNR
	1	2	
Airplane	○	○	30.44
Barbara	△	○	24.72
Bridge	x	○	26.69
Goldhill	x	○	32.32
Lena	△	○	35.38
Peppers	△	○	29.01



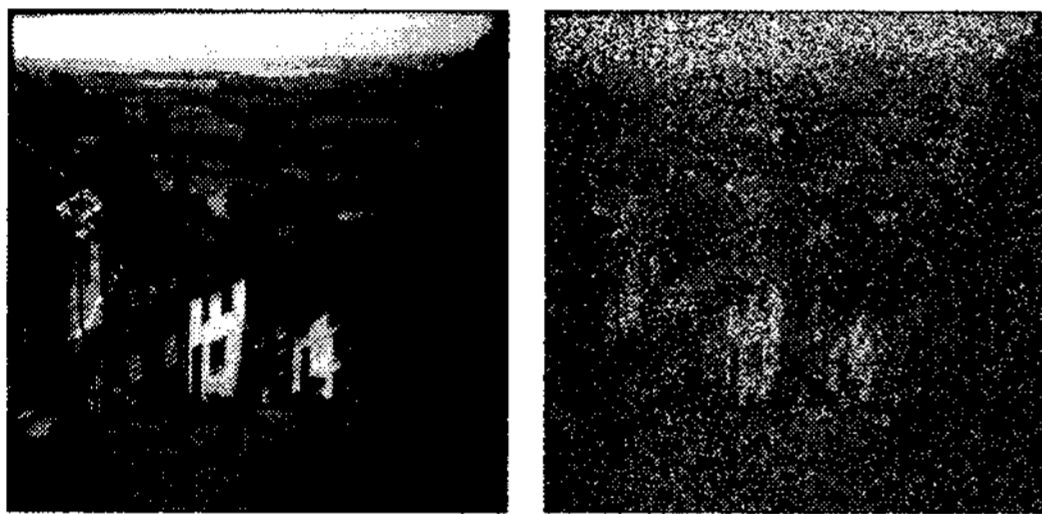
(a) 검출 방법 1 (b) 검출 방법 2

그림 9. Lena 영상의 중간값 필터링 검출 결과



(a) 로고 영상 (b) 검출 결과

그림 10. Bao 중간값 필터링에 대한 검출 결과



(a) 10% (b) 100%

그림 11. Goldhill의 Salt & Pepper 잡음 정도

나타낸 것이다. 이 잡음은 영상의 최대값과 최소값으로 구성된 잡음으로 잡음이 첨가된 영상에 대해 DWT를 수행하면 잡음이 첨가된 부분이 중요 계수로 선택되어 중요 계수를 워터마크의 삽입 위치로 선정하는 기법에는 치명적인 영향을 미친다.

표 6은 워터마크가 삽입된 영상에 대해 Salt & Pepper 잡음을 10% 인가한 경우에 워터마크의 검출 결과 및 PSNR를 나타낸 것이며 그림 12는 워터마크가 삽입된 Goldhill 영상에 잡음을 10% 인가한 경우의 검출 방법 1의 결과이다.

워터마크가 삽입된 영상에 잡음을 100% 인가한 경우에 검출 방법 1을 이용해서는 워터마크를 검출할 수 없지만 검출 방법 2를 이용할 경우에는 실험 영상 모두에서 검출이 가능하였다. 그림 13은 워터마크가 삽입된 Goldhill 영상에 Salt & Pepper 잡음을 100% 인가한 경우 그에 대한 검출 방법 2의 가시적 결과를 나타낸 것이다. Yiwei[12]의 실험에서는 Salt

표 6. 잡음을 10% 인가한 경우의 검출 결과

영상	level	3 Level		PSNR
		검출 방법		
		1	2	
Airplane	x	○	27.59	
Barbara	x	○	29.19	
Bridge	x	○	28.71	
Goldhill	x	○	28.44	
Lena	x	○	29.10	
Peppers	x	○	28.48	

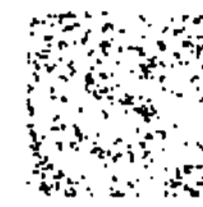


그림 12. 잡음을 10% 인가시 검출 방법 1의 결과

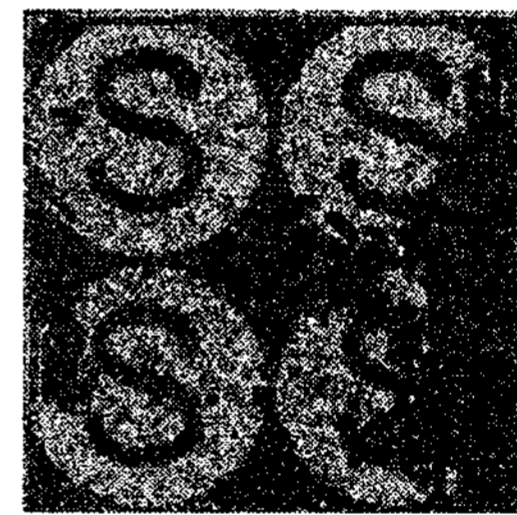


그림 13. 잡음을 100% 인가시 검출방법 2의 결과

& Pepper 잡음을 1% 인가하여 우수한 결과를 보였다. 하지만 본 논문에서는 100%까지 인가하여 실험하였으며, 검출 방법 2가 Salt & Pepper 잡음에 대하여 강건성이 우수한 것을 알 수 있었다.

워터마크가 삽입된 영상을 다양한 압축률에 따라 JPEG 압축하여 강건성을 실험하였다. 표 7는 워터마크가 삽입된 영상을 JPEG 압축할 경우, 압축률에 따른 검출 결과를 나타낸 것이다. 표 7의 원문자는 영상에 따라 차이를 나타내는 경우에 대해 표시한 것으로 그 차이는 다음과 같다.

- ① Goldhill 영상(△)
- ② Airplane 영상(○), Lena 영상(○)
- ③ Barbara 영상(△), Lena 영상(△)

80% 이상의 압축률로 JPEG 압축된 영상은 가시적으로 블록킹 현상이 발생하여 일반적으로 사용하지 않는다. 이러한 실제적인 경우를 기준으로 한다면 제안 기법은 워터마크 검출이 가능하므로 강건성 측면에서 우수한 것을 알 수 있다.

표 7. JPEG 압축률에 따른 평균적인 검출 결과

압축률	level	3 Level	
		검출 방법	
		1	2
1.5:1 (38.3%)		○	○
2.9:1 (63.3%)		○	○
4.7:1 (77.0%)		○	○
6.9:1 (79.7%)		○	①○
7.8:1 (84.8%)		x	②△
9.8:1 (88.3%)		x	③x
13.5:1 (89.8%)		x	x

표 8은 원본 Lena 영상과 워터마크가 삽입된 Lena 영상의 JPEG 압축률에 따른 PSNR을 나타낸 것이다.

다른 워터마킹 기법으로 워터마크가 삽입된 영상이 표 8의 워터마크 미 삽입의 PSNR보다 더 좋은 결과가 나오는 경우는 실험 결과를 비교하는 데 의미가 없으므로 비교에서 제외하였다.

표 9는 본 논문에서 제안한 기법으로 Lena 영상에 워터마크를 삽입한 경우와 Hsu[13] 기법을 PSNR에서 비교한 것이다. Hsu[13] 기법의 압축률은 본 논문에서 실험한 압축률과 유사하거나 조금 낮은 경우를 기준으로 비교하였다. 본 논문에서 제안한 방법이 Hsu[13]보다 PSNR에서 더 우수한 것을 알 수 있다.

그림 14는 Hsu[13]에서 사용한 워터마크 영상이며 그림 15는 JPEG 압축률에 따른 Hsu[13]의 가시적 워터마크 검출 결과들이다. 그림 15를 보면 Hsu[13]는 압축률이 8.46 이상인 경우에 워터마크로 사용된 영상내 글자들이 깨지는 현상이 발생하였다. 그림 16은 동일 영상(Lena)에 대해 Hsu[13]의 JPEG 압축률

표 8. Lena 영상의 JPG 압축률에 따른 PSNR

압축률	워터마크 유무	워터마크 미 삽입	3 level
1.5:1(38.3%)		53.40	48.45
2.9:1(63.3%)		43.41	42.56
4.7:1(77.0%)		39.75	39.32
6.9:1(79.7%)		38.93	38.55
7.8:1(84.8%)		36.73	36.49
9.8:1(88.3%)		34.06	33.90
13.5:1(89.8%)		32.14	32.02

표 9. 제안 기법과 Hsu[13]기법의 PSNR

평가	제안 기법의 압축률				
	4.7:1	6.9:1	7.8:1	9.8:1	13.5:1
PSNR	39.32	38.55	36.49	33.90	32.02
평가	Hsu[13]의 압축률				
	4.41:1	6.55:1	7.81:1	9.81:1	10.74:1
PSNR	35.52	33.15	32.07	31.41	31.27

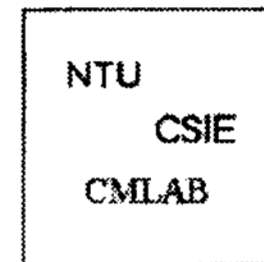
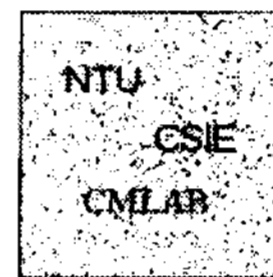
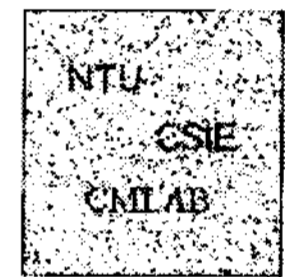


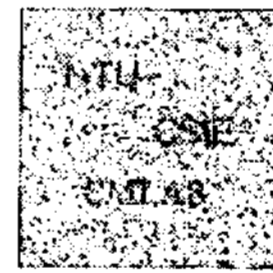
그림 14. Hsu[13]의 워터마크



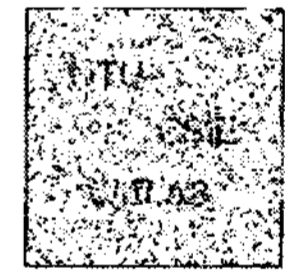
(a) 압축률 5.92



(b) 압축률 7.16

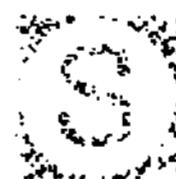


(c) 압축률 8.46

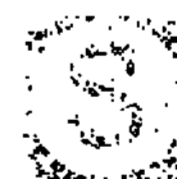


(d) 압축률 9.05

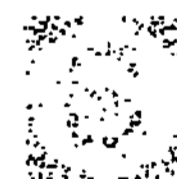
그림 15. Hsu[13]의 워터마크 검출 결과



(a) 압축률 6.9



(b) 압축률 7.8



(c) 압축률 9.8

그림 16. 제안 기법의 검출 결과

보다 높거나 유사한 경우에 검출 방법 1과 검출 방법 2에 의해 검출된 가시적 워터마크 검출 결과들이다. 그림 15와 16을 가시적 판별 기준에서 비교해보면 제안 기법이 높은 압축률에도 불구하고 검출 결과가 더 좋은 것을 알 수 있다. 영상 형태의 워터마크를 사용하는 경우에는 가시적 검출 결과를 비교하는 것이 더 중요하다.

4. 결 론

본 논문에서 제안한 기법은 워터마크의 삽입 위치

와 삽입 가중치를 대상 영상의 특성에 따라 설정하므로 영상에 적응적인 워터마킹 기법이며, 워터마크 검출 방법이 두 가지이기 때문에 워터마크가 삽입된 영상이 인위적으로 왜곡되었을 때 이 두 가지 검출 방법을 상호 보완적으로 이용할 수 있다. 제안 기법은 두 가지 검출 방법을 이용할 수 있기 때문에 기존의 방법에 비해 강건성 측면에서도 우수한 것을 실험을 통해 알 수 있었다. 특히 검출 방법 2는 기존의 기법들이 취약한 중간값 필터링에서 특히 좋은 결과가 나왔으며, 잡음이나 JPEG 압축에서도 좋은 결과가 나왔다. 검출 방법 2는 소유권에 대한 명확성을 빠르게 제시할 수 있으므로 빠른 시간내 많은 영상의 소유권을 판별해야하는 응용 분야에서 유용하게 사용할 수 있다. 검출 방법 1 또한 기존의 기법들과 유사하거나 더 좋은 결과가 나왔다. 제안 기법은 웨이블릿 영역에 삽입된 워터마크가 대상 영상의 어떤 위치에서 어떤 형태로 나타나는지 알 수 있기 때문에 다양한 워터마킹 기법 구현이 가능하다.

참 고 문 헌

- [1] I.J. Cox, 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, Dec. 1997.
- [2] M.L. Miller, I.J. Cox and JP M.G. Linnartz, "A review of watermarking principles and practices," *Published in Digital Signal Processing in Multimedia Systems*, Ed. K. K. Parhi and T. Nishitani, Marcell Dekker Inc., pp. 461-485, 1999.
- [3] M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu, and I. Daubechies, "Image Coding using Wavelet Transform," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol.1, No.2, pp. 205-220, Apr. 1992.
- [4] Gerhard C. Langelaar, Iwan Setyawan and Reginald L. Lagendijk, "Watermarking digital image and video data," *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol.17, No.5, pp. 20-46, Sep. 2000.
- [5] Chiou-Ting Hsu and Ja-Ling Wu, "Multi-resolution Watermarking for Digital Images," *IEEE Transactions on circuits and systems-II :Analog and Digital Signal Processing*, Vol.45, No.8, pp. 1097-1101, Aug. 1998.
- [6] Ming-Shing Hsieh and Din-Chang Tseng, "Hiding Digital Watermarks Using Multiresolution Wavelet Transform," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, Vol.48, No.5, Oct. 2001.
- [7] Paul Bao and Xiaohu Ma, "Image Adaptive Watermarking Using Wavelet Domain Singular Value Decomposition," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol.15, No.1, pp. 96-102, Jan. 2005.
- [8] S. Mallat, "A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intel.*, Vol.11, No.7, pp. 674-693, July 1989.
- [9] A.S. Lewis and G. Knowles, "Image compression using the 2-D wavelet transform," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol.1, No.2, pp. 244-250, Apr. 1992.
- [10] Jianyong Huang and Changsheng Yang, "Image Digital Watermarking Algorithm Using Multiresolution Wavelet Transform," *IEEE int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics*, Vol.3, pp. 2977-2982, Oct. 2004.
- [11] S.G. Kwon, S.W. Ban, I.S. Ha, K.R. Kwon, and K.I. Lee, "Highly Reliable Digital Watermarking Using Successive Subband Quantization and Human Visual System," *in Proc. IEEE int. Symposium on ISIE*, Korea, Vol.1, pp. 205-209, June 2001.
- [12] Yiwei Wang, John F. Doherty, Van Dyck, and Robert E, "A wavelet-based watermarking algorithm for ownership verification of digital images," *IEEE Trans. Image Process*, Vol.11, No.2, pp. 77-88, Feb. 2002.
- [13] 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.



김 동 현

- 1993년 경희대학교 전자공학과 학사
- 1995년 경희대학교 전자공학과 공학석사
- 2006년 경희대학교 전자공학과 공학박사
- 2008년 현재 (주)코드엑트 연구 소장

관심분야 : 디지털 워터마킹, 동영상처리, 멀티미디어 통신



최 인 호

- 1990년 경희대학교 전자공학과 학사
- 1992년 경희대학교 전자공학과 공학석사
- 2000년 경희대학교 전자공학과 공학박사
- 2008년 현재 김포대학 정보통신과 부교수

관심분야 : 디지털 워터마킹, 영상처리, 영상검색, 영상 통신