

웨이블릿 패킷을 이용한 디지털 워터마킹 알고리즘

석성진*, 정태연*, 황희철*, 이경환**, 김덕규*

*경북대학교 전자공학과

**위덕대학교 멀티미디어공학과

Digital Watermarking Algorithm Using Wavelet Packet

Sung-Jin Seok*, Tae-Yeon Jung*, Hee-Chul Hwang*, Kyeong-Hwan Lee**,
Duk-Gyoo Kim*

*School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook Nat'l University

**Dept. of Multimedia Engineering, Uiduk University

E-mail : ssjin@tbc.co.kr

요약

본 논문에서는 손실압축이 데이터량을 줄이기 위해 고주파 성분을 제거함에 감안하여 JPEG과 같은 손실압축에 강하고 시각적으로 감지하기 어려운 웨이블릿 패킷을 이용한 디지털워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 원영상을 웨이블릿 변환을 이용하여 4-레벨로 분활한 후 저주파 성분의 계수를 선택하기 위해 부대역별로 다시 웨이블릿 변환을 실시했다.

1. 서론

멀티미디어 관련 산업의 발전과 컴퓨터 네트워크 기술의 발전으로 영상, 음성 등의 멀티미디어 자료들이 디지털화 되고 쉽게 전송 되어지고 있다. 이런 전송된 자료들은 편집, 복사등의 처리가 용이하고 이런 과정을 거친 후에도 열화가 거의 생기지 않아 펼연적으로 원본을 찾기 어려워지고 이런 자료들이 상업적으로 이용되었을 경우 저작권의 문제가 생기게 된다. 이에 대한 대안으로 제시된 것이 디지털 워터마킹(digital watermarking)이다.

디지털 워터마킹이란 멀티미디어 데이터에 원소유권자만의 정보(워터마크)를 삽입하여 저작권 문제가 발생시 삽입된 워터마크를 추출하여 원소유권자임을 증명하는 방법이다. 이미지 데이터에 대한 디지털 워터마킹 알고리즘은 크게 비가시성(invisibility)과 견고성(robustness)의 두 가지 필요 조건을 갖는다.

비가시성과 견고성은 상호 보완적(trade-off)인 성격을 나타내므로 비가시성과 견고성을 동시에 만족시키는 워터마킹 알고리즘이 요구된다.

현재까지 제안된 워터마킹 알고리즘은 워터마크가 삽입되는 영역에 따라 공간 영역(spatial domain)에

서의 방법[1-2]과 주파수 영역(frequency domain)에서의 방법[3-9]으로 나뉜다. 공간 영역에서의 워터마킹 방법은 간단하며 수행이 빠르지만, 잡음이나 손실부호화(lossy coding)등에 견고하지 못하다. 따라서 최근에는 주파수 영역에서 워터마크를 삽입하는 방법이 더욱 활발하게 제안되고 있다. 주파수 영역에서의 워터마킹 방법은 크게 DCT를 이용한 방법과 DWT를 이용한 방법으로 나눌 수 있다. DCT를 이용한 방법으로 1997년 Cox 등[3]은 대역확산방법(secure spread spectrum)을 제안하였다. 이 방법에서는 전체 영상을 DCT를 이용하여 주파수 영역으로 변환한 후, DC 계수를 제외한 DCT 계수들 중 크기가 큰 1000개를 선택하여 워터마크를 삽입한다.

1997년 Barni 등[4]은 중간 주파수 대역에 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. 이 방법에서는 전체 영상을 DCT를 이용하여 주파수 영역으로 변환한 후, 중간 주파수 대역의 DCT 계수들을 선택하여 워터마크를 삽입한다.

주파수 영역에서의 또 다른 워터마킹 방법으로써 이산 웨이블릿 변환(discrete wavelet transform,

DWT)을 이용하는 방법[7-9]이 제안되고 있다. 웨이블릿 변환은 인간의 시각 구조와 매우 유사한 다해상도 (multiresolution) 특성을 나타내고 있을 뿐만 아니라, 시간-주파수 영역의 국부성 (localization)을 가지기 때문에 비정상상태 (non-stationary) 신호를 처리하는데 효과적이어서 영상 처리 분야에서 널리 이용되고 있다. 1998년 Dugad 등[5]은 원 영상을 DWT를 이용하여 3-레벨로 분해한 후, 원 영상의 대부분의 에너지를 갖는 기저대역을 제외한 나머지 부대역의 계수들 중 특정 문턱값보다 큰 계수들을 선택하여 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다.

1998년 Podilchuk 등[6]은 인간 시각의 JND (just-noticeable difference)를 이용한 워터마킹 방법을 제안하였다. 이 방법에서는 원 영상을 DWT를 이용하여 4-레벨로 분해한 후, 기저대역을 제외한 모든 부대역에 대하여 각 부대역별로 JND보다 큰 계수들을 워터마크가 삽입될 계수들로 선택한다. 이렇게 선택된 계수들에 대하여 각 고주파 부대역의 JND를 삽입강도로 이용하여 워터마크를 삽입한다.

2000년 Lumini 등[7]은 영상에 따라 다른 삽입강도를 갖는 워터마킹 방법을 제안하였다. 이 방법에서는 원 영상을 DWT를 이용하여 4-레벨로 분해한 후, 해상도가 낮은 두 레벨의 부대역에 대하여 계수들의 평균값보다 크기가 큰 계수들을 선택하여 워터마크를 삽입한다. 이때 사용되는 워터마크의 삽입강도는 원 영상에서 국부 분산 (local variance)을 이용하여 결정된다.

본 논문에서는 JPEG과 같은 손실압축(lossy compression)에 장인하고 비가시성도 뛰어난 웨이블릿 패킷 변환 (wavelet packet transform,WPT) 디지털 워터마킹 방법을 제안하였다.

제안한 방법에서는 원 영상을 DWT를 이용하여 4-레벨로 분해한 후, 각 부대역에 대해서 웨이블릿 분해를 재설시하여 주파수 영역을 재분할한 후 저주파 영역의 절대값이 큰 계수들을 선택한다. 선택된 계수들에 대해 인간 시각 시스템 (human visual system, HVS)[8-9]을 고려하여 시각적으로 감지할 수 없는 범위 내에서 가장 큰 크기의 워터마크가 삽입되도록 삽입강도를 변화시킨다. 이와 같이 함으로써 비가시성과 견고성 모두 우수하게 만족시킨다.

본 논문에서 제안한 워터마킹 방법의 성능을 평가하기 위하여 LENA, GOLDHILL, BARBARA, BABOON 및 MAN 영상에 대하여 컴퓨터 모의실험을 행하였다. 실험결과에서 제안한 방법이 기존의 방

법에 비하여 우수한 비가시성과 견고성을 가짐을 확인할 수 있었다.

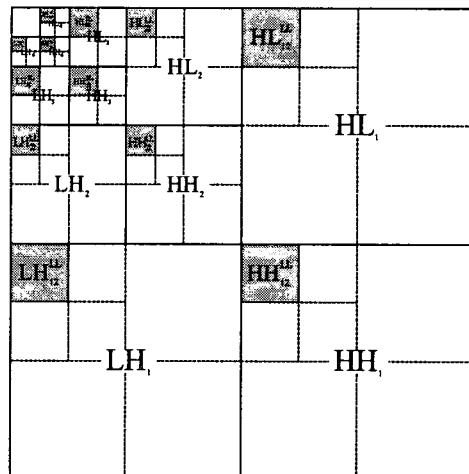


그림 1. 4-레벨 웨이블릿 패킷 분해

2. 제안한 워터마킹 방법

손실압축(lossy compression)이 영상의 높은 주파수 성분의 계수를 제거하여 전체의 정보량을 줄이는 방법이므로 높은 주파수 성분의 계수에 워터마크를 삽입하면 손실압축시 필연적으로 견고성이 떨어진다.

본 논문에서는 비가시성과 견고성을 만족시키기 위하여 그림 1에서와 같이 패킷 웨이블릿을 실시하여 주파수 영역을 재분할한 후 저주파 영역의 계수를 선택했다. 영상에서 대부분의 에너지를 갖고 있어서 복원 영상의 화질에 큰 영향을 미치는 기저대역 LL4에 대하여서는 화질의 열화를 방지하기 위하여 워터마크를 삽입하지 않는다. 이렇게 선택된 계수들에 인간 시각 시스템을 고려하여 워터마크 삽입강도를 달리했다. 이때 삽입한 워터마크로는 정규 분포 (normal distribution)를 갖는 랜덤 시퀀스 (random sequence)를 사용한다.

삽입된 워터마크는 벡터 투영 (vector projection) 방법을 사용하여 검출하며 원래의 워터마크와 검출된 워터마크의 유사도 (similarity)를 계산하여 워터마크의 존재 유무를 확인한다.

2.1 계수선택

손실압축(lossy compression)이 영상의 높은 주파수 성분의 계수를 제거하여 전체의 정보량을 줄이는

방법이므로 높은 주파수 성분의 계수에 워터마크를 삽입하면 손실압축시 필연적으로 견고성이 떨어진다. 그래서 모든 부대역에 대해서 웨이블릿변환을 재실행하여 주파수 영역을 재 분할 한후 저주파 영역의 계수를 선택하는 방법을 사용했다. 그 과정은 다음과 같다.

- 1단계 : 먼저 영상을 4-레벨로 웨이블릿 분해한다.
- 2단계 : 1단계에서 분해한 레벨1과 레벨2의 부대역에 대해서 각각 2-레벨 웨이블릿 분해를 재 실시한다
- 3단계 : 1단계에서 분해한 레벨3과 레벨4의 부대역에 대해서 각각 1-레벨 웨이블릿 분해를 재 실시한다
- 4단계 : 2단계 결과로 생긴 HL_{12}^{LL} , HH_{12}^{LL} , LH_{12}^{LL} 영역과 HL_{22}^{LL} , HH_{22}^{LL} , LH_{22}^{LL} 영역에 대해 각각 상위 40개의 계수를 선택하여 워터마크를 삽입한다.
- 5단계 : 3단계 결과로 생긴 HL_{31}^{LL} , HH_{31}^{LL} , LH_{31}^{LL} 영역과 HL_{41}^{LL} , HH_{41}^{LL} , LH_{41}^{LL} 영역에 대해 각각 상위 60개의 계수를 선택하여 워터마크를 삽입한다.

제안한 방법에 의한 LENA 영상의 선택된 계수들을 나타내면 그림 2에서와 같다.

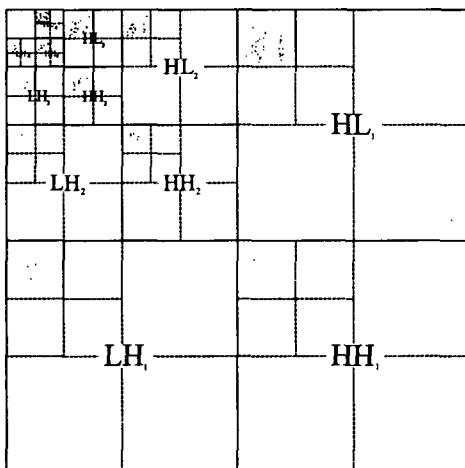


그림 2. LENA 영상에 대해 선택된 계수들의 위치

2.2 워터마크 삽입

제안한 방법에서, 워터마크가 삽입될 계수의 크기

를 $v_{i,j,l}$ 워터마크가 삽입된 계수의 크기를 $v'_{i,j,l}$ 라 할 때 워터마크의 삽입은

$$v'_{i,j,l} = v_{i,j,l} \times (1 + \alpha_l \times x_{i,j,l}) \quad (1)$$

와 같다[3,7-9]. 여기서, α_l 및 $x_{i,j,l}$ 는 각각 삽입될 워터마크에 대한 삽입 강도 및 삽입될 워터마크의 크기를 나타내고, i 및 j 는 고주파 부대역에서의 세로 및 가로 방향으로의 위치를 나타내며, l 은 각 고주파 부대역의 레벨을 나타낸다.

원 영상을 DWT를 이용하여 4-레벨로 분해한 후 기저대역을 제외한 모든 부대역에 대하여 각 부대역별로 웨이블릿 분해를 재실행하여 절대값이 큰 상위의 중요한 계수를 선택한다. 이렇게 선택된 계수들에 대해 각 영역별로 삽입강도를 달리하여 워터마크를 삽입한다.

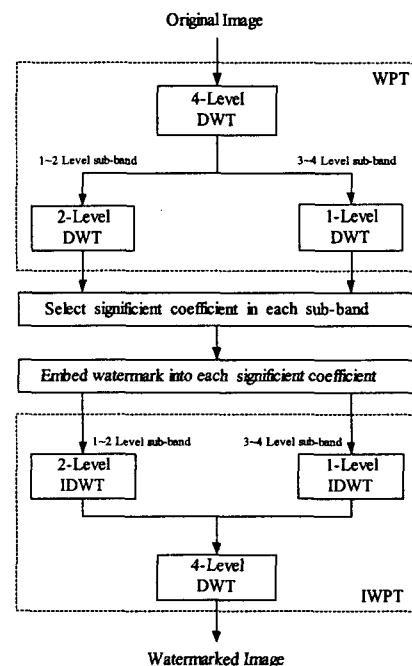


그림 3. 제안한 방법의 워터마크 삽입 블록 선도

본 논문에서는 기존의 인간 시각 시스템(HVS)을 이용한 α 값을 고려하여 실험적 고찰을 통해 최적의 α 값을 선정하였다. 그림1에서와 같이 레벨1의 부대역을 2-레벨 웨이블릿 분해한 HL_{12}^{LL} , HH_{12}^{LL} , LH_{12}^{LL} 영역

에 대한 삽입강도 $\alpha_1=2.0$, 레벨2의 부대역을 2-레벨 분해한 HL_{22}^{LL} , HH_{22}^{LL} , LH_{22}^{LL} 영역에 대한 삽입강도 $\alpha_2=1.5$, 레벨3의 부대역을 1-레벨 웨이블릿 분해한 HL_{31}^{LL} , HH_{31}^{LL} , LH_{31}^{LL} 영역에 대한 삽입강도 $\alpha_3=0.3$, 레벨4의 부대역을 1-레벨 웨이블릿 분해한 HL_{41}^{LL} , HH_{41}^{LL} , LH_{41}^{LL} 영역에 대한 삽입강도 $\alpha_4=0.1$ 을 각각 사용하였다.

위에 제시한것과 같이 고주파 부대역에는 다양한 공격에 견고하게하기 위하여 시각적으로 감지할 수 없는 범위 내에서 가장 큰 크기의 삽입강도를 사용하여 워터마크를 삽입하였다.

이렇게 워터마크를 삽입한 후, IWPT (inverse WPT)를 수행하여 복원 영상을 얻는다. 이 과정을 블록 선도로 나타내면 그림 3에서와 같다.

2.3 워터마크 검출

제안한 워터마킹 방법으로 삽입된 워터마크의 검출 과정은 삽입 과정의 역 과정이다.

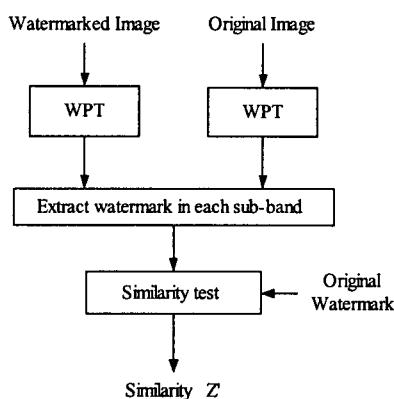


그림 4. 제안한 워터마크 검출 및 유사도 평가 블록 선도

$$x_{i,j,l} = \frac{v'_{i,j,l} - v_{i,j,l}}{v_{i,j,l} \times \alpha_l} \quad (2)$$

원 영상을 4-레벨로 웨이블릿 분해한 후 워터마크 삽입과정과 동일하게 기저대역을 제외한 모든 부대역에 대하여 각 레벨의 부대역별로 웨이블릿 분해를 다시 실시하여 절대값이 큰 상위의 중요한 계수를 선택한 후, 이들과 동일한 위치의 워터마킹된 영상의 웨이블릿 계수들을 선택하여 서로간의 차를 구한다. 이렇게 구해진 계수들간의 차를 워터마크 삽입과정에서

사용한 삽입강도 α_l 와 원 영상의 중요 계수로 나눔으로써 식(2)와 같이 삽입된 워터마크를 검출한다.

검출된 워터마크와 원래 삽입된 워터마크와의 유사도를 계산하여 워터마킹된 영상에서 원래 삽입된 워터마크의 존재 유무를 판별한다. X 는 원래의 워터마크이고 X^* 는 검출된 워터마크로서 일반적으로 사용되는 유사도 Z 는

$$Z(X, X^*) = \frac{X \cdot X^*}{\sqrt{X \cdot X^*}} \quad (3)$$

와 같다. 여기서 $\langle \cdot, \cdot \rangle$ 는 벡터 내적 (inner product)을 나타낸다. 그러나 이 방법은 다양한 워터마킹 방법에 사용된 워터마크의 길이 (length)에 따라 다른 유사도를 나타낸다. 따라서 본 논문에서는 하[9]등에서 사용한것과 같이 여러 가지 다양한 워터마킹 방법들과의 객관적인 견고성 비교를 위하여 여러 가지 공격에 대하여 살아남은 워터마크의 백분율을 나타내는 정규화된 유사도 (normalized similarity)를 사용한다. 정규화된 유사도 Z 은 식 (3)에 나타난 유사도를 원래 삽입된 워터마크에 대한 자기 유사도로 나눔으로써 공격에 대하여 살아남은 워터마크를 백분율로 나타낼 수 있다. 이를 수식으로 나타내면

$$Z'(X, X^*) = \left(\frac{X \cdot X^*}{\sqrt{X \cdot X^*}} / \frac{X \cdot X}{\sqrt{X \cdot X}} \right) \times 100 \quad (4)$$

와 같다. 이 식을 살펴보면 추출된 워터마크가 원래 삽입된 워터마크와 동일할 경우 정규화된 유사도는 100%를 나타낸다. 워터마크의 검출 및 유사도 계산 과정을 블록 선도로 나타내면 그림 4와 같다.

3. 실험 결과 및 고찰

제안한 워터마킹 방법의 성능을 평가하기 위하여 컴퓨터 모의 실험을 행하였다. 실험 영상으로 512×512 화소 크기를 갖는 LENA, GOLDHILL, BARBARA, MAN 및 BABOON 영상을 사용하였다. 웨이블릿 변환 영역에서 워터마킹 삽입대상이 되는 부대역의 영역을 감안하여 총 200개의 워터마크를 삽입

하였다.

성능평가 기준으로는 비가시성과 견고성을 사용하였다. 비가시성에 대한 객관적 성능 평가 척도는 PSNR을 사용하였고, 견고함에 대한 성능 평가 척도로는 여러 가지 공격에 대하여 남아있는 워터마크를 백분율로 나타내는 식 (4)에 나타낸 정규화된 유사도를 사용하였다.

3.1 비가시성 평가

객관적인 화질 평가을 위하여 제안한 방법과 기존의 방법들에 대하여 워터마킹된 영상에 대한 PSNR 결과치를 표 I에 나타내었다. 이 표로부터 알 수 있듯이 각 영상에 대해 비교해 보면 LENA 영상에 대해서는 5.37~6.87 dB, GOLDHILL 영상에 대해서는 2.56 ~ 4.84 dB, BARBARA 영상에 대해서는 1 ~ 1.71 dB, MAN 영상에 대해서는 4.36 ~ 8.21 dB 그리고 BABOON 영상에 대해서는 3 ~ 4.09 dB 정도 기존의 방법보다 우수하게 나타났다.

이는 제안한 방법이 기존의 방법에 비해 아주 적은 개수의 워터마크를 사용하였고 시각적으로 중요한 계수들만을 선택하여 인간시각에 미치는 영향을 고려하여 각 레벨의 부대역별로 다른 강도로 워터마크를 삽입하였기 때문에 기존의 방법들에 비하여 영상의 왜곡된 부분이 적기 때문에 얻어진 결과이다.

표 I. 제안한 방법과 기존의 방법들에 의해 워터마킹된 영상의 PSNR(dB)

Image \ Method	Proposed method	Dugad's ^[9] method	Podilchuk's ^[10] method	Lumin's ^[11] method
LENA	43.99	37.97	38.62	37.12
GOLDHILL	40.16	37.60	36.58	35.32
BARBARA	36.43	35.28	35.43	34.72
BABOON	36.72	33.57	32.63	33.72
MAN	41.50	37.14	35.43	33.29

3.2 견고성 평가

제안한 워터마킹 방법의 견고성을 평가하기 위하여 워터마킹된 LENA 영상에 대하여 JPEG 부호화, 영상 처리 및 기하학적 변환 등을 적용하여 유사도를 구하였다. JPEG은 인터넷 응용을 위한 정지 영상 압축 표준이기 때문에 워터마킹된 영상에 대하여 다양한 압축률로 적용한 다음 그 결과에 대한 워터마크 유사도

를 그림5에 나타내었다.

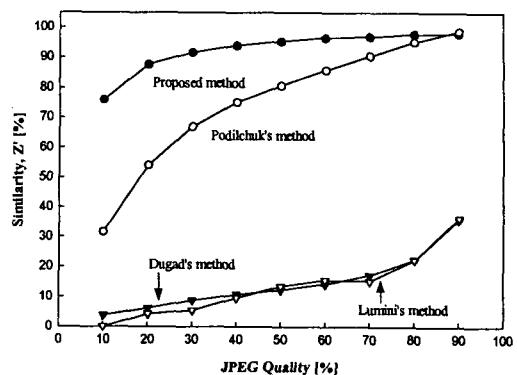


그림 5. LENA 영상에 대한 다양한 JPEG 성능에 따른 정규화된 유사도

이 그림들에서 제안한 방법에서는 JPEG 퀄리티 (Quality)가 10, 즉 상당히 압축이 많이 되었어도 유사도가 기존의 방법에서의 0~30%에 비해 75%이상으로 아주 견고함을 알 수 있다. 이는 JPEG에 의한 손실압축(lossy compression)이 영상의 높은 주파수 성분의 계수를 제거하여 전체의 정보량을 줄이는 방법이므로 제안한 방법이 저주파 영역에 많이 삽입되었기 때문에 JPEG 압축에 견고함을 나타내었다.

다양한 영상처리와 기하학적 변환에 대한 유사도를 표 II에 나타내었다. 여기서 절단(cropping)은 영상의 중앙을 기준으로 수평 및 수직 방향으로 각각 전체 영상 크기의 1/4에 해당하는 부분이 획득된 영상으로, 나머지 부분은 원 영상으로 구성하는 것을 나타낸다. 스케일링(scaling)은 획득된 영상을 수평 및 수직 방향으로 각각 절반의 해상도를 갖도록 부 표본화한 후, 다시 원래의 해상도로 만드는 것을 의미한다. 디더링(dithering)은 획득된 영상의 4×4 블록과 문턱값을 나타내는 4×4 행렬의 각 값을 비교하여 이진 영상을 만드는 것을 나타낸다.

이 표로부터 절단을 제외한 다양한 영상처리, 기하학적 변환에 대한 실험에서 제안한 방법이 기존의 방법들 보다 월등히 견고함을 알 수 있었다. 이는 제안한 방법이 다양한 영상처리, 기하학적 변환등에 의하여 변형이 적은 저주파 영역의 계수들을 선택하였고, 그 계수들이 갖는 주파수 특성을 이용하여 시각적으로 눈에 띄지 않는 최대한의 크기로 워터마크를 삽입하였기 때문이다.

표 II. LENA 영상의 다양한 공격에 대한 정규화된 유사도

Attack	Proposed method	Dugad's ^[5] method	Podilchuk's ^[6] method	Lumini's ^[7] method
3×3 LPF	67.03%	6.24 %	35.99%	26.02 %
5×5 LPF	32.24	2.02	10.31	9.56
7×7 LPF	13.22	0.88	3.94	4.21
3×3 median filter	79.47	10.43	53.98	21.75
5×5 median filter	47.51	3.84	17.75	10.21
7×7 median filter	21.70	2.04	7.01	4.32
Dithering	33.02	1.20	22.12	2.20
Scaling	60.38	5.90	34.99	6.01
Cropping	64.84	59.82	67.78	19.30

4. 결 론

본 논문에서는 영상의 주파수 특성과 인간 시각 시스템을 이용하여 비가시성과 견고성을 동시에 만족시키는 웨이블릿 패킷 기반의 디지털 워터마킹 방법을 제안하였다.

비가시성과 견고성을 동시에 만족시키기 위하여 저대역을 제외한 모든 레벨의 부대역 별로 웨이블릿 변환을 재설시하여 주파수 영역을 재분할한 후 저주파 영역의 계수를 선택했다. 이렇게 선택된 계수들에 주파수에 대한 인간시각 특성을 고려하여 워터마크 삽입강도를 달리했다.

제안한 워터마킹 방법의 성능 평가를 위하여 LENA, GOLDHILL, BARBARA, MAN, BABOON 영상에 대하여 컴퓨터 모의 실험을 행하였다. 이 실험에서 제안한 워터마킹 방법의 비가시성과 견고성이 대한 성능을 평가하였다.

실험 결과에서 제안한 방법은 워터마크를 삽입하기 위하여 각 영역별로 저주파 영역을 다시 선택하여 영상의 주파수 특성을 이용하여 각 부대역별로 삽입강도를 달리하여 워터마크를 삽입함으로써 기존의 방법들에 비하여 비가시성과 견고성이 우수함을 확인할 수 있었다.

[참고문헌]

- [1] R. G. van Schyndel, A. Z. Tirkel, and C. F.

Osborne, "A digital watermark," *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. 2, pp. 86~90, 1994.

- [2] I. Pitas, "A method for watermark casting on digital images," *IEEE Trans. on Circuits and system for Video Technology*, vol. 8, no. 6, pp. 775~780, Oct. 1998.
- [3] I. J. Cox, I. Kilian, T. Leighton, and T. Shamoon, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 6, no. 12, pp. 1673~1687, Dec. 1997.
- [4] A. Piva, M. Barni, F. Bartolini, and V. Cappellini, "DCT-based watermark recovering without resorting to the uncorrupted original Image," *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. 1, pp. 520~523, 1997.
- [5] R. Dugad, K. Ratakonda, and N. Ahuja, "A new wavelet-based scheme for watermarking images," *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. 2, pp. 419~423, 1998.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] A. S. Lewis and G. Knowles, "Image compression using the 2-D wavelet transform," *IEEE Trans. on Image Processing*, pp. 244~250, Apr. 1992.
- [9] In-sung Ha, Seong-Geun Kwon, Seung-Jin Lee, Jong Won Lee, In Sung Ha, and Kuhn Il Lee, "A New Wavelet-Based Digital Watermarking Using Human Visual System and Subband Adaptive Threshold," *Image Processing Image Quality Image Capture Systems Conference*, pp.344~348, Apr. 2001