

# Wavelet을 이용한 워터마킹 알고리즘

전신철<sup>0</sup>, 김인식, 김정규  
인천대학교  
{teary99, dlstr82, cckim}@incheon.ac.kr

## Watermarking Algorithm using Wavelet

Cheon Shin Seol<sup>0</sup>, Kim In Sik, Kim Chung Kyue  
IT IS Lab., Dept. of CS&E, Univ. of Incheon

### 요 약

웨이블릿 변환 영역에 제안한 알고리즘으로 여러 공격에 강인한 워터마크를 삽입하고 성능을 분석하였다. 영상의 저작권 보호를 위해 웨이블릿 변환영역의 LH, HL, HH의 중대역에 128비트열의 워터마크를 삽입하였다. 제안한 방법의 강인성을 실험하기 위해 명도 변화, 콘트라스트 변화, 노이즈, 가우시안 등 과 같은 영상처리를 하였다. 실험결과 화질의 열화를 최소로 하여 워터마크를 삽입하여 높은 효율을 얻었다.

### 1. 서 론

최근 네트워크와 멀티미디어 기술의 발달로 인터넷에서 손쉽게 데이터들을 구할 수 있게 되었다. 이러한 데이터들은 용이하게 복사되거나 변형, 편집되어 원본과 구별이 어렵다. 따라서, 디지털 데이터의 소유권을 보호하기 위한 기술들이 활발하게 연구되고 있으며, 디지털 이미지에 대한 소유권을 보호하기 위한 방법 중 하나가 바로 디지털 워터마킹(watermarking) 기술이다.

효과적인 워터마킹을 위해서는 다음과 같은 조건들이 요구된다. [1]

1) 비가시성(Invisibility) : 삽입 후에도 원본의 변화가 거의 없고, 워터마크의 삽입여부를 감지할 수 없어야 한다. 이는 디지털 데이터들의 품질을 저하시키지 않는 특성으로 삽입된 워터마크가 시각적으로 보이지 않아야 하기 때문이다. 응용환경에 따라서 가시적인(Visible)워터마킹 기법들이 사용되기도 한다.

2) 명확성(Unambiguity) : 추출된 워터마크가 확실한 소유권을 주장할 수 있도록 공격등에 대해 정확성을 유지해야 한다. 이는 학술적이거나 실용용에서도 False Negative, False Positive의 문제는 심도 깊게 다루어 져야 한다

3) 강인성(Robustness) : 워터마크를 신호의 중요한 부분에 삽입하여 전송이나 저장을 위해 압축할 때 워터마크가 깨지지 않아야 한다. 그리고 전송 중에 생길 수 있는 노이즈나 여러 가지 형태의 변형이과 공격에도 추출이 가능해야 한다. 강인성의 경우도 사용환경에 따라 의도적으로 잘 깨지는(Fragile)워터마킹 기법을 사용할 때가 있다. 이는 주로 인증용으로 많이 쓰이며, Semi-Fragil 기법을

이용하여 불법 조작의 정확한 위치 등도 알아낼 수 있다.

4) 보안성(Security) : 관련된 키 값을 알고 있을 경우에 워터마크의 확인이 가능해야 된다.

워터마킹 방법은 크게 다음과 같은 기술로 구분이 된다.

1) 공간영역에서의 워터마킹 : 공간영역의 방법은 변환식을 사용하지 않고 영상의 LSB(Least Significant Bit)등 특정 화소값을 직접적으로 변화시켜 워터마크를 삽입하는 방법이다. Bender등은 "Patchwork"라고 불리는 확률적인 라벨링 방법을 제안했다. Pitas등은 디지털 이미지를 크기가 같은 두 집합으로 나누고 한 집합의 값들을 일정하게 더한 다음, 삽입된 워터마크를 검출하기 위해서 두 집합에 속한 화소들의 평균값의 차이를 이용하는 방법을 제안하였다. Kutter 등은 특정 위치의 화소 정보를 변화시켜 인접 화소와의 비교로 신호를 검출해내는 방법 등을 제시하였다. 그러나, 이러한 공간영역의 방법은 영상처리나 잡음, 압축 등의 공격 등에 약하다는 단점이 있다.

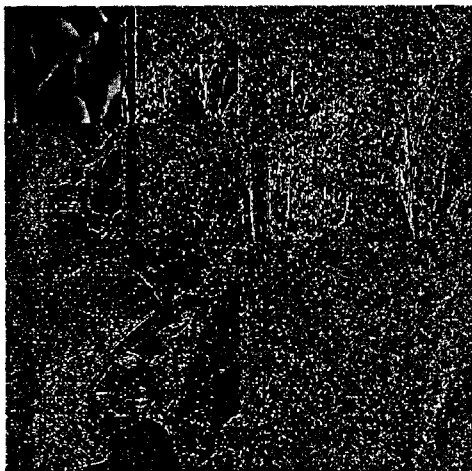
2) 주파수 변환영역에서의 워터마킹 : 주파수 영역의 방법은 주파수 계수를 변화시켜 워터마크를 삽입하는 방법으로 DFT(Discrete Fourier Transform), DCT(Discrete Cosine Transform), DWT(Discrete Wavelet Transform) 등의 변환 방법을 이용하여 워터마크를 삽입하는 방법이다. Ruanaidh 등은 DFT(Discrete Fourier Transform)를 이용하여 위상에 워터마크를 삽입하는 방법 등을 제안하였다. Koch와 Zhao 등은 이미지를 분할하고 DCT 후, 워터마킹 하는 방법을 제안하였다. Cox등은 이미지 전체를 분할하지 않고 이미지 전체를 DCT변환시킨 후 이미지에서 DC 성분을 제외한 중요한 주파수 계수를 선택하여 워터

\* 본 연구는 인천대학교 멀티미디어센터의 지원에 의한 것입니다.

마킹 하는 방법을 제안하였다. 또 Swanson, Podilchuk 과 Zeng는 시각 시스템 모델을 사용하여 JND(Just Noticeable Difference) DCT 값을 구한 후, 워터마킹 하는 알고리즘을 제안하였다. 그리고, Xia, Kundur 등은 DWT(Discrete Wavelet Transform)를 이용한 방법을 제안하였다. 주파수 영역의 방법은 공간영역의 방법보다 공격에 강한 특징을 가지고 있다.

## 2. 웨이블릿 변환 (Wavelet Transform)

주파수 영역에서의 워터마킹 기법들 중 웨이블릿 변환은 DFT(Discrete Fourier Transform)나 DCT(Discrete Cosine Transform)와는 달리 공간과 주파수의 두 영역에서 영상을 표시 할 수 있다. 그러므로 영상에서 선이나 가장자리 같은 공간적인 부분과 저주파 영역에서 에너지가 밀집되어 있는 영상의 주파수적인 부분을 효율적으로 나타낼 수 있는 특징이 있다. 웨이블릿은 또한 푸리에(Fourier) 변환과 같이 기저함수(basis function)들의 집합에 의한 신호분해이다. 임의의 함수를 시간-주파수 공간에서 동시에 지역성을 갖는 웨이블릿 모함수(mother wavelet)의 선형결합으로 표현하는 것이다. 웨이블릿 기저함수는 웨이블릿 모함수를 각각의 신호 특성에 맞게 선택하여, 이를 확장(dilate), 천이(translate)하여 얻어지는 함수이다. [2]영상에 웨이블릿 변환을 가하면 그림과 같이 서로 다른 다해상도 대역으로 나뉜다. LL(저주파 성분), HH(대각 성분), LH(수평성분), HL(수직성분)의 영역으로 분할 할 수 있다. 이 영역들 중에 LL영역의 워터마크삽입은 에너지가 집중된 저주파 영역이기 때문에 화질 저하를 가져올 수 있다.



[그림 1. 2단계 웨이블릿 변환]

## 3. 워터마크 (Watermark)

사용된 워터마크는 이진영상에서 사용자로부터 입력 받은 값, 혹은 난수로 발생된 이진 데이터 등 다양하게 선택되어질 수 있다.[3] 여기서는 사용자로부터 입력 받은 값(주민등록번호)과 비밀키를 MD5 해쉬 함수를 사용하여 128bit로 바꾼 뒤 두 개의 값을 XOR연산으로 암호화하여 이미지에 삽입하게 된다.

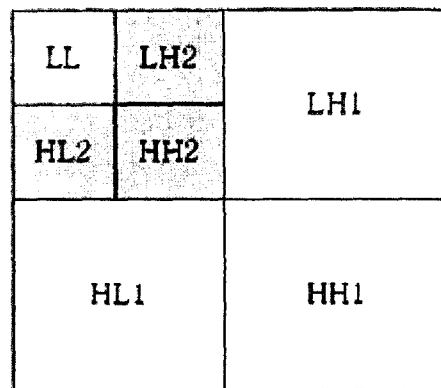
## 4. 워터마크 삽입 (Watermark Embedding)

먼저 전체의 과정은 다음과 같다. 원 영상을 2레벨 웨이블릿 변환 과정을 수행한 후 임계값을 적용하여 각 워터마크 값들을 DWT(Discrete Wavelet Transform)한 영역에 삽입한다. 그리고, 이를 다시 IDWT(Inverse Wavelet Transform) 하면 워터마크가 삽입된 영상을 얻을 수 있다.

워터마크를 검출하기 위해서는 원영상과 공격 당한 영상을 DWT하여 각 계수들을 구한 후 이들의 차이를 갖는 워터마크를 뽑아내고 입력받은 원래의 워터마크와 비교하여 유사도(Similarity)를 측정하여 워터마크 유무와 손실을 검출해 낸다.

워터마크 삽입단계는 다음과 같다. 먼저 사용자로부터 입력 받은 정보(주민등록번호)와 비밀키(정수)를 해쉬 함수 MD5를 통하여 128bit로 각각 변환한다. 128bit로 바뀐 워터마크는 128bit인 비밀키와 XOR연산을 통하여 암호화 시킨다. 암호화된 워터마크가 삽입 되는 위치는 중대역 부분이다. 중대역에 삽입하는 이유는 저대역은 영상의 에너지가 집중되어 있기 때문에 화질의 열화가 심하고 고대역은 압축에 약한 특징을 가지고 있기 때문이다.

원 영상을 Daubechies4 웨이블릿을 사용하여 2레벨 웨이블릿 변환을 한 후, 그림과 같이 중대역인 LH2, HL2, HH2 영역에 워터마크를 삽입한다.



[그림 2. 워터마크 삽입위치]

DWT 후의 주파수 영역에서 계수 값에 워터마크를 삽입 하는 방법은 다음 식에 의하여 이루어진다.

$$V_i' = V_i(1 + \alpha W_i) \quad (\text{식 1})$$

( $W_i$  = 워터마크,  $V_i$  = 원계수,  $V_i'$  = 워터마크가 삽입된 계수,  $\alpha$  = 실험치에 의한 값)

5. 워터마크 검출(Watermark Detecting)

워터마크의 검출은 워터마크가 삽입된 영상과 원 영상을 웨이블릿 변환한 후, 두 영상의 계수 값의 차를 이용하여 검출한다. 먼저 원 영상과 워터마크가 삽입된 영상을 Daubechies4 웨이블릿으로 2 레벨 변환한다. 워터마크로 사용되었던 주민등록번호 13자리와 비밀키 정수 2자리도 MD5해쉬 함수로 128bit로 변환 한 후 XOR연산을 통해 암호화하여 원래의 사용자가 선택했던 워터마크를 만든다. 워터마크 된 영상과 원 영상을 웨이블릿 변환한 후 중대역 부분을 따로 저장하고 각 대역의 계수 값과 원 영상의 차이를 구한다. 차이 값과 워터마크와의 비교로 워터마크의 진위를 판별한다. 검출식은 다음과 같다.

$$W_i = V_i' - V_i \quad (\text{식 2})$$

주파수 영역의 워터마크 삽입과 웨이블릿 역변환 과정에서 약간의 데이터 손실이 있으므로 적절한 실험을 통하여 워터마크를 검출해 낼 수 있는 임계값을 정한다. 워터마크 삽입에 의한 화질저하를 비교하기 위해 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)을 사용하였다. 다음 식은 PSNR에 대한 식이다. 원 영상의 PS

NR은 50.0db이다. 원영상의 크기는  $N \times N$  이고  $x(i, j)$  는 원 영상의 화소를  $x'(i, j)$  는 워터마크 된 영상의 화소를 표시한다.

$$MSE = \frac{1}{N \times N} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} [x(i, j) - x'(i, j)]^2 \quad (\text{식 3})$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE} \quad (\text{식 4})$$

원 워터마크와 추출된 워터마크 사이의 객관적인 검출율 측정을 위한 식은 다음과 같다. A는 전체 삽입된 계수의 수이고 E는 워터마크 Error 개수 이다.

$$C = 1 - \frac{E}{A} \quad (\text{식 5})$$

6. 실험결과

워터마크의 실험을 위해 펜티엄III, 메모리 320MB, Visual C++ 6.0 으로 시뮬레이션 하였다. [4][5] 실험에 사용된 영

상은  $256 \times 256$  8bit의 Lena 영상이며, 워터마크는 주민등록번호 13자리와 비밀번호 정수 2자리 이다. 식(1)의 스케일 변수  $\alpha$ 는 0.2 로 하였고, 검출 임계값은 6으로 하였다. 워터마크가 삽입된 영상 알고리즘의 성능 분석을 위하여 워터마크가 삽입된 영상의 화질저하 정도를 PSNR로 표현하였으며, 추출된 워터마크의 성능은 (식 4)를 이용하였다.

먼저 특정 워터마크를 삽입한 영상의 PSNR은 43.30db을 나타냈고 검출계수는 1.0 이다. 이 영상을 토대로 몇 가지 공격을 가한 결과는 다음과 같다.

[표 1. 실험 결과]

	PSNR	C
원본	43.30	1.0
노이즈	38.83	0.81
가우시안	28.20	0.69
명도+	18.73	0.99
명도-	18.42	0.99
콘트라스트+	21.87	0.73
콘트라스트-	25.12	0.80

노이즈와 가우시안은 각각 픽셀당 10을, 명도와 콘트라스트는 각각 50씩 증가, 감소시켰다. 가우시안에서 다소 낮은 검출율을 보였으나 그 외의 공격에서는 0.80 이상의 좋은 검출율을 보여주었다.

참 고 문 헌

[1]. Principles & Practice by Ingemar Cox, Jeffrey Bloom, Matthew Miller : Digital Watermarking, 2001. 10. 15  
 [2]. 이경훈, " 웨이블릿 기반 디지털 워터마크 방법" 한국 컴퓨터 산업교육학회 논문지 Vol. 3, No 7. 2002. 7  
 [3]. 송상주, 박두순 " 웨이블릿 영역에서 강인한 워터마크를 위한 효율적인 시퀀스", 멀티미디어 학회 논문지 제4권 제6호, 2001. 1  
 [4]. 디지털 영상처리의 구현 장동혁 저  
 [5]. Visual C++ 실용 영상 신호처리 이문호 저