

# 주파수영역에서의 워터마크 삽입 양의 최적값 도출에 관한 연구

송상주\*, 김기석\*, 전홍구\*\*

\*순천향대학교 공과대학 컴퓨터학부

\*\*순천향대학교 정보기술공학부

e-mail:songsj1004@hanmir.com

## A Study on the Optimal Value Derivation of Watermarking Insertion Quantity in Frequency Domain

Sang-Ju Song\*, Gee-Seog Kim\*\*, Heung-Goo Jun\*

\*Dept of Computer Science and Computer Engineering,  
Soonchunhyang University

\*\*Dept of Information Technology Engineering, Soonchunhyang  
University

### 요약

본 논문에서는 저작권 보호를 위한 다양한 디지털 워터마킹 기술들에 대한 연구들은 많이 발표되고는 있지만 원영상과 워터마크의 양에 대한 실질적인 상관관계를 고려한 연구는 미비한 것이 현실이다. 이에 본 논문에서는 주파수영역에서의 방법 중 DWT를 이용한 영상에 대하여 다양한 가중치와 임계값을 적용하여 워터마크의 특성인 비가시성, 무감지성 등을 만족하는 가장 적절한 워터마크 삽입 양을 도출하여 반복적인 실험의 결과로 나타난 RMSE와 PSNR의 분포를 측정하고 비교 분석하였다.

### 1. 서론

최근 컴퓨터 보급의 빠른 확산과 대중화로 급속한 초고속망의 보급 및 멀티미디어 기술이 발달하면서, 인터넷을 통한 수많은 멀티미디어 데이터들에 대한 접근이 쉬워졌으며 많은 양의 정보가 디지털 형식으로 저장 및 전송이 가능하게 되었다.

따라서, 이러한 디지털 콘텐츠 산업의 활성화에 따른 디지털 콘텐츠 저작권 보호 기술에 대한 관심이 고조되고 있는 가운데, 아날로그 시대에서는 콘텐츠의 불법 복사 및 사용에 대하여 관계 법령 및 제도적 조치로 어느 정도 이를 제한할 수 있었으나, 콘텐츠가 디지털화됨으로써 더 이상 법적 구속력이나 제도적인 뒷받침만으로는 불법복제를 막을 수 없게 되었다. 따라서, 점차 증가하고 있는 디지털 콘텐츠 산업을 육성하고 활성화하기 위해서 불법복제를 근본적으로 막을 수 있는 시스템에 대한 요구가 강력히 제기되고 있으며, 현재 활성화되고 있는 전자

상거래 등에서 거래되는 각종 콘텐츠를 효율적으로 보호할 수 있는 정보보호 기술이 강력히 요구되어지고 있는 실정이다.

최근 DRM(Digital Rights Management)의 한 요소 기술로 가장 주목받고 있는 것이 디지털 워터마킹 기술이다. "인터넷 DNA검사"로 불리며 전자상거래에서 필수적인 인증시스템으로 떠오르고 있는 디지털 워터마킹 기술은 불법복제와 변조 방지를 위한 기술로 원래의 영상이나 음성 등의 신호에 지각적으로 특정한 코드나 패턴 등을 삽입함으로써 워터마크를 보이게 하거나 안보이게 하는 방법을 사용하여 저작권을 보호하는 기술이다.

디지털 영상의 저작권 보호를 위해 지금까지 연구되어온 워터마킹 방법으로는 영상의 화소값을 직접적으로 변화시키는 공간영역(Spatial Domain)에서의 방법과 영상을 변환하여 주파수영역에서 값을 변화시키는 주파수영역(Frequency Domain)에서의 방법

으로 크게 나눌 수 있다.

공간영역에서의 워터마킹 방법은 각 픽셀 그레이(gray) 레벨의 LSB(Least Significant Bit)에 정보를 넣어서 영상의 화소 자체를 조작하는 방법으로서 계산량을 적게하여 단순하고 빠르게 워터마킹할 수 있는 장점이 있으나, 쉽게 제거가 가능하며 잡음과 정지영상, 압축 등에 약한 단점이 있다[1]. 그러나 주파수영역의 방법은 공간영역의 방법보다 단순하면서도 좋은 성능을 보이므로 주파수영역의 방법에 대한 활발한 연구가 이루어지고 있다. 주파수영역에 대한 워터마크 기술은 영상을 FFT(Fast Fourier Transform), DCT(Discrete Cosine Transform), DWT(Discrete Wavelet Transform)등을 하여 적당한 중간대역에 워터마크를 추가하는 방법이 주를 이루고 있다. 이에 본 논문에서는 영상 화소에 대한 DWT를 하여 특정 동일 레벨에서의 전체 또는 다양한 임의대역의 중요계수에 워터마크 양을 가변적으로 적용하고 삽입 및 검출하여 워터마킹의 특징인 비가시성, 강인성, 무감지성 등을 만족하는 최적의 워터마크 양을 고려한 유사도의 변화를 비교 측정하였다.

본 논문은 2장에서 워터마킹 기법과 기본구비요건의 간단한 설명 그리고 주파수영역에서의 워터마크 삽입 방법 및 유사도 측정 방법을 알아본다. 3장에서는 다양한 워터마크 양을 고려한 RMSE와 PSNR 측정 실험을 하였으며, 4장에서는 결론 및 향후 연구방향을 제시한다.

## 2. 본론

### 2.1 워터마킹 기법

지금까지 연구된 주파수영역에서의 워터마킹 기법 중에서 Cox 등이 제안한 논문에서는 원영상 전체를 DCT(Discrete Cosine Transform)하여 시각적으로 중요한 부분을 결정한 후 그 계수를 크기 순으로 나열한 뒤 1000개의 계수에 대하여 워터마크를 삽입하는 방법을 제시하였다[2]. 이때 워터마크의 검출과정은 삽입과정의 역순이다. 또한 Xia 등은 DWT(Discrete Wavelet Transform)를 이용하여 원 영상을 변환한 후 가장 낮은 저주파대역을 제외한 적절한 중간대역(저주파 영역: 화질에 영향, 고주파 영역: 명도 및 대비에 영향)에 워터마크를 삽입하였다[3]. 다시 말하면 주파수 영역에서는 압축이나 잡음에 크게 영향 받는 고주파 영역을 제외하고 시각적으로 큰 의미를 갖는 저주파 영역에 워터마크를 삽

입한다. 주파수 영역에서의 방법은 추가적인 연산이 필요하지만 압축이나 잡음에 대해 견고한 특성을 갖는다. 그리고 Wolfgang은 DCT 기반의 JPEG 압축과 웨이브릿 기반의 CEZW (Color Embedded Zero-Tree Wavelet) 방식 압축에서 워터마킹 효율을 비교하였다[4][5].

워터마크 패턴은 자체 주파수 영역에서의 저주파나 고주파 에너지에 의존하는 기술이다. 잡음과 같은 워터마크를 스프레드 스펙트럼 방법으로 공간적으로나 주파수 영역 상에서 생성하도록 하여 통계적인 직교성으로 원영상에 삽입하고 단순한 점 형태로 워터마크 된 영상이나 스펙트럼의 일부분으로 추출한다. 저주파 영역의 워터마킹 방법은 저주파 영역에 영상데이터의 대부분이 몰려있는 것을 이용하여 워터마크 신호를 겹치게 하는 것을 기본적인 접근방법으로 한다

### 2.2 워터마킹의 기본구비요건

디지털 워터마크는 다양한 특징들을 구비하여야 한다. 왜냐하면, 저작권 관리정보에 대한 파손을 불법적인 접근자나 획득자가 시도할 것이 분명하기 때문이다. 디지털 워터마킹 기법에는 식별이 가능한 것과 불가능한 것의 두 가지가 있는데, 전자는 특별히 소유권에 대해서 빠른 주장이 가능하다는 점에서 유용하며, 후자는 권리의 보호측면에서 강하게 입증할 수 있다는 특징을 지닌다. 그리고 디지털 워터마킹 기술이 적절하게 사용된다면, 소유권의 증거로서, 내용인증 도구로서 그리고 데이터에 삽입하는 지문장치의 수단으로서 데이터의 부적절한 사용에 대한 추적도 가능하게 될 것이다[19].

디지털 워터마크를 효과적으로 사용하기 위한 기본적인 필요조건은 다음과 같다.

- ① 비가시성(Imperceptibility) : 삽입된 워터마크를 육안으로 확인할 수 없어야하고, 워터마크 삽입에 의해 영상의 화질이 저하되어서도 않된다.
- ② 강인성(Robustness) : 각종 영상 처리에도 워터마크가 영상 내에 그대로 유지되어야 한다.
- ③ 유일성(Uniqueness) : 영상 데이터의 저작자나 사용자가 유일하게 특정되어야 한다.
- ④ 보안성(security) : 워터마킹 방식의 안전성은 알고리즘에 의존하지 않고 반드시 키에 의존해야 한다. 즉, 알고리즘이 공개되어도 시스템의 안전성에는 아무런 영향을 미치지 않아야 한다.

2.3 주파수영역에서의 워터마크 삽입 방법

본 논문에서는 워터마크의 비가시성, 무감지성 등의 연구를 위하여 주파수 변환 방법으로 DWT를 사용하였으며, 변환 후에는 워터마크의 삽입을 위해 변환 영역을 3레벨로 대역확산기법을 적용하여 분할하였다. 그리고 워터마크의 삽입 및 추출 방법은 널리 알려진 Cox의 방법을 확장 적용하여 각각의 대역에 적용하였다.

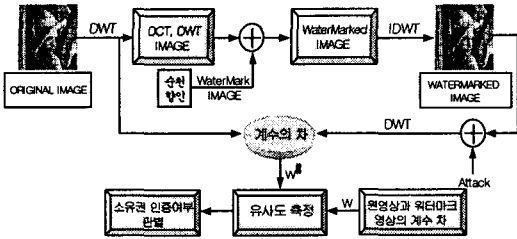


그림 1. 워터마크 시스템의 구조

가중치와 임계값을 통한 워터마크를 삽입하는 과정을 통하여 최적의 워터마크 삽입 양을 도출하여 비가시성, 무감지성을 보고자하며 각 대역별 가중치와 임계값을 적절히 설정함으로써 최적의 한계치를 적용한 워터마크가 삽입될 수 있도록 한다.

워터마크 추출 알고리즘은 손실 압축과 잡음 등의 변형된 영상에서 워터마크를 효율적으로 추출하는 과정이다. 추출 후 인공과정으로 원영상과 워터마크가 삽입된 영상에 대하여, 웨이브릿 변환을 한 후 영상의 계수값  $W''$ 를 추출한 후 원 영상의 계수값인  $W$ 와 비교하여 그 차이 추출된 워터마크( $W'$ )를 구한다. 그리고 원래의 워터마크  $W$ 와  $W'$ 의 유사도를 구함으로써 워터마크의 유효성을 측정한다. 유사도는 다음 식(3-1)에 의하여 구하며 이 두 값들간에 유사성  $Sim_s(W, W')$ 을 측정함으로써 소유권 인증의 가부를 결정할 수 있다.

$$Sim_s(W, W') = \frac{\sum_{i=1}^n (W \times W')}{\sum_{i=1}^n \sqrt{W' \times W'}} \quad (3-1)$$

검출된 워터마크가 원래의 워터마크와 정확히 일치한다면 유사성  $Sim_s(W, W')$ 는  $n^{1/2}$ 의 값을 갖고 원래의 워터마크와 일치하지 않으면  $N(0,1)$ 인 정규분포를 갖는 작은 값을 갖는다. 여기서  $n$ 은 워터마크의 개수이다. Cox의 논문에서는  $Sim_s(W, W')$ 의 값이 일정한 값  $\delta$  ( $\delta=6$ )보다 크게되면 두 워터마크가 동일한 것으로 인정이 되어 영상의 소유권이

입증이 되고 만약 일정한 값 보다 작게 되면 소유권을 인정할 수 없다. 참고로, 일정한 값  $\delta=6$ 에서 원래의 워터마크와 검출된 워터마크의 유사성 측정의 오차 확률은, 식(3-2)으로 매우 낮은 값을 갖는다.

$$P_{error} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_6^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = 9.82 \times 10^{-10} \quad (3-2)$$

또한 영상의 객관적인 비교를 위하여 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio)의 측정은 아래의 식(3-4)로 주어지는 최대신호대잡음비(PSNR)를 사용하였다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N^2} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} [f(i, j) - \hat{f}(i, j)]^2} \quad (3-3)$$

$$PSNR = 20 \log\left(\frac{255}{RMSE}\right) [dB] \quad (3-4)$$

여기에서  $f(i, j)$  및  $\hat{f}(i, j)$ 는 원영상 및 워터마크가 삽입된 영상의 pixel 값을 나타내고,  $N$ 은 영상의 크기를 나타낸다.

3. 실험 및 실험 결과

현재까지의 발표된 논문에서는 워터마크의 신호를 의사잡음이나 랜덤시퀀스로 변환하여 이용하고 검출된 워터마크 신호와의 상관관계를 측정하여 검출하는 방법에 대하여 대부분 연구되어져 왔으나 본 논문에서는 시각적으로 보이는 의미 있는 Mark영상을 직접 적용하여 워터마크 삽입 양의 최적 값을 도출한다.

그림 2에서 볼 수 있듯이 제안된 방법을 적용하여 다양한 한계치적인 실험을 한 결과를 토대로 적정의 워터마크를 삽입하는 경우, 시각적으로 워터마크의 삽입여부를 감지하기는 어렵다. 워터마킹된 영상의 화질 왜곡의 정도를 알아보기 위해서 RMSE와 PSNR를 계산하여 표준값 측정을 하였다.

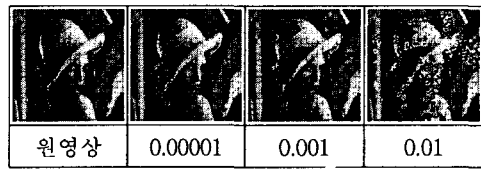


그림 2. 가중치 적용후의 워터마크 삽입된 영상

표 1에서 알 수 있듯이 이미지 전체로부터 다양한 워터마크의 양을 삽입하고 임계치를 적용하여 영상

의 화질저하가 거의 없는 최적의 워터마크 양에 대한 다양한 실험 결과를 도출해 내었다.

본 논문에서는 256\*256 Lena 영상을 이용하여 DWT에서는 3단계 대역분할을 통하여 부밴드 신호 중 주파수 측면에서 인간의 시각 시스템에 가장 민감한 특성이 있는 저주파수 성분의 LL3 대역을 포함한 영상 전체에 대하여 워터마크 시퀀스를 정규화하여 삽입하였다.

표 1. 가중치에 따른 RMSE와 PSNR 비교

$\alpha$	T	100~150		100~128		128~150	
		RMSE	PSNR	RMSE	PSNR	RMSE	PSNR
0.01		18.7197	52.2338	12.9301	59.6342	8.6774	67.6108
0.005		12.6702	60.0402	8.5943	67.8034	5.9149	75.2756
0.001		3.2602	87.1895	2.4296	93.0708	1.8044	99.0206
0.0005		1.9152	97.8286	1.5431	102.1491	1.2702	106.0415
0.0001		0.9042	112.8389	2.4296	93.0708	0.9192	112.5095
0.00005		0.7895	115.5519	1.5431	102.1491	0.8891	113.1762
0.00001		0.8406	114.2983	0.8876	113.2106	0.9274	112.3324

이때 사용되는 워터마크 시퀀스의 개수는 고정 영상의 사이즈를 기준으로 화질과 강인성을 고려한 최악의 상황과 최적의 상관관계를 실험을 통하여 알아 보기 위해 시퀀스를 변환시켜 다양한 워터마크의 양을 삽입하여 적절한 표준양을 분석 및 실험하였다. 모든 결과는 각각 1,000번씩 반복 실험을 통하여 얻어진 표준 결과 값이다.

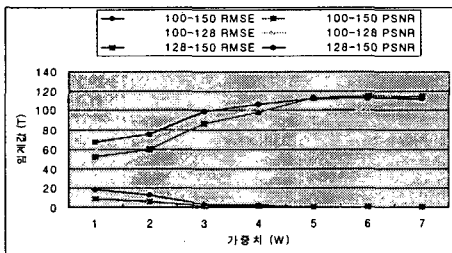


그림 3. 실험 결과에 의한 비교 그래프

표 2. 한계치를 적용한 RMSE와 PSNR 비교

무감지	RMSE	0.6682
	PSNR	118.8901
		$5 \times 10^{-3}$
감지	RMSE	0.9511
	PSNR	111.8281
		$1 \times 10^{-4}$

실험결과 다양한 가중치와 임계값을 적용하여 비가시성, 무감지성을 만족하는 적정의 워터마크 양을 표 1에서 도출해 내었으며 그림 3에서 비교 그래프를 보였다. 또한 한계치를 적용한 오차확률은 표 2에서

와 같이 무감지는  $5 \times 10^{-5}$ , 감지는  $5 \times 10^{-4}$  이상일 때부터 하한의 한계값을 보임을 실험결과를 통해 도출해낼 수 있었다. 또한 RMSE와 PSNR 비교를 통한 주파수 대역분할 시 전체 또는 각 대역의 영역에 워터마크를 삽입함으로써 영상의 왜곡이나 비가시성, 무감지성 등 다양한 실험적 결론을 얻을 수 있었다.

#### 4. 결론

본 논문에서 실험한 방법은 주파수영역에서의 방법 중 DWT를 이용한 영상에 대하여 다양한 가중치와 임계값을 적용하여 워터마크의 특성인 비가시성, 무감지성 등을 만족하는 가장 적절한 워터마크 삽입 양을 도출하고 RMSE와 PSNR의 분포를 측정하는 비교 분석에 관한 연구를 하였다. 본 논문에서 제시한 워터마크 삽입 양의 최적 값 도출에 관한 실험의 결과로서 비가시성과 무감지성을 만족하는 PSNR과 워터마크 양과의 상관관계와 영상에 대한 감지 한계치를 찾을 수 있었으며, 영상과 워터마크 양의 상관관계에 있어서도 워터마크의 양을 줄이되 영상의 중요계수에 삽입하는 것이 전반적으로 유리함을 확인할 수 있었다.

앞으로 연구되어야할 분야는 각종 공격에 강인하고 삽입 및 검출이 보다 용이한 워터마크를 위한 연구와 방송, 오디오, e-Book 등 다양한 분야로의 폭넓은 연구가 필요하다.

#### 참고문헌

- [1] N. Nikolaidis and I. Pitas, "Copyright protection of images using robust digital signatures," IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP-96), vol. 4, pp. 2168~2171, May, 1996.
- [2] I. J. Cox, M. L. Miller, "A Review of Watermarking and the Importance of Perceptual Modeling," Proc. SPIE Conf. on Human Vision Electronic Imaging II, Vol. 3-16, pp. 92-99, Feb., 1997.
- [3] X. G. Xia, C. G. Bonchelet and G. R. Arce, "A Multiresolution Watermark for Digital Images," IEEE Int. Conf. on Image Processing, 1997.
- [4] R. B. Wolfgang, C. I. Podilchuk and E. J. Delp, "The Effect of Matching Watermark and Compression Transforms in Compressed Color Images," Proceedings of the IEEE Int. Conf. on Image Processing, 1998.
- [5] K. Shen and E. J. Delp, "Wavelet Based Rate Scalable Video Compression," to appear in the IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, 1998.