

디지털 영상 데이터의 정보 보호를 위한 웨이브릿 기반의 이미지 적응 워터마킹

김국세* · 이정기* · 박찬모* · 배일호* · 조애리* · 이준**

*조선대학교 컴퓨터공학과

**조선대학교 컴퓨터공학부

Image-Adaptive Watermarking of Wavelet base for Digital Image Protection

Kuk-Se Kim* · Jeong-ki Lee* · Chan-Mo Park* · Il-ho Bae* · Ai-Ri Cho* · Joon Lee**

* Dept. of Computer Engineering, Chosun University.

** School of Computer Engineering, Chosun University.

E-mail : sitdol@yahoo.co.kr

요 약

정보통신의 비약적인 발전에 힘입어 멀티미디어 데이터는 언제 어디서든 전송 받거나 공유할 수 있게 되었다. 아날로그 형태에서 디지털의 아날로그를 형태로 빠르게 대체되고 있으며, 디지털로 신호를 표현하는 방법은 기존 사용하여 표현하는 방법에 비해 많은 장점을 가지고 있다. 하지만 디지털로 된 데이터는 언제 어디서든 대단위 복제가 가능하다. 즉, 저작권 침해, 불법 복제 및 배포, 손쉽게 위조할 수 있다는 점이 그것이다. 디지털 콘텐츠의 불법 복제와 유통은 저작자의 창작 의욕과 수입원을 차단하는 매우 중요한 문제이며, 이를 방지하기 위해서 멀티미디어 데이터의 저작권을 가진 소유자가 원하는 정보를 삽입함으로써 데이터의 저작권 보호와 복사 방지 및 불법적인 유통을 막고자 하는 기술이 개발되고 있다.

디지털 영상 정보의 보호를 위해 디지털 영상의 불법적인 내용 조작을 막고, 영상의 소유권을 보장할 수 있는 방법으로 디지털 워터마크(Digital Watermark)가 있다. 디지털 워터마크는 공개키 알고리즘이나 방화벽 등으로 해독된 영상에 대하여 추가적인 보호를 제공한다. 디지털 영상에 대한 저작권 정보, 배포자 정보 그리고 사용자 정보를 영상에 삽입함으로써 훗날 법적인 문제가 발생하였을 때 해결책을 제시할 수 있다.

본 논문에서는 디지털 영상 데이터의 정보 보호를 위해 주파수 영역에서의 웨이브릿 변환(Wavelet Transform)을 이용한 이미지 적응 디지털 워터마킹(Image-Adaptive Digital Watermarking) 방법을 제안한다. 이미지 적응 웨이브릿(Image-Adaptive Wavelet)은 영상을 주파수적으로 분해하면서 각 대역들의 공간 영역에서의 정보를 함께 지니고 JND(Just noticeable difference)를 포함한다. 이미지 적응 웨이브릿의 이러한 특성을 이용하여 다해상도 분해하고, 손실 압축(Loss Compression)이나 필터링(Filtering), 잡음(Noise) 등에 크게 영향받는 저주파 성분과 인간의 시각적으로 큰 의미를 갖는 고주파 성분의 특성을 이용하여 워터마크를 삽입한다.

1. 서 론

인터넷과 정보통신기술의 눈부신 발전으로 인해서 대부분의 멀티미디어 데이터는 원하고자 한다면 어디서나 전송 받거나 공유할 수 있게 되었다. 디지털 정보 형태로 전송되는 멀티미디어 데이터는 복제 및 레코딩을 하는데 있어서 손실이 없고, 네트워크를 통해 배포가 편리하며, 편집 및 수정이 쉽기 때문에 다량의 복사가 가능하며, 복사 후 원본과 동일하게 유지되므로 누구든지 웹(World Wide Web)에서 저자의 동의

없이 복사, 배포할 수 있는 문제점을 가지고 있다. 즉, 저작권 침해, 불법 복제 및 배포, 손쉽게 위조할 수 있다는 점이 그것이다. 디지털 콘텐츠의 불법 복제와 유통은 저작자의 창작 의욕과 수입원을 차단하는 매우 중요한 문제이며, 이를 방지하기 위해서 멀티미디어 데이터의 저작권을 가진 소유자가 원하는 정보를 삽입함으로써 데이터의 저작권 보호와 복사 방지 및 불법적인 유통을 막고자 하는 기술이 개발되고 있다.

디지털 워터마킹[1]은 공간 영역(spatial

domain)이나 주파수 영역 또는 압축 영역을 이용하여 처리할 수 있다. 공간 영역을 이용한 워터마크는 특정 픽셀의 값을 직접 변화시켜서 이미지 픽셀의 최하위 비트(LSB : Least Significant Bit)에 삽입하는 방법으로, 영상 처리와 잡음(noise) 처리에 약하다는 단점을 가진다. 주파수 영역을 이용한 워터마크는 주파수의 계수 변환을 이용하여 워터마크를 삽입하는 방법이며 공격에 대해 견고성을 가진다.

본 논문에서는 디지털 영상 데이터의 정보 보호를 위해 주파수 영역에서의 웨이브릿 변환(Wavelet Transform)을 이용한 이미지 적응 디지털 워터마킹(Image-Adaptive Digital Watermarking) 방법을 제안한다. 이미지 적응 웨이브릿(Image-Adaptive Wavelet)은 영상을 주파수적으로 분해하면서 각 대역들의 공간 영역에서의 정보를 함께 지니고 JND's(Just noticeable difference)을 포함한다. 이미지 적응 웨이브릿의 이러한 특성을 이용하여 다해상도 분해하고, 손실 압축(Loss Compression)이나 필터링(Filtering), 잡음(Noise)등에 크게 영향받는 저주파 성분과 인간의 시각적으로 큰 의미를 갖는 고주파 성분의 특성을 이용하여 워터마크를 삽입한다.

II. 웨이브릿 변환에 의한 블록 기반의 워터마크

Ingemar.J.Cox가 제안한 대역 확산 기법을 이용한 워터마크 방법이 대표적인 주파수 영역에 워터마크를 삽입하는 방법이다[1][2]. 대역확산 워터마킹 방법은 의사잡음(pseudorandom noise) 워터마크 패턴을 삽입하고, 상관성을 이용해 워터마크를 추출해 내는 방식이다. 영상의 스펙트럼 전역에 워터마크를 확산 시키는 방식은 고의적 또는 비고의적인 공격에 대한 강한 강인성을 보장한다. Cox는 원본 이미지 전체를 이산 코사인 변환(DCT)이나 고속 푸리에 변환(FFT)을 수행한 후 변환 계수 중 최대 값인 n개의 계수에 함수 처리에 의한 순서를 삽입한다. 이미지에 워터마크가 제대로 삽입되었는지를 확인하기 위해서는 상관 계수를 이용하여 추출된 워터마크와 원래의 워터마크 사이의 상관 관계를 분석한다.

2.1 이산 웨이브릿 변환(Discrete Wavelet Transform : DWT)을 이용한 워터마킹

이산 웨이브릿 변환(Discrete Wavelet Transform)은 푸리에 변환(Fourier Transform)과 같이 기저 함수(Basis Function)들의 집합에 의한 신호 분해로써 이해될 수 있다. 푸리에 변환의 기저 함수들과는 다르게 웨이브릿은 유한한 길이를 가지는 기저 함수이므로 웨이브릿 변환은 모함수(Mother Wavelet)라 불리는 원형의 웨이브릿의 수축과 팽창에 의해 얻어지는 웨이브릿들의 집

합에 의해 구성된다.

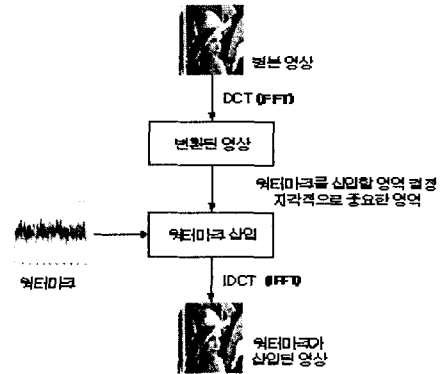


그림 2.1 주파수 영역에서의 워터마킹 삽입과정

웨이브릿(Wavelet)[3]은 단일 원형 함수에 기반을 둔 뛰어난 time-scale 국부성으로 데이터를 다중해상도 표현 및 분석이 가능하여 네 개의 각각 다른 부 영상으로 구성된다. 웨이브릿으로 변환된 각 부대역 영상들은 저주파 대역으로부터 고주파 대역으로의 계층적 정보를 가지고 있다.

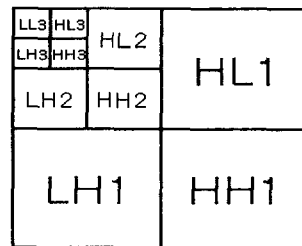


그림 2.2 Three level 부대역

여기서 LL는 저주파 성분, LH는 영상의 수평 방향의 에지 특성을 갖는 고주파 성분을 나타내고, HL은 수직 방향의 에지 특성을 갖는 고주파 성분, HH는 대각선 방향의 에지 특성을 갖는 고주파 성분을 나타낸다. 따라서 웨이브릿은 Ψ_x 로 정의되고, 모함수를 변이시키고 확대, 축소시킴으로써 얻어지는 함수들의 집합이다. 웨이브릿의 기저 함수는 아래의 식 18과 같고, 식1은 직교 웨이브릿 변환 함수로 분석 필터 뱅크와 합성 필터 뱅크가 똑같은 웨이브릿 함수로부터 유도된다.

$$\Psi_{(s,t)}(x) = 2^{-s/2} \Psi(2^{-s} x - t) \quad \text{식(1)}$$

여기서 s는 웨이브릿 기저의 크기이고, t는 웨이브릿 기저의 위치이다.

$$WT = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \Psi_{(s,t)}(x) dx \quad \text{식(2)}$$

2.2 워터마크 삽입 알고리즘

웨이브릿 워터마크 삽입 알고리즘은 원본 영상을 이용하여 웨이브릿 변환을 한 후, 손실 압축(Loss Compression)이나 필터링(Filtering), 잡음(Noise) 등에 크게 영향을 받는 저주파 성분과 인간의 시각적으로 큰 의미를 갖는 명도(Brightness)와 대비(Contrast) 변화에 강한 고주파 성분에 각각 임계치(Threshold Value)를 적용하여 소유권의 정보가 담긴 로고 이미지를 시각적으로 보이지 않게 삽입하였다. 워터마크를 삽입하는 위치로는 아래 그림 2.3에서와 같이 저주파 성분(LL3)과 수평과 수직 방향의 에지 특성을 갖는 고주파 성분(LH2, HL2, LH1, HL1)이 들어있는 부분이다.

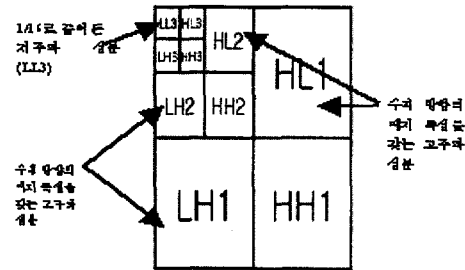


그림 2.3 워터마크 삽입 위치

2.3 워터마크 추출 알고리즘

웨이브릿 워터마크 추출 알고리즘은 손실 압축(Loss Compression)과 잡음(Noise), 필터링(Filtering) 등에 의해 변형된 영상에서 워터마크를 효율적으로 추출하기 위하여 원본 영상과 워터마크가 삽입된 영상에 대하여 각각 웨이브릿 변환한 후 차이값을 구하고, 그 값에 임계치를 적용한 다음, 삽입된 워터마크를 추출한다.

- 워터마크 추출 알고리즘 과정은 아래와 같다.
- (1) 원본 영상과 워터마크가 삽입된 영상을 각각 웨이브릿 변환한다.
 - (2) 원본 영상과 워터마크가 삽입된 영상 사이의 계수 값들의 차를 구한다.
 - (3) 임계치를 설정하고, 그 임계치를(2)에서 구한 값을 적용하여 워터마크가 삽입된 위치를 찾아내고 추출한다.

III. 웨이브릿 변환에 이미지-적응적인 워터마크 알고리즘

본 논문에서는 인간 중심의 시각 시스템 관점에서 주파수 기반의 워터마크인 이산 코사인 변환과 이산 웨이브릿 변환보다 더욱 개선된 투명성과 견고성을 제공하기 위하여 이산 웨이브릿 변환에 이미지-적응 워터마크 알고리즘을 적용을 제안하고, 이 알고리즘에 의해 만들어진 워

터마크를 삽입, 추출, 인증함으로써 디지털 이미지의 저작권 보호와 인증과 위조 방지에 대한 워터마크의 효율성을 입증하고자 한다.

$$\begin{cases} X_{u,v}^* = X_{u,v} + J_{u,v} W_{u,v} & (X_{u,v} > J_{u,v} \text{ 일 경우}) \\ X_{u,v}^* = X_{u,v} & (X_{u,v} \leq J_{u,v} \text{ 일 경우}) \end{cases} \quad \text{식(3)}$$

IA-W 구조의 워터마크 encoder는 위의 식3을 이용하며, 여기서 $X_{u,v}$ 는 최초의 원본 이미지 $x_{i,j}$ 의 주파수 계수이며, $X_{u,v}^*$ 는 워터마크된 이미지의 주파수 계수, $J_{u,v}$ 는 개개의 주파수 계수의 계산을 위해 처리된 임계값, 즉 JND(just noticeable difference) 값이다.

웨이브릿 변환을 이용한 주파수 분할에 이미지-적응 워터마킹 구조를 적용한 블록도는 아래 그림과 같다. block-기반 DCT 변환을 이용한 주파수 분할에도 이미지-적응 워터마킹 구조를 도입하여 시각화할 수 있다.

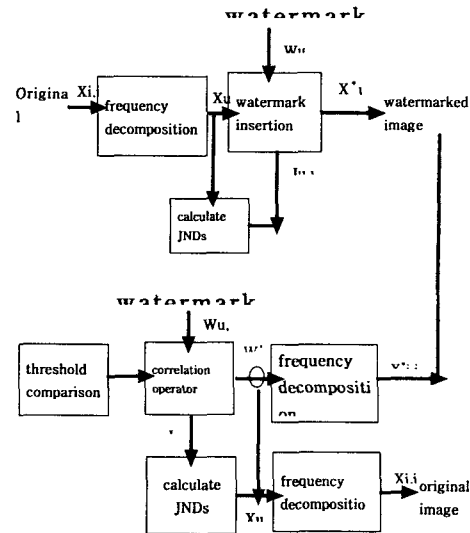


그림 5.1 이미지 적응 워터마크의 일반적인 블록 다이어그램

본 논문에서 사용하는 웨이브릿 기반의 이미지-적응 알고리즘(IA-W)은 DCT 기반의 알고리즘보다 더 단순하게 구현된다. 웨이브릿 기반의 알고리즘에서 이용하는 임계값(JND 값, 즉 $J_{u,v}$)은 전형적인 viewing 조건의 특성에 따라 각각의 주파수대를 결정한다. 워터마크의 견고성을 유지하기 위해서 저주파 성분의 대역에 워터마크를 삽입하는 것이 더욱 유익하다.

IV. 실험 및 고찰

원본 영상을 위하여 DCT, DWT, 그리고 본 논문에서 제시한 IA-DWT 워터마크 알고리즘을

이용한 변환을 시도 하였다. 본 논문에서 제안한 이미지 적응 워터마크 삽입 알고리즘을 이용하여 생성된 워터마크가 삽입된 영상과 원본 영상과의 비교는 그림과 같다. 그림과 표4.1에서 보듯이 시각적으로 전혀 구별을 할 수 없으며, 원본 영상과 워터마크가 삽입된 영상과의 일치성을 판단할 수 있는 유사도 측정 실험도 96.89%로 나타나 이미지 적응 워터마크 삽입이 비가시적임을 알 수 있었다.



(a) 원본 영상 (b) 워터마크가 삽입된 영상
그림 4.1 원본 영상과 IA-DWT 변환을 이용한 워터마크가 삽입된 영상

표 4.1 A-DWT 변환 워터마크에서 삽입 워터마크 영상의 성능 값

Algorithm	Quality factor Q					
	80	60	40	20	10	5
IA-DWT	0.96	0.86	0.64	0.52	0.40	0.32

* JPEG 압축

JPEG 압축이 국제 표준이 되면서부터 워터마크 구조가 JPEG 압축에도 잔존하는지의 여부가 매우 중요하다.

그림 4.2은 각각 다른 데이터율로 JPEG 압축된 워터마크된 이미지이다. 압축되지 않는 워터마크된 이미지는 상단의 좌측이다. 상단의 우측의 이미지는 원본이 8bpp에서 0.6bpp까지 압축된 워터마크된 이미지이다.

또한 다음 아래 그림 4.2에서 보이듯 본 논문에서는 JPEG에서 효율적인 워터마크기법을 제안한다. 추출시에 원 워터마크 영상이 없이도 워터마크를 추출 할 수 있는 블라인드 기법이다.



그림 5. 각각 다른 데이터율로 JPEG 압축된 워터마크된 이미지

표 4.2 각각 다른 데이터율로 압축된 IA-W구조의 워터마크 탐색에 의한 값

Bits per pixel	1.18	0.8	0.6	0.4	0.27	0.18
ρ_{ww}	0.98	0.61	0.47	0.29	0.17	0.08

* rescaling

rescaling(재설계)이란 워터마크된 이미지에서 발생하는 보통의 또 다른 이미지 변형을 말한다. rescaling의 경우는 워터마크가 다음에 나오는 subsampling(부본본)과 interpolation에 의한 저역통과필터링(low-pass filtering)에 잔존할지의 여부를 먼저 조사해야 한다. 아래그림4.3은 interpolation에 의해 3단계로 10분의 1씩이 제거된 사례를 보여 준다 그리고 상단 우측 예지 부분에 있는 이미지는 각 방향에서 두 번째까지 10분의 1을 제거한 이미지이다. 10분의 1을 제거한 워터마크 탐색의 값은 아래 표4.3에 있다.

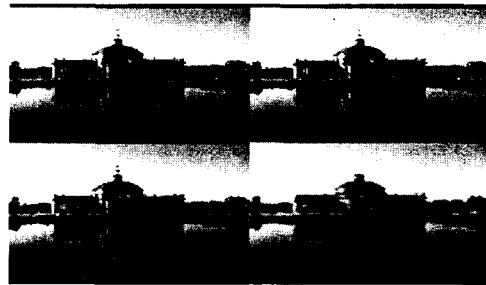


그림 4.3 Interpolation에 의해 3단계로 10분의 1씩이 제거된 사례

표 4.3 10분의 1을 제거한 워터마크 탐색의 값

Scaling factor	Unscaled	2	4	8
Test statistic	1.0	0.9	0.75	0.66

V. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 디지털 콘텐츠에 소유권을 보호하기 위한 워터마크 삽입 알고리즘에 웨이브릿 변환에 의한 계수의 특성을 이용하여, 분할된 주파수의 대역별로 각기 다른 임계치를 적용하였다. 저주파 영역에서는 계수 값의 차를 이용하여 임계치보다 큰 값들은 제거한 후에 워터마크를 삽입하였고, 고주파 영역에서는 계수 간의 차가 적으므로 절대값의 크기를 이용하였다.

저주파 성분에서 추출된 워터마크의 상관 계수가 1에 가까운 값을 나타내면 견고성이 뛰어나며, 고주파 성분에서 삽입한 워터마크의 상관 계수는 비교할 필요도 없이 견고함을 확인하였다. 실험 결과는 손실 압축, 잡음 첨가, 필터링에 대

하여 견고성과 이미지의 품질이 향상되었음을 알 수 있었다.

향후 방향은 다양한 공격의 형태인 손실 압축, 회전, 필터링, 크로핑, 리샘플링 등에 의해 여러 단계로 변환된 이미지에 대한 워터마크 검출 기법과 인증에 대하여 연구할 것이다.

Trans. on Image Processing, 6, 12, pp. 1673-1687, 1997.

- [10] S. Craver, N. Memon, N. Yeo, and M. Yeung, "Can Invisible Watermarks Resolve Rightful Ownership?," IBM Research Report, RC20509, July 25, 1996.

참고문헌

- [1] J. J. K. O' Ruanaidh, W. J. Dowling, F. M. Boland, "Phase watermarking of digital images," Proc. 1996 IEEE Int. Conference on Image Processing(ICIP'96), Vol. III, pp. 239-242, 1996.
- [2] W. Bender, D. Gruhl, N. Morimoto, and A. Lu, "Techniques for data hiding", IBM Systems Journal, Vol. 35, No. 3 and 4, pp.313-336, 1996.
- [3] 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.
- [4] I. Pitas and T. H. Kaskalis, "Applying signatures on digital images," in Proc. IEEE Nonlinear Signal and Image Processing, June 1995, pp. 460-463
- [5] G. Voyatzis, N. Nikolaidis and I. Pitas, "Digital Watermarking : An Overview," Proc. of EUSIPCO'98, Sep., 8-11, Rhodes, Greece, 1998.
- [6] G. Caronni, "Assuring Ownership Rights for Digital Images,"in Reliable IT Systems VIS '95, H. H. Brueggemann and W. Gerhardt-Haeckl, eds., Vieweg Publishing Company, Germany, 1995.
- [7] A. Piva, M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini, "DCT-based watermark recovering without resorting to the uncorrupted original image," Proceedings of ICIP'97, Santa Barbara, CA, SA, Oct., 26-29, Vol. I, pp. 520-523, 1997.
- [8] R. B. Wolfgang, E. J. Delp, "A watermarking technique for digital imagery : further studies," Video and Imaging Processing Laboratory, Proceeding of the International Conf. on Imaging Science, pp. 279-287, 1997.
- [9] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton and T. Shamoan, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," IEEE