

웨이블릿 기반의 영상 워터마킹 기법 비교 연구

김선우^{*} · 최연성^{*} · 박한엽^{*} · 김현주^{**}

^{*}군산대학교 전자정보공학부 · ^{**}아이비시스 (주)

A Study on the Wavelet-based Watermarking Techniques Comparison for Digital Image

Sun-woo Kim^{*} · Yeon-sung Choi^{*} · Han-yup Park^{*} · Hyun-joo Kim^{*}

^{*}Kunsan National Univ. School of Electronic & Information Engineering · ^{**}Ivisys, Inc.

E-mail : ssuny@kunsan.ac.kr

요 약

본 논문은 최근 급격히 대두되어지고 있는 디지털 영상에 대한 워터마킹(Watermarking) 기법들 중에서 웨이블릿 기반의 여러 가지 기법들에 대한 장/단점을 비교하였다. 워터마킹은 소유권을 주장하기 위하여 '워터마크'라는 디지털 신호를 영상에 첨가하는 것이다. 본 연구에서는 다양한 워터마킹 기법들 중에서 웨이블릿 기법을 이용한 워터마킹에 대해서 국 내/외에서 주장되어진 여러 가지 예 들을 가지고 비교함으로써, 보다 실용적인 워터마킹 기법을 제시하고자 한다. 실험 결과 제안된 여러 가지 기법들 중에서 보다 우수한 화질과 강한 특성을 가지는 워터마킹 기법에 대해서 알수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, We compared with advantage and disadvantage about several wavelet-basis watermarking techniques for digital image. Watermarking is embedding a digital signal called as 'watermark' into images to claim the ownership. In this study, simulation performed using wavelet based method among the various watermarking techniques proposed on domestic and foreign country.

The experimental results show that the efficiency watermarking techniques among the proposed various techniques with good quality and robustness property.

1. 서 론

최근 인터넷과 정보 통신 기술의 눈부신 발전으로 다양한 형태의 멀티미디어 정보에 대한 제작과 공급이 늘게 되고, 또한 이렇게 생성된 멀티미디어 정보에 대해 손쉽게 복제와 변경이 가능하게 되었다. 따라서 이러한 멀티미디어 정보에 대한 지적 재산권에 대한 문제가 최근 급격히 대두되고 있다. 이를 위해서 제시된 것이 디지털 워터마킹(Digital Watermarking)이다. 이는 간단하게 보면 원 영상에 사람이 육안으로 인식되지 않는 특정한 신호(Watermark)를 삽입하여 저작권을 보호하는 방법이다.

워터마킹을 삽입하는 방법들을 크게 나누면 공간 영역(Spatial Domain)에서의 워터마킹 기법, 주파수 영역(Frequency Domain)에서의 워터마킹

기법, 그리고 두 영역에 모두 워터마크를 삽입하는 혼합형(Hybrid) 워터마킹 기법으로 나눌 수 있다. 공간 영역에 삽입하는 방법은 영상의 화질에 손상이 거의 없는 비트에 추가적인 정보를 삽입하여 영상의 화소 자체를 조작하는 방법으로 계산량이 비교적 적고 손쉽게 워터마크 삽입이 가능하다는 장점이 있지만 잡음에 강인하지 못하며 JPEG 압축등과 같은 영상 압축 및 필터링 같은 영상 처리에 적용하기 힘든 단점이 있다.

주파수 영역에 삽입하는 방법은 이미지 데이터를 주파수 성분의 신호로 변환한 압축이나 잡음에 크게 영향을 받는 고주파 영역을 제외하고 시각적으로 큰 의미를 갖는 저주파 영역에 워터마크를 삽입하는 기법으로 주파수 영역은 공간영역보다 계산이 단순하면서도 좋은 성능을 보이기 때문에 최근 많이 쓰이고 있다. 일반적으로 DCT,

FFT, Wavelet Transform등을 사용한다. 또한 최근에 연구되어지는 혼합형 워터마킹 방법은 워터마크를 공간 영역과 주파수 영역 모두에 삽입함으로써 각각의 장점을 모두 가지도록 하는 방법들이 연구되어지고 있다. 대부분의 방법들은 워터마크 검출 시 원 영상이 있어야만 워터마크를 판별할 수 있다. 그러나 워터마크 검출 시 원 영상을 요구하지 않는 기법들도 최근에 연구되어지고 있다.

본 논문에서는 최근 가장 많이 연구되어지고 있는 웨이블릿 기반(Wavelet-based)의 워터마킹 삽입 기법들에 대해서 어떤 웨이블릿 기법이 워터마킹에 더 적합한지를 알아보기 위해서 기존의 제안된 기법들을 가지고 비교 분석할 것이다.

2장에서는 웨이블릿 기법에 대해서 간단하게 설명하고, 3 장에서는 기존의 기법들에 대해서 알아볼 것이다. 4장에서는 실험한 결과에 대한 비교 분석을 할 것이다. 5장에서 실험 결과에 대한 결론을 맺고 끝마칠 것이다.

II. 웨이블릿 기법

웨이블릿 변환은 기저 함수(base function)로써 기존의 DCT등에서 사용했던 사인(sine), 코사인(cosine)함수 뿐만 아니라 좀더 복잡한 웨이블릿 모함수(Mother wavelet function)를 사용할 수 있고 공간에 대한 지역적인 특성을 가지고 있어서 전체적인 특성 뿐만 아니라 지역적인 특징까지도 분석이 가능하다. 또한 웨이블릿 변환은 이미지에 대하여 다해상도 분석(Multiresolution analysis)이 가능하다.

웨이블릿 변환의 기본적인 개념은 임의의 함수 $f(x)$ 를 시간-주파수 공간에서 동시에 지역성을 갖는 웨이블릿 기저 함수(Base function)들의 중첩(Superposition)으로 표현하는 것이다.

웨이블릿은 하나의 원형 웨이블릿 함수 $\psi(t)$ 를 이용하여 수축(compaction)과 확장(dilation)을 통하여 만들어지는 $\psi_{s,\tau}$ 의 집합을 의미한다.

$$\psi_{s,\tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) \quad \dots (1)$$

여기서 s 는 스케일 인자(scale factor)이고, τ 는 이동 인자(translation factor)이다.

이산 웨이블릿 변환(DWT : Discrete Wavelet Transform)은 식 (1)에서 $s=2^m$, $\tau=n2^m$ 으로 이산화 시킨 것으로 웨이블릿 변환과 역변환은 다음과 같다.

$$DWT : F(m,n) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \psi_{m,n}(x) dx \quad \dots (2)$$

$$IDWT : f(x) = \sum_m \sum_n F(m,n) \psi_{m,n}(x) \quad \dots (3)$$

웨이브릿은 단일 원형 함수에 기반을 둔 뛰어난 time-scale 국부성(locality)으로 데이터를 다중해상도 표

현 및 분석이 가능하여 네 개의 각각 다른 부 영상으로 구성된다. 웨이블릿으로 변환된 각 부 영상들은 저주파 대역으로부터 고주파 대역으로의 계층적 정보를 가지고 있다. 따라서 웨이블릿 변환에서의 피라미드 구조는 <그림 1> 과 같다.

웨이블릿은 대역 통과 필터의 성질을 갖고 있어서 신호의 특징을 추출하고 LPF(Low-Pass Filter)에 의한 잡음을 억제하는데 효과적이다.

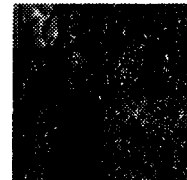
웨이블릿 변환은 비단 워터마킹 기법 뿐만 아니라 영상 처리 및 영상 압축등에 널리 사용되어지고 있는 기법이다.



A) 원 영상



B) 분해 과정 1단계



C) 분해 과정 2단계

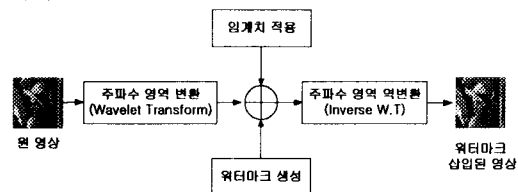
그림 1. 영상의 DWT 피라미드 분해 과정

III. 웨이블릿 기반의 워터마킹 기법

웨이브릿 기반의 워터마킹 기법에는 여러 가지 방법들이 있다. 웨이블릿 기저 함수에 어떤 함수를 쓰냐에 따라서 웨이블릿은 많은 변화를 가질 수가 있다. 또한 워터마크를 어떤 방법으로 적용하는가에 대한 차이점이 있다.

워터마크를 어떤 임의의 키 값으로 워터마크로 생성하여 웨이블릿을 기법을 적용하는 방법과 Hsu가 제안한 방법처럼 이웃한 웨이블릿 변환 계수 사이의 상관 관계[6][7]를 이용하는 방법등 여러 가지 방법들이 있다.

<그림 2>는 일반적인 웨이블릿 기반의 워터마크 삽입과 추출 알고리즘을 나타낸 것이다.



A) 워터마크 삽입 방법

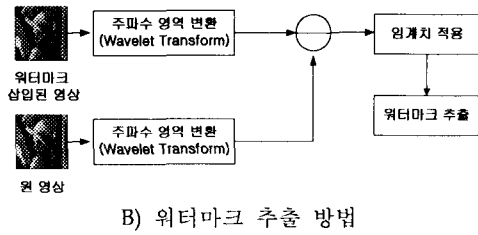


그림 2. 일반적인 워터마크 삽입/추출 방법

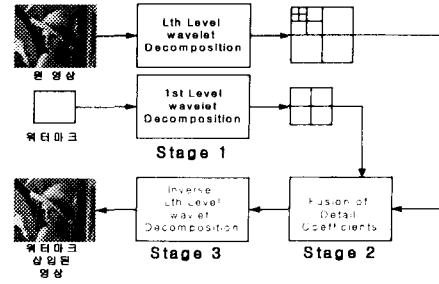


그림 3. Kundur 워터마킹 알고리즘.

원 영상을 이용하여 웨이블릿 변환을 한 후에, 저주파 성분과 고주파 성분에 각각 특정한 임계치를 적용하여 개인의 신상 정보에 해당하는 워터마크를 생성시킨 후, 시각적으로 보이지 않게 워터마크를 삽입하는 방법이다. 이때 생성한 워터마크 코드는 ASCII 코드 값으로 변환하여 이용하게 되고 일반적인 영상 변형에 강한 저주파 성분과 명도나 대비 변화에 강한 고주파 성분의 특성을 이용하여 두 부분에 모두 워터마크를 삽입하는 방법이다.

웨이블릿 변환 영역에서 기저 대역을 이용한 워터마크 삽입 및 추출 방법은 영상을 1계층의 웨이블릿 변환 영역으로 변환하고, 기저 대역의 이웃 계수들 사이의 차이를 이용하여 대소 관계를 반전시킴으로써 워터마크 이미지를 첨가한다.

기저 대역의 이웃하는 계수들 중에서 20% 정도에 해당하는 계수값의 차이가 큰 계수 쌍은 워터마크를 첨가할 부분에서 제외하는데, 이는 인간의 시각에 민감하고 영상에서 중요한 정보인 에지 부분의 반전을 제거하여 화질이 심각하게 낮아지는 현상을 막을 수 있다.[5]

Wang[3]이 제안한 적응적 워터마킹 캐스팅 기법은 처음에 주 웨이블릿 부대역을 결정하고 그때 삽입된 워터마크를 위해서 이러한 부밴드들에서 주 웨이블릿 계수들의 쌍을 선택하는 것이다. 이 기법에서는 원 영상의 도움 없이 내장된 워터마크를 검출할수 있는 방법을 제안하였다. 이 방법에서는 계수를 시각적인 중요성에 따라서 분류하였다. 가중치 인자인 α 를 워터마크에 적용적으로 적용함으로써 워터마크가 삽입된 영상의 정확도를 높이려고 하였다.

Kundur가 제안한 다해상도 웨이블릿 결합(Multiresolution wavelet fusion)[1][2]의 개념에 기반한 워터마킹 기법은 인간 시각 시스템의 모델을 혼합한 정지 영상 워터마킹 기법을 제안하였다. Kundur의 기법은 원 영상과 워터마크 영상 둘다에 다해상도 웨이블릿 분해를 적용하는 것이다. 영상이 웨이블릿 분해 과정에서, 성분들은 영상을 몇 개의 성분들로 분해되어진다. 눈의 망막과 같이 많은 로그함수적인 스케일과 거의 동일한 대역폭의 밴드로 분리된다. 그러므로 이산 웨이블릿 변환의 사용은 인간의 눈처럼 많은 결과 성분들의 독립적인 처리를 허락하게 해주는 방법이다.

INOUE[4]가 제안한 방법은 내장된 제로 트리 웨이블릿(EZW : Embedded Zerotree Wavelet)[8] 알고리즘이라고 정의되어있는 제로트리를 사용하여 INOUE는 중요하지 않는 계수들과 중요한 계수들을 주어진 임계치 T에 대해서 $|x| < T$ 와 그것의 자손들인 $|u|, |v| \dots < T$ 이면 중요하지 않은 (insignificant) 계수들 $|x| > T$ 이면 중요한 (significant) 계수들을 선택하는 방법을 사용하였다. 위와 같은 방법으로 웨이블릿 계수들을 구분하여 워터마킹 기법을 적용하는 것이다. 정보 데이터는 중요하지 않는 계수들의 위치에서 워터마크로써 삽입되어진다. 또한 정보 데이터는 문턱치 (Thresholding)나 이미지 신호들의 시각적으로 중요한 스펙트럼의 성분들을 더 거친(coarser) 스케일들에서 중요한 계수들로 변형시킴으로써 삽입되어질 수 있다.

IV. 비교 및 분석

위에서 언급하였던 웨이블릿을 이용하여 워터마킹을 하는 기법들에 대해서 구현을 하고 각 기법에 대한 장점과 단점을 비교하였다.

실험 환경은 윈도우즈 2000 Pro에서 Visual C++ 6.0을 가지고 구현하였다.

실험은 각 방법에서 제안했던 방법들에 맞게 사용하였고, 사용된 영상은 영상처리에 많이 사용되는 256×256의 그레이레벨의 "Lena"영상을 사용하였고, PSNR값을 구하여 성능을 평가하였다.

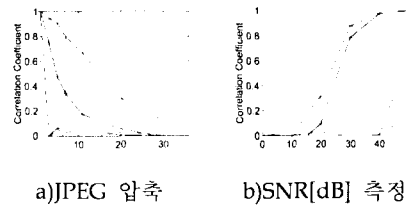


그림 4. Kundur의 실험 결과

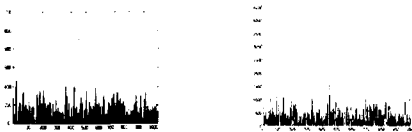
Kundur의 방법은 256×256의 Lena 영상에 16×16의 이진 워터마크를 삽입하여 실험을 하였다. Kundur는 SNR의 비교를 통해서 실험 결과를

나타내었다. 실험은 JPEG으로 압축한 결과와 백색 가우시안 잡음(white Gaussian noise)을 추가함으로써 왜곡등을 발생시켜 응답을 알아보았다. 실험에 대한 결과는 <그림 4>와 같다.

Wang의 방법에서는 512×512의 Lena 이미지를 가지고 실험을 하였다.

가중치 α 가 1.0일 경우 PSNR은 37.20[dB]가 나왔다. 또한 블라인드 워터마크인 경우 46.80[dB]가 나왔다. 이때의 α 는 0.125에 값을 주었다.

Wang의 450개의 ID number를 가지고 실험한 결과는 다음과 같다.



a) 모자이크 공격 b) JPEG 압축
그림 5. Wang의 실험 결과

INOUE가 제안한 두 가지 방법에 대한 JPEG을 가지고 영상 압축을 한 실험 결과는 다음과 같다.

Quality	Compression	PSNR[dB]	Error(%)
75%	5.8:1	36.78	0
50%	8.4:1	34.03	0
40%	9.6:1	33.17	0
30%	11.4:1	32.12	0
20%	14.1:1	30.04	9.9

표1. 중요하지 않은 계수 사용한 INOUE 방법

Quality	Compression	PSNR[dB]	Error(%)
75%	5.9:1	36.82	0
50%	8.5:1	34.02	0
40%	9.7:1	33.15	0
30%	11.4:1	32.11	0.4
20%	14.1:1	30.04	6.6

표2. 중요한 계수 사용한 INOUE 방법

위에서 제안한 방법들을 보면 각각의 방법들에 대해서 각 방법에 맞는 여러 가지 실험들을 하였다. Kundur의 방법은 백색 잡음이 추가된 경우와 10% 이내의 JPEG 압축 그리고 Mean filtering에서 강인성(robustness)를 가졌다. Wang의 방법도 10% 이내의 JPEG 압축에서 강인성을 가졌다. 반면 INOUE의 방법은 JPEG 압축에 대해서 상당한 강인성을 나타낸다.

V. 결 론

본 논문은 최근 급격히 대두되어지고 있는 워터마킹 기법들 중에서 웨이블릿에 기반한 기법들에 관한 성능을 비교하였다.

결과적으로 위에서 구현한 모든 기법들의 장점과 단점을 발견하였다. JPEG 압축의 경우에는 INOUE의 방법을 사용하면 좀더 강인한 워터마크를 적용할 수 있을 것 같다. 또한 Kundur의 방법은 가우시안 잡음에 더 강인하다. Wang의 경우는 SPIHT 압축에서도 좋은 성과를 나타내는 것을 알 수 있었다.

앞으로는 원본 영상을 필요로 하지 않는 방법들에 대해서 더 많은 연구가 이루어질 것으로 예상되어진다. 또한 제로 트리 웨이블릿과 같은 고압축 및 여러 가지 기타 공격에 대해서도 강인한 워터마크가 필요할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] D. Kundur and D. Hatzinakos, "Digital watermarking using multiresolution wavelet decomposition," Proc. IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol. 5, May, 1998.
- [2] D. Kundur, D. Hatzinakos, "A Robust Digital Image Watermarking Method using Wavelet-Based Fusion," Proceedings of ICIP'97, Santa Barbara, CA, USA, Oct., 26-29, Vol. I, pp. 544-547, 1997.
- [3] H.J.M Wang, P.C Su and C.C.J Kuo "Wavelet-based digital image watermarking" Optics Express of OSA 1998, Vol.3, No.12, Nov, 1998
- [4] H.INOUE, A.MIYAZAKI, T.KATSURA "A Digital watermark based on the wavelet transform and its robustness on image compression", Proc. IEEE ICIP'98. 1998. PP.391-395
- [5] 김현수, 배성호, 박길흠. "이웃한 웨이블릿 계수 쌍의 평균과 차이를 이용한 워터마킹 기법". 한국 정보처리학회 논문지 제 7권 6호, 2000.6
- [6] Chiou-Ting Hsu and Ja-Ling Wu, "Multiresolution watermarking for digital images," IEEE Trans. Circuits Syst. II, vol. 45, no. 8, pp. 1097-1101, Aug. 1998.
- [7] Chiou-Ting Hsu and Ja-Ling Wu, "Hidden digital watermarks in images," IEEE Trans. Image Processing, vol. 8, no. 1, pp. 58-68, Jan. 1999.
- [8] J.M. Shapiro, "Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients", IEEE Trans. Signal Process, vol. 41, no. 12, pp.3445-3462. 1993.