

계층구조상에서 집합 분할방식을 이용한 디지털 워터마킹에 관한 연구

조홍용⁰ 조영 박장한 남궁재찬
광운대학교 컴퓨터공학과

rokaf@gwu.ac.kr cake0709@hanmail.net (parkch, namjc)@gwu.ac.kr

A Study on the Digital Watermarking using Set Partitioning In Hierarchical Trees

Hong-yong Cho⁰, Young Cho, Chang-han Park, Jae-chan Namkung
Dept. of Computer Engineering, KwangWoon University

요 약

본 논문에서는 웨이블릿(wavelet) 변환된 영상의 압축 방법으로 사용되는 SPIHT(Set Partitioning In Hierarchical Trees)을 이용하여 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. 기존의 특정 대역에만 워터마크를 삽입하는 방법은 화질열화와 압축의 두 가지 문제점을 동시에 해결할 수 없었다.

제안된 방법은 웨이블릿 변환된 영상의 계수 값이 동일한 방향을 갖는 부대역 간에 상관관계를 갖는 점을 이용하여 특정 대역이 아닌 중요 계수에만 워터마크를 삽입함으로써 강인성과 비 가시성이 증가되도록 하였다. 워터마크의 추출은 워터마크된 영상과 PN(Pseudo Noise)코드와의 계수 차를 이용하였으며, 워터마크가 삽입된 영상의 인증을 위해 통계학적인 접근 방법을 사용하였다.

실험을 통하여 워터마크가 삽입된 영상에 대해 손실 압축, 잡음, 크로핑, 리사이즈, 쿨투션의 공격을 가한 결과 평균 유사도 값이 0.987의 높은 추출율을 보여 강인성을 입증하였다.

1. 서 론

최근 인터넷을 중심으로 한 컴퓨터 통신, 전자출판, 네트워크의 급속한 발전과 성능 향상으로 멀티미디어 데이터의 활용이 크게 증가하였다. 이러한 멀티미디어 데이터의 디지털화는 문서, 음성, 사진 및 비디오 데이터 등 다양한 매체들을 전자기적 장치에 의해 디지털화하여 효율적으로 저장, 접근, 이용이 가능하게 하였고, 많은 양의 정보를 디지털 형태로 저장·전송하도록 허용하였다. 그러나 디지털 정보 형태로 전송되는 멀티미디어 데이터는 복제 및 레코딩을 하는데 있어서 손실이 없고, 네트워크를 통해 배포가 쉽고, 편집 및 수정이 용이하기 때문에 다량의 복사가 가능하며, 복사 후 원본과 동일하게 유지되므로 누구든지 저자의 동의 없이 복사 본 제작과 배포가 용이한 문제점을 가지고 있다[3]. 그러므로 멀티미디어 데이터의 불법적인 복제 및 사용을 방지하기 위한 저작권 보호 기법의 개발이 필수적이다.

본 논문에서는 웨이블릿 변환된 영상의 압축 방법으로 사용되는 SPIHT를 이용하여 워터마크를 삽입하는 방법을 제안한다. 제안된 방법은 웨이블릿 변환된 영상의 계수값이 동일한 방향을 갖는 부대역 간에 상관관계를 갖는 점을 이용하여 특정 대역이 아닌 중요 계수에만 워터마크를 삽입함으로써 강인성과 비 가시성이 증가되도록 한다. 워터마크의 추출은 워터마크된 영상과 PN코드와의 계수차를 이용하며, 워터마크가 삽입된 영상의 인증을 위해 통계학적인 접근 방법을 이용하는 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 2장에서는 워터마크의 관련 연구들을 기술하였으며, 3장에서는 SPIHT를 이용한 워터마킹 방법과 워터마크의 삽입 및 추출 알고리즘에 대해 설명하고, 4장에서는 실험한 결과와 기존 기술과의 비교 분석을 하였으며, 마지막으로 5장에서 결론과 향후 연구방향을 제시한다.

2. 관련연구

2.1 디지털 워터마크

워터마킹(Watermarking)은 어떤 미술작품이나 책의 저자나

주인이 이 작품은 자신의 것이라는 것을 표시하기 위해 육안으로는 보이지 않는 투명한 형태의 표시를 해 두는 것을 말한다. 이러한 개념을 컴퓨터에 적용한 것이 디지털 워터마킹이다. 비디오나 오디오와 같은 멀티미디어 파일이나 이미지 파일, 사진 파일 등에 보이지 않는 작은 수정을 가함으로써, 소유권 정보를 부호화하는 과정이다.

주어진 원영상 I에 레이블(Label) $S = S_1, S_2, \dots, S_n$ 을 부호화 과정 E를 통하여 삽입하면 워터마크가 내장된 영상 $I' = E(I, S)$ 를 얻을 수 있다. 이때 레이블 S는 영상에 표시된 워터마크가 된다[7]. 테스트 영상 J(워터마크가 삽입되었거나, 삽입되지 않았거나, 손상된 영상)에 대한 소유권을 판정하는 과정은 J 또는 원 영상 I를 입력으로 받아 부호화 과정 D를 통해 레이블 $S' = D(I, J)$ 를 추출한다. 추출된 레이블 S' 와 S 사이의 유사도를 비교함으로써 소유권을 판정한다. 따라서 부호화 과정, 복호화 과정, 유사도 비교를 어떻게 설정하는가에 따라서 시각적인 무감지성, 신뢰할 수 있는 추출, 자동화된 추출과 탐색, 관련키, 통계적 무감지성, 다중 워터마킹, 강인성 등의 여러 가지의 워터마킹 방법이 존재하게 된다.

공간 영역에서 워터마크를 삽입하는 가장 간단한 방법은 픽셀들을 임의적으로 선택하여 그것의 밝기 값의 LSB(Least Significant Bit)를 변형시키는 것이다[1]. 이 방법은 잡음과 일 반적인 신호처리에 강인(Robust)하지 못하다는 단점을 가지고 있다. 또한 데이터 전송 및 잡음(Noise)에 매우 민감하고, 데이터 압축과 같은 영상의 변형에 내장된 워터마크를 쉽게 손실하는 문제점이 있다. 대표적인 방법들로는 Bender, Pitas와 kaskalis, Caronni 등이 있다.

영상 데이터를 DCT Domain, Wavelet Domain, Fourier Mellin Domain, Fourier Transform Domain 등과 같은 변환으로 주파수 공간으로 변환하여 그 주파수 영역들 중에서 시각적으로 덜 민감한 부분에 적용적으로 워터마크를 삽입하는 방법이다[2][4]. 대표적인 방법으로는 Cox, Boland, Podicichuk와 Zeng, Xia 등이 있다.

2.2 웨이블릿 변환

웨이블릿 이론은 응용 수학에서 처음 소개된 후 인식 분야에서 연구되어온 다중해상도 표현과 연관성이 있고, 필터 설계방법과 동일함인 밝혀진 후 현재 활발하게 연구되고 있는 변환 기법이다. 현재 JPEG 2000의 표준안으로 채택된 웨이블릿의 특징은 시간 축에서의 위치를 알 수 없는 푸리에 변환의 한계를 극복하고 블록 단위로 처리하는 DCT의 약점인 블록 효과가 없고, 속도가 빠르며 압축율이 높다. 대표적인 웨이블릿 변환 기법으로 Orthogonal Wavelet, Biorthogonal Wavelet, Packet Wavelet, Chirplet Wavelet 변환이 있다. 웨이블릿 변환은 시간 및 주파수영역에서 동시에 국부성(Locality)을 갖는 웨이블릿 기저함수(Wavelet Basis)의 선형 결합으로 표현하는 것이다[5]. 영상을 웨이블릿 변환하면 서로 다른 단계의 다해상도 부대역 신호, 즉 저주파 성분(LL)과 방향성을 가지는 수직, 수평, 대각 방향의 에지 성분을 가지고 고주파 성분(LH, HL, HH)으로 분해된다.

3. SPIHT을 이용한 워터마크

본 논문에서 제안하는 SPIHT을 이용하여, 중요계수를 추출한 후 워터마크를 생성하여 중요계수에 삽입하는 방법으로, SPIHT 알고리즘은 Zerotree를 이용하여, 영상을 압축한다는 면에서 EZW(Embedded Zerotree Wavelet)와 유사하다.

3.1 EZW

Shapiro는 Zerotree를 사용하는 부호화에 비트 평면 부호화를 적용하여 효율 높은 압축 알고리즘을 제안하였으며, EZW라고 한다[6]. 여기에서 Embedded란 부호화 측에서 원하는 임의의 비트율에서 부호화를 멈출 수 있다는 개념으로, 비트 평면의 개념을 적용한 것이다. 부호화 과정에서도 전송되는 비트열에 적용할 수 있는 것이다. 이 알고리즘은 원 영상에 대한 사전 지식과 벡터 양자화에 사용되는 코드북과 같은 데이터가 없어도 압축률이 높은 효율 좋은 부호화를 할 수 있다.

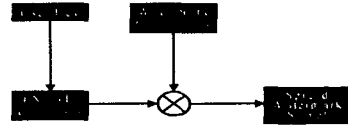
EZW의 이산 웨이블릿 변환을 통한 대역분할은 원 영상이 이산 웨이블릿 변환을 통해 임의 레벨 i 의 저주파 대역을 LL_{i+1} 과 LH_{i+1} , HL_{i+1} , HH_{i+1} 의 4개의 대역으로 나누어 계층적인 영상구조를 만든다. Shapiro는 시뮬레이션에서 5레벨까지의 계층적인 구조를 적용하였는데, 이산 웨이블릿 변환을 위해 Adelson이 제안한 9-tap대칭 필터를 사용하였다. 계수들을 부호화하기 위해 중요도에 따라 ZTR(ZeroTree Root), IZ(Isolated Zero), POS(Positive), NEG(Negative) 4개의 심벌을 사용하였다.

3.2 SPIHT(Set Partitioning In Hierarchical Trees)

Amir Said와 William Pearlman에 의해 제안된 SPIHT은 웨이블릿 변환 계수를 부호화하는데 유용하게 쓰이는 알고리즘이다. SPIHT은 웨이블릿 변환된 영상의 계수 값이 동일한 방향을 갖는 부대역 간에 상관관계를 갖는 점을 이용한 것으로 이장에서는 EZW와 상이한 점을 비교하고 본 논문에서 제안하는 SPIHT알고리즘을 이용하여 중요계수를 추출하는 방법에 대해 기술한다. SPIHT은 위에서 설명한 EZW와 동일하게 Zerotree를 이용한 웨이블릿 계수의 점진적인 전송을 하는 방법이다. 그러나 EZW와의 주요한 차이점은 웨이블릿 계수를 계수의 중요도에 따라 부분 집합으로 분할해 가는 과정과 분할된 계수들을 부호화하는 과정이다. EZW를 개선한 SPIHT은 빠르고 간단하면서도 압축 효율이 좋다[9][11]. SPIHT 은 중요계수를 선별함에 있어 이차원 웨이블릿 변환된 영상에서 부대역 간의 유사성을 이용하여 선별한다.

3.3 워터마크 생성

본 논문에서는 워터마크 추출 시에 시각적으로 쉽게 인지 할 수 있는 장점을 가지는 이진 영상 워터마크를 사용하였다. 이러한 특정한 패턴을 가지는 이진 영상 워터마크를 영상의 화질을 저하시키지 않으면서 공격에 강인하게 하기 위해 대역확산 방법(Spread Spectrum)을 사용하여 삽입하였다[8]. 그림1은 워터마크 신호를 만드는 과정



<그림1> 워터마크 신호를 만드는 과정

3.4 워터마크 삽입 알고리즘

- Step 1 : 키(Key)를 사용해서 PN-Sequence를 생성하고, Watermark Information을 대역 확산(Spread Spectrum) 기법을 이용해서 워터마크를 생성
- Step 2 : 원 영상을 DWT를 이용하여 영상을 분해
- Step 3 : SPIHT을 이용하여 얻어진 중요계수 값에 생성된 워터마크삽입
- Step 4 : 삽입한 영상을 IDWT한 후 Watermarked Image를 생성

3.5 워터마크 추출 알고리즘

- Step 1 : Watermarked Image를 DWT를 이용해 분해
- Step 2 : SPIHT을 이용하여 중요계수 추출
- Step 3 : 워터마크가 삽입된 중요계수와 PN Code의 계수 차를 검출하여 Watermark Information을 추출
- Step 4 : 추출된 워터마크가 원 소유자가 사용한 워터마크인지를 통계학적인 접근 방법으로 판단하여 인증

3.6 워터마크 유효성 검사

원본 영상에 삽입된 워터마크를 w 라하고 영상처리나 각종 공격에 대해 변형된 영상의 워터마크를 w^* 라고 하면 이들의 유사도를 판단하는 식은 (식1)과 같다. 상관 계수는 공분산을 각각의 표준편차로 나누어서 표준화한 것으로 -1에서 1까지의 값을 갖는다. w 와 w^* 의 선형 관계가 강할수록 상관계수의 절대값이 1에 가깝고 w 와 w^* 의 선형 관계가 약할수록 상관계수의 절대값은 0에 가깝다. 워터마크의 유효성 검사는 Cox의 방법에 따라 아래와 같이 계산하였다[5].

$$Sim(w, w^*) = \frac{w \cdot w^*}{\sqrt{w^* \cdot w^*}} \quad (식1)$$

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 실험결과

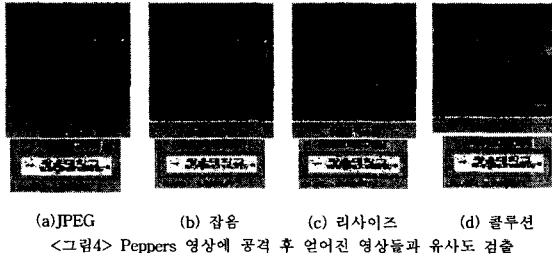
그림2는 256×256크기의 실험 영상이고, 그림3은 워터마크로 사용한 150X50크기의 이진 로고 파일을 보여주고 있다. 또한 그림4는 Peppers 영상에 공격후 얻어진 영상들의 유사도 검출 결과이다.



<그림2> 실험 영상(256X256)



<그림3> 워터마크 삽입 영상



4.2 고찰

본 논문에서 제안하는 방법으로 실험한 결과를 토대로 인간의 시각 시스템으로 영상의 왜곡 정도를 가능하기 어려운 비가시성에 대한 성능평가 지수는 워터마킹 영상에 대한 PSNR을 계산하여 dB값으로 나타내었고, 강인성에 대한 실험으로는 워터마킹된 영상에 다양한 공격(JPEG, Noise, Cropping, Collusion, Resize)을 가한 후에 유사도를 계산하여 성능평가의 지수로 삼았다. 표1과 같이 평균 유사도 값이 0.987로 1에 가까운 높은 추출율을 보여 다양한 공격 후에도 워터마크를 추출할 수 있는 강인성을 보였다. 표2는 주파수 영역에서의 워터마크 방법들 중 Xia의 논문[10]에서 주장하고 있는 워터마크의 추출 강인성과 본 논문에서 제안한 방법의 비교표이다.

<표1> 다양한 공격 후에 추출된 유사도

Attack	JPEG	Noise	Cropping	Collusion	Resize
Lena	0.991964	0.998571	0.995538	0.997321	0.983871
Peppers	0.990536	0.999107	0.995257	0.995357	0.983214
Barbara	0.988393	0.998571	0.997114	0.992250	0.999643
Goldhill	0.991807	0.999107	0.995714	0.995893	0.975893
Yosemite	0.995900	0.997143	0.984107	0.997143	0.984107
Baboon	0.985893	0.998798	0.992000	0.996507	0.977321
Mean	0.990568	0.998241	0.992038	0.996420	0.980625
Total Mean	0.987230				

<표2> 강인성 비교

Method	JPEG	Noise	Cropping	Collusion	Resize
Xia's method	o	o	x	x	o
Proposed method	o	o	o	o	o

표3은 본 논문에서 제안한 방법과 Cox방법의 PSNR을 구하여 dB값으로 나타낸 것이다. 워터마크 영상으로는 이진 로고 영상을 사용하였다. 실험 결과 실험 영상에 따라 약간의 차이를 보였으나 평균적으로 제안한 방법이 Cox의 방법보다 약 3.3(dB) 정도의 화질 개선이 이루어졌음을 알 수 있다.

<표3> 제안한 방법과 Cox방법의 PSNR 비교

Method	Proposed method PSNR(dB)	Cox's method PSNR(dB)
Lena	48.82	44.85
Pepper	47.33	43.27
Barbara	47.55	44.23
Goldhill	47.89	43.94
Yosemite	43.13	-
Baboon	49.05	43.95

5. 결론

본 논문에서는 디지털 영상의 소유권을 보호하기 위해 웨이블릿 변환을 이용하여 시각적으로 인식할 수 없는 부분에 워터마크를 삽입하는 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘은 워터마크를 삽입하기 위해 SPIHT 알고리즘의 특성을 이용하여 영

상의 중요 부분을 추출하는 방법과 이 방법에 의해 추출된 중요 계수에만 워터마크를 삽입하는 방법을 제안한 알고리즘이다. 또한 제안된 워터마크 기법은 워터마크 탐지 과정에서 원영상을 필요로 하지 않는다.

이 부호화 방식은 원하는 비트율에서 부호화를 멈출 수 있고, 부호화기에서 만들어진 비트 스트림을 복호화기로 복호화할 때, 어느 순간에 멈추어도 복호화가 되는 장점이 있다. 이런 특징 때문에 위 방식으로 부호화를 하면 영상의 점진적 전송이 가능하다. 실험결과 공격에 대한 전체 평균 유사도 값이 0.987로 높은 추출율을 보여 워터마크의 강인함을 입증하였다. 또한 워터마크의 비가시적인 실험에서도 기존 방법에 비해 평균 3.3(dB)정도의 화질 개선을 보여 워터마킹 후 영상의 비가시성에 대한 성능 향상을 입증하였다.

향후 연구 과제로 손실 압축이나 잠음첨가, 크로핑, 콜루션, 리사이즈 같은 공격 실험 외에 회전(Rotation)이나 다른 필터링 기법으로 변형된 영상에 대해서도 워터마크를 추출하는 방법과 MPEG같은 동영상에 대해서도 워터마크를 삽입 및 추출하는 효율적이고 견고한 방법이 연구되어져야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] 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.
- [2] D.Kundur, D.Hatzinakos, "A Robust Digital Image Watermarking Method using Wavelet-Based Fusion," Proceeding of ICIP97, Santa Barbara, CA, USA, Oct., 26-29, Vol. I, pp. 544-547, 1997.
- [3] I.J.Cox, J.Kilian, T.Leighton and T.Shamoon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia", IEEE Trans. On Image Processing, 6,12, pp. 1673-1687, 1997.
- [4] [Cre97] Creusere, C. D. "A New Method of Robust Image Compression Based on The Embedded Zerotree Wavelet Algorithm." IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 6, No. 10 (1997), p. 1436-1442.
- [5] I.J.Cox, J.Kilian, T.Leighton, T.Shamoon, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," NEC Research Institute Technical Report 95- 10, 1995.
- [6] J.M.Shapiro, "Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients", IEEE Transactions on Signal Processing, Special Issue on wavelets and Signal Processing, 41(12), pp. 3445-3462, December, 1993.
- [7] S.Craver, N.Memon, N.Yeo, and M.Yeung, "Can Invisible Watermarks Resolve Rightful Ownership?," IBM Research Report, RC20509, July 25, 1996.
- [8] Ingemar J.Cox and Joe Kilian, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia" IEEE Trans. Image Processing, 6, 12, 1673-1687, 1997
- [9] J.Shapiro, "Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients," IEEE Trans. On Signal Processing, vol.41, no.12, pp.3445-3463, December 1993.
- [10] X.G.Xia, C.G.Bonchelet and G.R.Arce, "A multiresolution watermark for digital images," IEEE Int. Conf. On Image Processing, vol. 3, pp.548-551, 1997.
- [11] A. Said and W. Pearlman, "A new, fast, and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees," IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology, vol.6, no.3, pp.243-250, June 1996.