

웨이블릿 변환을 이용한 디지털 워터마킹 기법 연구

한미라*, 정은화*
천안대학교 컴퓨터학과

A Study on Digital Watermarking Using Wavelet Transform

Mi-Ra Han*, Eun-Hwa Jeong*
Dept. of Computer, Chonam University
E-mail : dawn9513@naver.com
E-mail : ehjeong@infocom.cheonan.ac.kr

요 약

디지털 데이터의 복제가 확산됨에 따라 여러 가지 멀티미디어 데이터에 대한 소유권 문제와 이를 효율적으로 보호할 수 있는 기술이 요구되고 있다. 원영상과 삽입될 워터마크 영상을 웨이블릿 분해하고 인간 시각시스템을 사용하여 삽입하고 추출하였다. 삽입된 영상의 인증을 위한 방법으로 통계학적 접근 방법을 제시한다. 본 논문에서 제안한 방법은 영상의 화질이 우수하였으며, 외부의 공격에도 강인성이 뛰어나고, 검출된 워터마크의 시각적인 인지도가 높음을 알 수 있다.

1. 서론

인터넷상의 음악이나 이미지, 동영상을 무단으로 다운로드 받아 마음껏 감상하며 즐거움에 만족해하고 있는 지금, 디지털 데이터의 복제가 확산됨에 따라 여러 가지 멀티미디어 데이터에 대한 소유권 문제와 이를 효율적으로 보호할 수 있는 기술이 요구되고 있다. 디지털 데이터는 누구나 쉽게 복사할 수 있다는 점의 웹의 확산에 큰 역할을 했지만 바로 그 점 때문에 중요한 데이터나 창작품은 배포할 때 저작권의 문제의 원인이 될 수 있다. 워터마크기술은 멀티미디어 데이터에 대한 소유권을 효과적으로 보호하고, 데이터의 불법 복제 및 배포를 제한할 수 있도록 한다.

디지털 영상 정보의 보호를 위해 적용할 수 있는 방법은 크게 세 가지로 나눌 수 있다[5].

첫째, 기존의 공개키(Public Key) 암호화 알고리즘을 이용하여 주어진 데이터를 암호화하는 것으로, 영상을 원래의 데이터로 복구하기 위해서는 개인키(Private Key)를 알고 있어야 한다.

그러나 이 방법은 수학적으로는 매우 안전하지만, 사람이 개인키로 암호화된 정보를 배포하는 것은 막

을 수 없다는 단점을 지니고 있다. 그리고 단순한 공개키 암호화만으로는 저작권을 위반하는 사항을 막을 수 없다.

둘째, 보호하고자 하는 디지털 영상 정보에 대하여 접근 제어용 방화벽(Firewall)을 구축하는 것이다. 컴퓨터 네트워크를 통한 사용자 인증 절차를 거쳐 영상 데이터의 사용을 제한하는 방법이다. 이 방법 역시 사용자가 임의로 영상자료를 배포하는 것을 막을 수 없다는 단점을 가지고 있다.

셋째, 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 부가적인 보호를 제공한다. 디지털 영상에 대한 저작권 정보, 배포자 정보 그리고 사용자 정보를 영상에 삽입함으로써 훗날 법적인 문제가 발생하였을 때 해결책을 제시할 수 있다.

그러나 워터마크 기술에 대해서는 아직도 많은 연구가 필요한 실정이다.

본 논문에서는 디지털 영상 데이터의 정보 보호를

위해 주파수 영역에서의 웨이블릿 변환(Wavelet Transform)을 이용한 디지털 워터마킹(Digital Watermarking)방법을 제안한다.

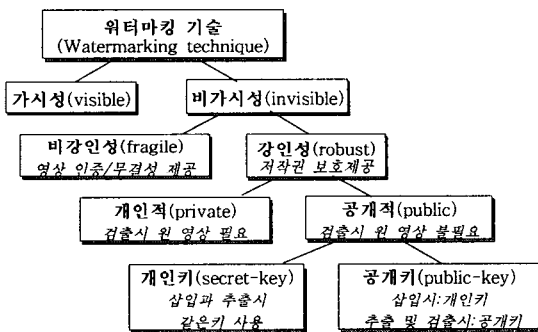
디지털 영상에 시각적으로 보이지 않는 워터마크를 삽입하고, 워터마크의 추출은 원본 영상을 이용하며, 워터마크가 삽입된 영상의 인증을 위한 방법으로 통계학적 접근 방법을 제시한다.

본 논문의 구성은 서론에 이어, 2장에서는 관련연구에 대하여 살펴보고, 3장에서는 제안한 웨이블릿 변환(Wavelet Transform)을 이용한 디지털 워터마킹 방법과 워터마크 삽입 및 추출 알고리즘에 대해 설명하고, 또한 인증을 하기 위한 통계학적 접근 방법을 제시하며, 4장에서는 실험 및 결과를 분석하고, 기존 연구 방법들과 비교 분석하며, 5장에서는 결론을 맺고, 향후 연구 방향에 대해 설명한다.

2. 관련연구

현재 논의되고 있는 기술은 디지털 워터마킹 기술로서 인터넷이 빠르게 보급되고 있고 웹상에서는 책이나 그림, 음악 등의 저작물이 대량으로 복사되고 배포될 수 있기 때문에 중요한 기술로 떠오르고 있다.

실제로 웹상에서 MP3 음악 파일과 그림 파일, 동영상 파일 등을 마음대로 다운로드 받을 수 있기 때문에 불법 복제 행위가 심각한 문제로 떠오르고 있다. 이러한 불법 사용자를 차단, 색출하기 위해서는 워터마킹 기술이 절실히 요구되고 있다. 오늘날 디지털 매체의 증가와 함께 디지털 워터마킹이라는 개념이 등장하게 된 것이다.



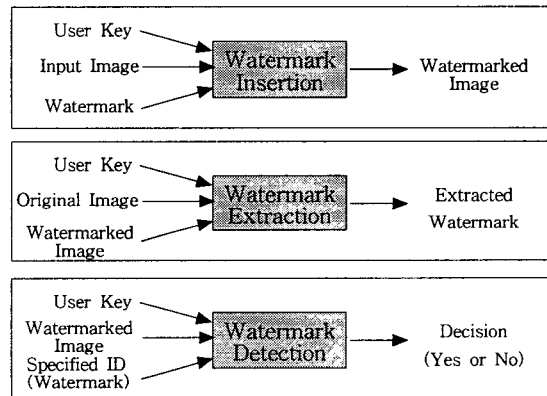
[그림1] 현재의 워터마킹 기술 분류[6,7]

디지털 워터마킹은 텍스트, 이미지, 비디오, 오디오 등의 디지털 콘텐츠에 원 소유주만이 아는 마크(Mark)를 사람의 육안이나 귀로는 구별할 수 없게 삽

입하고 이를 네트워크에서 제공하고 배포한다. 만약 악의적인 사용자가 워터마크가 삽입된 디지털 콘텐츠를 불법 복제하여 정당한 대가나 허락 없이 상업용 혹은 기타 용도로 사용하였을 경우에 콘텐츠에 삽입되어졌던 자신의 '마크'를 추출함으로써 자신의 소유임을 밝힐 수 있고, 이는 재산권 행사에 결정적인 증거로 제시되어질 수 있다.

[표 1] 여러 가지 관점에 따른 워터마킹의 분류

분류방법	분류내용
저작물 종류	텍스트, 이미지, 오디오, 비디오
워터마크 인지성	가시성, 비가시성
워터마크 강인성	강인한, 준-연약한, 연약한
삽입 영상의 종류	잡음형태, 영상형태
워터마크 삽입방법	LSB, 패치워크, 랜덤함수, 대역확산 방법 등
적용영역	공간영역, 주파수영역



[그림2] Digital Watermarking의 과정

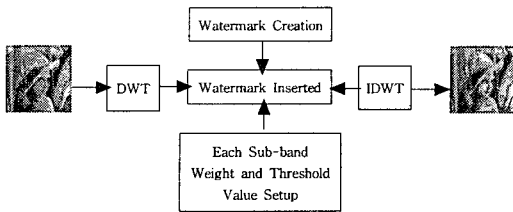
3. 제안한 웨이블릿 변환을 이용한 디지털 워터마킹 방법

웨이블릿의 기본적인 개념은 다해상도 분석과 대역 분할 부호화를 하나로 통합한 변환방식으로, 이들 부대역들은 각 대역의 평균신호와 각 방향을 세부적인 신호로 표현한다. 웨이블릿 변환은 웨이블릿과 처리하고자 하는 신호와의 상관관계(correlation)에 의해서 구현된다. 이는 모(mother) 웨이블릿을 이동하고 확장함으로써 생성된다. 웨이블릿의 정의는 아래의 식(1)과 같다. $\psi(t)$ 가 근원 웨이블릿이고, $\psi(t)$ 를 b만큼 이동하고 a만큼 확장하여 주파수 영역에 따른 다해상도를 갖게 된다.

$$WT_{f(a,b)} = \int_{-\infty}^{\infty} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) f(t) dt \quad \text{식(1)}$$

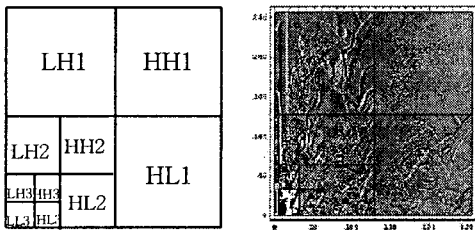
웨이블릿 변환의 영역은 시간(공간)-주파수 영역에서 동시에 국한시켜 표현할 수 있다. 웨이블릿은 대역 통과 필터의 성질을 갖고 있어서 신호의 특징을 추출하고 저주파 필터링에 의한 잡음을 제거하는데 효과적이다. 따라서 영상 처리 및 영상 압축 등에 많이 이용되고 있다.

3.1 워터마크 삽입 알고리즘



[그림3] 제안한 워터마크 삽입과정

본 논문에서 제안하는 워터마크 삽입 알고리즘은 원영상을 이용하여 각각 1단계, 2단계, 3단계 웨이블릿 변환 후 이를 가지고 있는 분할된 다양한 영역을 워터마크 삽입 대역으로 선정하여 설정된 각 대역별 가중치와 임계값을 적용하여 워터마크 시퀀스를 DWT영역에 워터마크로 삽입한다.



[그림4] 워터마크 삽입을 위한 대역분할

영상에 워터마크를 삽입하는데 있어서 가장 중요하게 생각해야 하는 부분은 강인성과 비가시성에 대한 문제이다. 워터마크의 강인성을 위해서는 영상의 대부분의 정보를 담고 있는 저주파 성분인 LL대역에 워터마크를 삽입해야 한다. 그러나, LL 대역의 경우 계수의 변화상태에 따라 원 영상의 왜곡정도 차이가 심하다. 제안한 방법에서는 LL대역의 경우 인접 계수간의 차이를 이용하여 워터마크를 삽입하였다. 인접계수간의 차이가 큰 계수 쌍들은 기저대역의 에지(Edge)부분에 해당한다[20]. 이 부분은 마크를 삽입하게 되면

영상에 많은 화질 열화가 발생할 수 있다. 특히 3단계 웨이블릿 변환을 거친 후의 LL대역의 계수들은 하나의 계수의 변화로 인해 원 영상에서는 8x8 픽셀 단위로 블록킹(blocking) 현상이 발생하게 된다[1,2,4]. 이를 방지하기 위해 차이가 큰 계수 쌍에 대해서는 임계치 T를 기준으로 하여 워터마크 삽입 대상에서 제외시키고, 나머지 계수들 중에서 워터마크의 수만큼 임계치 t를 기준으로 계수 쌍을 선택하여 계수 쌍의 앞 계수에 워터마크를 삽입한다. 식(2)은 LL대역의 임계치 설정에 대한 식을 나타내고 있다.

$$T > |L L (i , j) - L L (i , j + 1) | \geq t \quad \text{식(2)}$$

고주파 대역의 경우는 LL대역과는 상황이 다르다. LH, HL, 그리고 HH는 각각 영상의 가로, 세로, 그리고 대각선에 해당하는 고주파 성분만을 나타내고 있기 때문에 계수 자체의 크기가 작고, 인접계수간의 차이 역시 LL대역에서만 큰 차이를 갖지 못한다. 따라서, 고주파 대역의 경우에는 웨이블릿 변환 계수들을 집합 $C = \{c_1, c_2, c_3\} = \{(LH1, HL1, HH1), (LH2, HL2, HH2), (LH3, HL3, HH3)\}$ 으로 묶어 c_1, c_2, c_3 에 각각 임계치 t_i 를 설정하여 각 계수들의 절대치 크기의 순으로 워터마크를 삽입하였다.

3.2 워터마크 추출

원영상과의 차이에 의해 추출하는 방법은 원 영상을 필요로 하며 워터마크 정보의 손실을 최소화하여 추출할 수 있다. 워터마크 추출과정은 삽입과정의 역과정이다.

3.3 워터마크 인증

본 논문에서는 추출된 워터마크를 인증하기 위한 방법으로 통계학적 접근방법을 제안한다. 이 방법은 추출된 워터마크의 유사도를 판단하는 상관계수(Correlation Coefficient)를 이용하였다. 상관계수는 공분산을 각각의 표준편차로 나누어서 표준화한 것으로 -1에서 1까지 값을 갖는다. w와 w*의 선형 관계가 강할수록 상관 계수의 절대값이 1에 가깝고, w와 w*의 선형 관계가 약할수록 상관 계수의 절대값이 0에 가깝다.

$$S(w, w^*) = \frac{w \cdot w^*}{\sqrt{w^* \cdot w^*}}$$

저주파 성분 영역이나 고주파 성분 영역 중, 한 부분에서라도 상관계수가 1에 가까운 값을 나타내게 되

면 워터마크를 인증할 수 있고, 영상의 소유권을 주장할 수 있다.

4. 실험 및 결과 분석

실험을 위한 환경으로는 펜티엄-III 933MHz 상에서 Visual C++로 구현되었다. 비가시성과 워터마크가 삽입된 영상이 다양한 외부공격을 받았을 경우에 얼마나 강하게 남아 있는지 알아보기 위해서 잡음첨가, 크로핑, 필터링, JPEG 압축 등의 공격에 대해 실험하였다. 256×256크기의 그레이(gray) 영상들을 사용하여 실험하였으며, 웨이블릿 변환 필터로는 가장 기본적인 필터이면서 LL대역을 기저대역의 인접화소간 평균으로 구성하여, LL대역 인접계수 사이의 차가 비교적 작아 본 논문에 적합한 Haar필터를 사용하였다.

워터마크로는 $N(0,1)$ 이고, $-1 \leq X_i \leq 1$ 인 가우시안 시퀀스 1000개와 64×64크기의 '0'과 '1'로 구성된 이진도장 영상을 각각 사용하여 강인성과 비가시성에 대한 성능을 측정하였다.

비가시성에 대한 성능평가 지수로는 워터마킹 영상에 대한 PSNR(peak signal to noise ratio)[3,8]을 계산하여 dB값으로 나타냈으며, 강인성에 대한 실험으로 영상처리 방법 중 잡음첨가, 크로핑, 필터링, JPEG 압축 등을 거친 후의 워터마킹 영상에 대하여 유사도를 계산하여 성능평가 지수로 삼았다.

$$PSNR(dB) = 10 \log_{10} \frac{255^2}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [X(i,j) - X'(i,j)]^2}$$

식(3)

[표2] 변형된 영상에 의해 검출된 워터마크 상관도

워터마크가 삽입된 Lenna 영상 변형	잡음첨가	크로핑	필터링	JPEG 압축
	0.8596	0.8919	0.9687	0.9251

5. 결론 및 향후 연구방향

본 연구에서는 웨이블릿 변환을 이용하여 주파수 영역에서 이미지에 적응적이며 인간의 시각 특성에 부합되어 워터마크 삽입 후 화질의 손실이 적은 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 웨이블릿 변환을 사용하여 이미지의 중요한 에너지 부분과 워터마크를 삽입할 수 있는 공간을 효율적으로 찾을 수 있었다.

영상을 웨이블릿 변환을 통하여 주파수 영역으로 변환한 후, 고주파 성분 및 저주파 성분 영역에 임계치를 적용하여 워터마크를 삽입하였다.

워터마크의 추출은 원본 영상과 워터마크가 삽입된 영상에 대하여 각각 웨이블릿 변환한 후 차이값을 구하고, 그 값에 임계치를 적용한 다음 워터마크를 추출하였으며, 추출된 워터마크의 인증을 위해 통계학적 접근 방법을 제시하였다.

이러한 알고리즘으로 잡음첨가, 크로핑, 필터링, JPEG 압축 등의 영상처리에서도 삽입한 워터마크를 추출할 수 있었다. 사용된 워터마크는 기존의 무작위의 특정 주파수나 노이즈 형태로 삽입했던 기법들과는 달리 일반적인 영상 포맷을 사용함으로써 워터마크 검출 후 육안으로 식별이 가능했다.

소중한 지적소유권(Intelligent copyright)을 지키기 위해서는 반드시 디지털 워터마킹이라는 새로운 기술이 필요하게 될 것이다. 향후 연구방향으로는 실험 이외에 다른 필터링 기법으로 음성신호, MPEG, 변형된 영상에 대해서도 워터마크를 추출하는 방법과 전자상거래, 데이터베이스, 인터넷보안 등에 대해서도 디지털 워터마킹 기술이 연구되어야 할 것이다.

[참고문헌]

- [1] D. Kundur, D. Hatzinakos, "Digital Watermarking Using Multiresolution Wavelet Decomposition," Proc. of IEEE International Conference on Acoustics, Speech & Signal Processing, pp. 1647- 1650, 1998.
- [2] Research on Digital Watermarking at Aristotle Univ. of Thessaloniki, "http://poseidon.csd.auth.gr/signatures/report.html"
- [3] S. E. Umbaugh, "Computer Vision and Image Processing : A Practical Approach Using CVIPtools ", Prentice Hall, 1998.
- [4] 김현순, 배성호, 박길흠, "이웃한 웨이블릿 변환 계수 쌍의 평균과 차이를 이용한 워터마킹 기법", 한국정보처리학회논문지, 제7권, 제6호, 2000.
- [5] 원치선, "디지털 영상의 저작권 보호," 정보과학회지 제15권 제12호, pp. 22-27, 1997. 12.
- [6] 원치선, "Video Watermarking Techniques", 국제 디지털 콘텐츠 보호기술 워크샵, 2000
- [7] 최석재, "다중블록 웨이블릿 변환을 이용한 강인한 워터마킹 알고리즘에 관한 연구", 2002. 4.
- [8] 송경호, "웨이블릿 변환을 이용한 워터마킹 기법에 관한 연구", pp.31, 2002. 12.