

웨이블릿 계수간의 시각특성을 이용한 워터마킹

배기혁⁰ 정성환
창원대학교 컴퓨터공학과
bkihyeok@cdcs.changwon.ac.kr

A Watermarking Scheme Using Visual Properties in Wavelet Coefficient

Ki-Hyeok Bae⁰ Sung-Hwan Jung
Dept. of Computer Engineering, Changwon National University

요 약

본 논문에서는 웨이블릿(wavelet) 계수간의 시각특성을 이용한 새로운 블라인더 워터마킹 기법을 제안한다. 각 대역별 시각특성을 고려한 워터마크 삽입으로 원 영상의 손실을 최소화하였다. 그리고 여러 영상 처리에 대해 지속적인 관계를 유지하는 계수간의 특성을 이용하여 모든 주파수 대역에 워터마크를 삽입함으로써 강인성을 높였다. 워터마크 추출 시에는 삽입과정에서 이용된 계수간의 상관관계를 이용하여 원 영상 없이도 워터마크를 추출할 수 있다. 실험결과, 제안한 방법의 워터마킹 영상들은 PSNR 측정결과 약 38dB로 비교적 우수함을 보였으며 시각적으로도 손상을 감지하기 어려웠다. 또한, 강인성 검증을 위한 손실압축, 클리핑, 블러링, 샤프닝 등의 영상 변형 후 워터마크 추출에서도 기존방법에 비해 상대적으로 우수한 검출 결과를 보였다.

1. 서 론

최근 인터넷을 중심으로 한 컴퓨터통신, 네트워크의 급속한 발전과 성능향상으로 멀티미디어 데이터의 활용이 크게 증가하고 있다. 멀티미디어 디지털 데이터는 원본과 동일한 복사본을 쉽게 만들 수 있을 뿐만 아니라 인터넷등을 통한 배포가 쉽고 빨라지고 있다. 따라서 불법복제 및 지적소유권보호 문제가 크게 부각되고 있다. 이와 같은 소유권자의 동의가 없는 불법적 복제를 방지하고 소유권을 효과적으로 보호하기 위한 저작권 보호기법의 기술이 요구되고 있다.

디지털 워터마킹(Digital watermarking) 기법은 지적재산권 및 저작권을 보호하고, 소유권을 주장할 수 있는 근거를 제시할 수 있도록 하는 기술이다[1].

디지털 영상의 저작권 보호를 위해 지금까지 연구되어온 워터마킹 방법으로는 공간영역(Spatial domain)에서의 방법과 주파수영역(Frequency domain)에서의 방법으로 크게 나눌 수 있다. 공간영역의 방법은 변환 식을 사용하지 않고 영상의 특정 화소 값을 직접적으로 변화시켜 워터마크를 삽입하는 방법이다. 그러나, 공간영역의 방법은 영상처리나 잡음 등의 공격 등에 약하다는 단점이 있다. 주파수 영역의 방법은 주파수 계수를 변화시켜 워터마크를 삽입하는 방법으로 DCT(Discrete Cosine Transform), DWT(Discrete Wavelet Transform), DFT(Discrete Fourier Transform) 등의 변환방법을 이용하여 워터마크를 삽입하는 방법이다. 주파수 영역의 방법은 공간영역의 방법보다 공격에 강하다는 특징을 가지고 있다.

이러한 워터마킹 기법이 저작권 보호에 워터마크가 효율적으로 이용되기 위해서 갖추어야 할 특성으로는 삽입 후에도 원본의 변화가 거의 없어, 워터마크의 삽입여부를 감지하지 못하는 비가시성(visibility)과 워터마크를 신호의 중요한 부분에 삽입하여 여러 가지 형태의 변형이나 공격에도 추출이 가능한 강인성(Robustness), 추출된 워터마크가 확실한 소유권을 주장할 수 있도록 정확성을 유지하는 명확성(Unambiguity), 관련된 키(key)값 등을 알고 있을 경우에 워터마크의 확인이 가능한 보안성(Security) 등을 갖추어야 한다. 그리고 워터마킹 기법의

적용에 있어 올바른 소유권자를 구별할 수 있어야 하는 현실성을 고려할 때 원본이 없이도 워터마크의 추출이 가능해야 한다. 이와 같이 원 영상 없이 워터마크가 내장된 영상만으로 워터마크를 검출할 수 있는 방법을 블라인더 워터마킹(Blind-Watermarking)이라 한다.

본 논문에서는 웨이블릿 변환 영역에서 계수간의 시각적 특성을 이용하여 영상의 손실을 최소화하면서, 저주파성분과 고주파성분에 고르게 워터마크를 삽입함으로써 보다 강인한 블라인더 워터마킹 기법을 제안한다.

2. 제안한 알고리즘

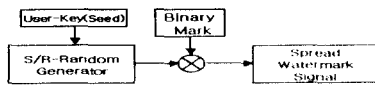
웨이블릿 변환영역에서 계수의 상관관계를 이용한 기존의 방법들 중에 Hus[6]의 방법은 워터마크 추출 시에 원 영상이 필요하며, 공격에 약한 단점을 가지고 있다. 또 Hus의 방법을 개선시킨 평균값과 차이를 이용한 이웃한 계수 쌍의 교환방법[7]에서는 예지의 반전을 막기 위한 평균값과, 특정 threshold를 넘는 계수는 워터마크를 첨가할 부분에서 제외시키는 방법을 사용하였다.

본 논문에서 제안하는 방법은 기존의 방법[6][7]들에 비해 워터마크 추출 시에 원 영상이 필요 없으며, 기존의 방법과 달리 계수의 선택을 위해 특정 threshold를 사용하지 않고 워터마크를 삽입하는 방법을 제안한다. 그리고 저주파성분 뿐만 아니라 고주파 성분에도 고르게 워터마크를 삽입함으로써 공격에 강인하게 하였다. 이때 워터마크가 삽입되는 해당대역의 특성에 따라 계수를 교환함으로써 워터마크 삽입에 의한 영상의 시각적 손상을 최소화 하였다.

2.1 워터마크 생성

본 논문에서는 추출 시에 시각적으로 쉽게 인지 할 수 있는 장점을 가지는 이진영상 워터마크를 사용하였다. 이러한 특정한 패턴을 가지는 이진영상 워터마크를 영상의 화질을 저하시키지 않으면서 공격에 강인하게 하기 위해 랜덤화하여 삽입하게 된다. 이는 유일한 난수를 발생시키는 랜덤생성기를 이용하여 마크를 영상 전체에 확산하여 삽입할 수 있다.

본 연구는 정보통신부에서 지원하는 대학기초연구지원 사업으로 수행되었음.

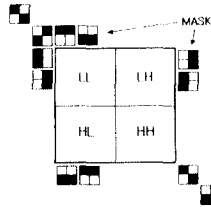


(그림 1) 랜덤 워터마크 생성과정

확산된 워터마크 신호는 일반 잡음과 마찬가지로 명확히 인식할 수 없는 형태로 표현되기 때문에 영상의 손상을 줄이면서 강인하게 된다.

2.2 워터마크 삽입 및 추출

워터마크의 삽입을 위해 원 영상을 웨이블릿 변환을 이용하여 영상을 분해한다. 웨이블릿 계수는 각 밴드마다 특성을 갖는 계수들로 구성되어 있다. LL밴드의 계수들은 원 영상의 통계적 성질을 유지하며 나머지 밴드의 계수들은 0에 가까운 계수들이 많고, 계수의 연속성이 각 밴드의 수평, 수직, 대각방향으로 이루어져 있어서 각각 다른 특성을 나타낸다. 그리고 다해상도 웨이블릿 분해의 특성상 계수 값 자체의 유지에 비해 에지와 같은 시각적 특성과 계수간의 상관관계 등의 유지는 강한 특성을 가진다. 본 논문에서는 이러한 웨이블릿의 특성을 이용하여 각 밴드에 좀더 적응적인 워터마크 기법을 연구하였다.



(그림 2) 각 밴드별 마스크 패턴들

워터마크의 삽입을 위해 각 밴드의 웨이블릿 변환의 특성에 따라 각 마스크를 통과하는 계수간의 관계를 조사하게 된다. 이때 두 계수의 차이가 큰 것은 주로 에지의 경계가 되기 때문에 이러한 계수 쌍의 교환은 에지의 반전을 가져오게 되어 눈에 현저히 드러나게 된다. 따라서 시각적인 손실을 최소화하기 위해 두 계수의 차가 가장 적은 계수 쌍을 워터마크의 삽입 대상으로 선택하여 계수 차가 가장 적은 관계를 유지하는 상태로 계수를 교환하여 워터마크를 삽입하게 된다.

2.2.1 각 대역 계수탐색 및 워터마크 삽입

먼저 LL 밴드는 수평, 수직, 대각의 모든 성분을 나타내기 때문에 워터마크를 삽입할 가장 최적의 계수를 찾기 위해 마스크를 이용하여 4방향으로 6개의 계수 쌍을 검사하게 된다.

$N \times N$ 의 이미지에서 2차 웨이블릿의 LL밴드의 크기는 $M \times M$, $M=N/4$ 이 된다. 이들을 중복 없이 가로, 세로 인접한 4개의 계수를 묶은 하나의 마스크를 구성하여 전체 $(M \times M)/4$ 개의 마스크 집합을 만든다. 이를 선형적으로 나열하여 k 첨자로 표현하면 다음과 같다.

$$C_k = \begin{pmatrix} c_{1,k} = c_{ij}, & c_{2,k} = c_{ij-1} \\ c_{3,k} = c_{i-1,j}, & c_{4,k} = c_{i-1,j-1} \end{pmatrix} \quad (1)$$

where $k = \{0, 1, 2, \dots, (\frac{M}{2})^2 - 1\}$,
 $i = \lfloor \frac{k}{(M/2)} \times 2 \rfloor$,
 $j = (k \bmod (M/2)) \times 2$

하나의 마스크 C_k 내에서 워터마크를 위해 값을 바꿀 pair의 선택은 다음의 조건에 따른다.

$$C_k^{min} = (c_{n,k}, c_{m,k}) \quad (2)$$

where $\|c_{n,k}\| - \|c_{m,k}\| \leq \forall \|c_{r,k}\| - \|c_{v,k}\|$,
 $n, m, r, v \in \{1, 2, 3, 4\}, n > m, r > v$

그리고 앞에서 서술한 랜덤워터마크는 다음으로 정의한다.

$$w'_k \in \left\{ 0, 1 \mid k = 0, 1, 2, 3, \dots, \left(\frac{M}{2}\right)^2 - 1 \right\} \quad (3)$$

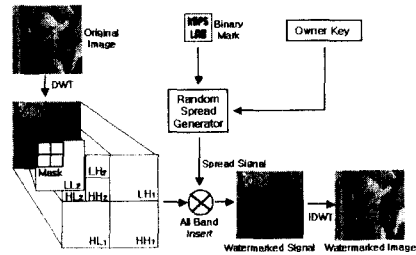
위의 식(2)에서 최소의 차를 갖는 계수 쌍 $(c_{n,k}, c_{m,k})$ 과 마스크 C_k 에 삽입된 워터마크 w'_k 가 선택되면 다음 조건에 의해 삽입된다.

$$(c_{m,k}, c_{n,k}) \leftarrow (c_{n,k}, c_{m,k}) \begin{cases} \text{if } w'_k = 0, \|c_{n,k}\| > \|c_{m,k}\| \\ \text{if } w'_k = 1, \|c_{n,k}\| < \|c_{m,k}\| \end{cases} \quad (4)$$

이와 같이 선택된 계수의 관계와 삽입된 워터마크가 삽입 조건을 만족하면 계수를 교환함으로써 워터마크는 삽입된다.

다음으로 고주파 대역의 워터마크 삽입은 저주파대역(LL)과는 달리 6쌍의 계수관계를 이용하지 않고 각각 2쌍의 계수관계를 이용한다. 즉, 고주파 대역은 수평, 수직, 대각성분의 영상의 에지 성분을 잘 나타내므로 대역별 특성에 따라 (그림 2)와 같이 각각 다른 마스크를 이용하여 계수 쌍을 선택한다. 각 대역 마스크를 이용한 계수 쌍의 선택은 HH에서 2방향으로 2쌍의 계수 차를 구하게 되고 LH와 HL에서는 각각 1방향으로 2쌍의 계수를 검사하게 된다. 이때 두 계수 쌍 중 최소의 차를 갖는 계수 쌍이 선택되면 LL대역과 동일한 방법으로 워터마크를 삽입한다.

본 논문에서 사용한 워터마크의 전체 삽입과정은 아래 (그림 3)과 같다.



(그림 3) 워터마크 삽입 개념도

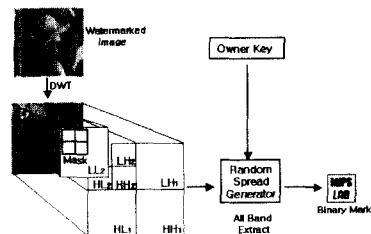
2.2.2 워터마크 추출

워터마크의 추출은 삽입에서의 같이 각 대역에 해당하는 마스크를 통과하는 최소의 차를 갖는 계수 쌍 $(c_{n,k}, c_{m,k})$ 을 선택하고 다음의 조건에 따라 마스크 C_k 에서 워터마크 w'_k 를 추출한다. 워터마크 추출 시에는 각 마스크의 계수 쌍의 관계를 이용함으로써 원 영상 없이 추출할 수 있다.

$$w'_k = \begin{cases} 0, & \|c_{n,k}\| - \|c_{m,k}\| > 0 \\ 1, & \|c_{n,k}\| - \|c_{m,k}\| \leq 0 \end{cases} \quad (5)$$

추출된 워터마크는 역랜덤과정을 통해 최종 워터마크를 얻을 수 있다.

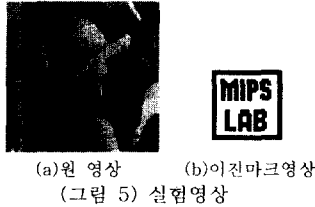
본 논문에서 사용한 워터마크의 전체 추출과정은 아래 (그림 4)와 같다.



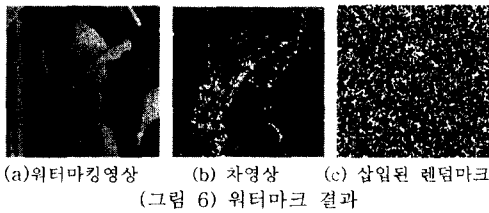
(그림 4) 워터마크 추출 개념도

3. 실험결과 및 고찰

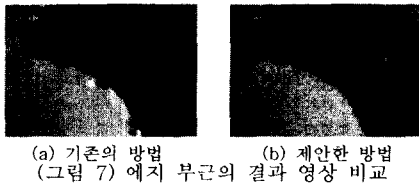
본 논문에서 구현된 웨이블릿은 JPEG2000에서 표준으로 권고하고 있는 biorthogonal 필터인 Daubechies-9/7 필터를 이용하여 설계하였다. 그리고 원 영상으로 512×512 크기의 Lena 영상에 워터마크의 삽입을 위해 32×32 크기의 시각적으로 쉽게 인지 할 수 있는 이진영상의 워터마크를 사용하였다. (그림 5)는 실험에 사용한 원 영상과 워터마크 영상을 나타낸다.



(그림 6)은 본 논문에서 제안한 워터마킹 결과 영상과 삽입된 랜덤워터마크 영상을 나타낸다.



(그림 7)의 (a)는 기존방법[7]에서 threshold를 적용하지 않은 경우의 결과이다. 따라서 기존방법에서는 반드시 threshold가 요구되어진다. 그러나 (b)는 본 논문에서 제안한 에지의 방향성을 고려한 결과로 threshold 없이도 효과적인 영상을 얻을 수 있다.



본 논문에서는 원 워터마크와 추출된 워터마크 사이의 객관적인 유사성 측정을 위하여 NC(Normalized Correlation)를 사용하였다. 사용한 NC는 식(6)과 같다.

$$NC = \frac{\sum_{i,j} w(i,j) \hat{w}(i,j)}{\sqrt{\sum_{i,j} w(i,j)^2 \sum_{i,j} \hat{w}(i,j)^2}} \quad (6)$$

여기서 $w(i,j)$ 는 원 워터마크이며, $\hat{w}(i,j)$ 는 추출된 워터마크이다.

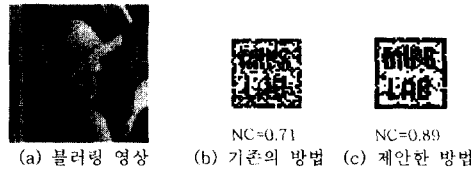
<표 1>은 압축, 클리핑, 밝기변화 등의 공격에 대한 결과를 나타낸 것이다.

<표 1> 다양한 공격 후 추출한 워터마크

NC=0.909	NC=0.958	NC=1.000
JPEG 70%	Clopping 25%	Brightness 50%

NC=0.915	NC=0.929	NC=0.919
Sharpening	Rotate 33°	Scaling 50%
NC=0.990	NC=0.902	NC=0.959
Contrast -50%	Median Filtering	Histogram Equ.

다양한 공격에 대한 실험 결과, 전반적으로 NC가 0.9를 유지하는 높은 추출율을 보였다. 그리고 (그림 7)은 블러링 공격 후의 영상과 추출된 워터마크를 나타낸다.



기존의 방법으로는 블러링 공격에 NC가 0.71로 약한 단점을 보이던 것을 제안한 방법으로 NC를 0.89로 개선하였다.

4. 결론

본 논문에서는 웨이블릿 변환영역의 계수들이 갖는 시각적 특성을 고려한 워터마킹 기법을 제안하였다. 워터마크가 삽입된 영상과 원 영상을 비교할 때 PSNR이 38dB로 시각적인 차이를 거의 느끼지 못하였으며, 워터마크 추출 시에는 계수간의 상관관계를 이용함으로써 원본 없이도 워터마크를 추출할 수 있도록 하였다. 또한 고주파 성분뿐만 아니라 저주파 성분에도 워터마크를 삽입함으로써 공격에 대한 강인성을 높였으며, 이때 계수간의 시각적 특성을 이용함으로써 원 영상의 손실을 최소화할 수 있었다. 그리고 강인성증진을 위한 손실압축, 클리핑, 블러링, 샤프닝 등의 영상 변형 후 워터마크 추출에서 전반적으로 NC가 0.9를 유지하는 우수한 검출 결과를 보였다.

5. 참고 문헌

- [1] H.Berghel, "Protection Owner Ship Rights through Digital Watermarking," IEEE Computer Magazine, pp. 101-103, Jul. 1996.
- [2] I.J.Cox, J.Kilian, T.Leighton, and T.Shammoon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," IEEE Trans. on Image Processing, vol. 6, no. 12, pp. 1673-1687, Dec. 1997.
- [3] M.Barni, "Image Watermarking of Secure Transmission over Public Networks," Proc. of COST 254 Workshop on Emerging Techniques for Communication Terminals, Toulouse, France, pp. 290-294, Jul. 1997.
- [4] X.G.Xia, C.G.Bonchelet and G.R.Arce, "A Multiresolution Watermark for Digital Images," Proc. of IEEE ICIP, vol. 3, pp. 548-551, 1997.
- [5] C.T.Hus and J.L.Wu, "Hidden Digital Watermarks in Images," IEEE Trans. on Image Processing, vol. 8, no. 1, pp. 58-68, Jan. 1999.
- [6] C.T.Hus and J.L.Wu, "Multiresolution Watermarks for digital Images," IEEE Trans. Circuits Syst. II, vol. 8, no. 8, pp. 1097-1101, Aug. 1998.
- [7] 김현순, 배성호, 박길훈 "이웃한 웨이블릿 변환 계수쌍의 평균과 차이를 이용한 워터마킹 기법", 한국정보처리학회지 논문지 제7권 제6호 pp.1980-1987, 2000. 6.