

웨이블릿 영역에서 부대역간 트리구조의 에너지 분포에 의한 디지털 워터마크 삽입 알고리즘

서영호, 최순영, 박진영, 김동욱
광운대학교 전자재료공학과
전화 : 02-940-5167 / 핸드폰 : 017-316-0530

Digital Watermark Algorithm Based on Energy Distribution of Subband Tree Structure in Wavelet Domain

Young-Ho Seo, Soon-Young Choi, Jin-Young Park, Dong-Wook Kim
Dept. of Electronic Materials Eng., Kwangwoon University
E-mail : axl@explore.gwu.ac.kr

Abstract

In this paper, the proposed watermark algorithm is based on energy distribution of the subband coefficients in the frequency domain and edge of the original image in the spacial domain. Out of these information, the KeyMap which decides the embedded position of watermark is produced. And then the binary watermark is embedded into the wavelet coefficient of LL3 subband using KeyMap and LFSR(Linear Feedback Shift Register).

I. 서론

컴퓨터 통신, 인터넷과 같은 개방형 네트워크의 급속한 발전으로 유/무선을 통한 데이터의 이동 및 저장이 쉽고 빨라지고 있으며, 디지털 데이터는 복제 및 변조가 쉽고 원본과 복사본이 구분이 어렵다. 이러한 디지털 데이터의 불법 복제 및 배포가 확산됨에 따라 최근 지적소유권 문제가 크게 부각되고 있고 소유권자의 동의가 없는 불법적 복제를 방지하고 소유권을 효과적으로 보호하기 위한 저작권 보호기법의 기술이 요구되고 있다. 이에 대해 디지털 워터마킹(Digital Watermarking)[1] 기법은 이러한 지적재산권을 보호하고 저작권을 주장할 수 있는 근거를 제시할 수 있도

록 하는 기술로서 현재 많은 연구와 실제적 응용으로의 접근이 이루어지고 있다. 본 논문은 웨이블릿 변환 후 생성되는 부대역간의 트리구조에서 고주파 대역의 에너지 분포에 따라 상대적으로 저주파 영역의 에너지 분포를 예측하고 공간영역에서 영상의 윤곽선 정보를 검출한 후 워터마크 삽입을 위한 부대역내 위치를 선정하여 워터마크를 삽입하는 알고리즘을 연구하였다. 즉, 트리구조로부터 추출된 에너지 정보에 의한 워터마크 삽입은 공격에 강인함을 보일 수 있지만 가시성이 떨어진다. 따라서 공간영역에서의 윤곽선 검출을 도입하여 비가시성을 높이면서 공격에 강인한 워터마크 방식을 제안한다. 워터마크를 삽입할 위치를 원래 영상이 가진 에너지 크기에 따라서 선택한 후 비밀키(Secret Key)와 LFSR(Linear Feedback Shift Register)를 통해서 불규칙적으로 이진 레벨(Binary Level)영상을 삽입하여 워터마크 및 키를 통한 이차적인 보호체계를 갖추도록 한다.

II. 디지털 워터마킹

워터마킹 기법은 영상 및 음성을 비롯한 멀티미디어 데이터 안에 특정한 정보를 은폐시키는 기술을 말하며, 멀티미디어 저작권에 관한 효과적인 보호를 할 수 있는 차세대 수단이다. 워터마크는 단지 파일 뒤에 첨가되는 것이 아니라 완전히 파일의 내용과 함께 뒤섞

이게 되므로 원래 파일에서 용량의 증가와 파일 포맷의 변화가 일어나지 않는다.[2]

2.1 웨이블릿 영역에서의 워터마킹

웨이블릿 변환의 도입과 사용영역의 확대에 따라서 웨이블릿 영역에서의 워터마킹에 대한 연구도 폭넓게 진행되고 있다. 웨이블릿 변환은 DCT과 FFT 등의 변환과는 다르게 주파수 영역으로의 변환 후 각 부대역들이 공간영역에 대한 정보를 가지게 된다. 따라서 다른 변환에서 불리한 점이었던 영상의 위치 정보를 워터마킹 과정에서 손쉽게 이용할 수 있어 최근 들어 워터마킹에 대한 연구의 주류를 이루게 되었다. 또한 전처리 과정 생략과 다해상도를 이용하여 연산 처리속도가 증가하고, 분해된 여러 부대역에 다양한 방식으로 워터마크를 삽입할 수 있다. 한 예로서 Xia[2]는 최저주파 부대역인 LL 부대역을 제외한 나머지 부대역에 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. 이 방식은 웨이블릿 변환에 의한 다해상도로 분해된 부대역에 단계별로 다른 가중치를 주어 워터마크를 삽입하는 것으로 DCT 방법보다 신호대잡음비(PSNR)가 개선되고 원 영상의 손실을 줄일 수 있다. 최근에는 웨이블릿 영역에서 부대역간의 상관도를 이용한 EZW(Embedded Zerotree Wavelet)[3]와 SPIHT(Set Partitioning in Hierarchical Trees)등의 제로트리 알고리즘에 기반한 워터마킹기법이 많이 도입되고 있다. 이는 웨이블릿 영역에서 HVS(Human Visual System)의 도입과 영상 자체의 공간-주파수 특성을 이용하면서 각 영상에 대해 적응성을 가지게 하는 것이다.

III. 제안된 워터마킹 알고리즘

제안된 워터마킹 방식은 크게 워터마크를 삽입할 위치를 선택하는 과정과 워터마크를 삽입하는 과정으로 나누어진다. 워터마크를 삽입할 위치를 선택하는 과정은 공간 영역과 주파수 영역에서 동시에 이루어지고 워터마크를 삽입하는 과정은 선택된 위치에 보안성을 부가하며 워터마킹을 하는 것이다.

3.1 키맵(Keymap)의 생성

본 논문에서는 웨이블릿 영역에서의 제로트리에 기반하여 고주파 부대역(LH1)의 에너지 정보로부터 상대적으로 저주파 부대역(LH3)의 에너지를 예측한 정보에 공간영역에서 영상의 윤곽선 검출정보를 부가하여 키맵을 형성한다. 인간은 고주파, 즉 윤곽선 영역에서의

인지 능력이 부족하기 때문에 영상에 있어서 윤곽선을 이루면서 비교적 높은 에너지를 보이는 영역에 워터마크를 삽입하는 것은 시각적으로 비가시성을 높이면서 상대적으로 큰 워터마크 값을 삽입할 수가 있어 공격에 강인함을 보일 수 있다. 본 장에서는 공간 영역에서 윤곽선 검출 알고리즘에 의해 생성되는 매트릭스인 시각적 키맵(VKM: Visual KeyMap)과 웨이블릿 영역에서 부대역의 트리 알고리즘에 의해 생성되는 매트릭스인 명도 키맵(LKM: Luminance KeyMap)에 의해 워터마킹 키맵(WKM: Watermarking KeyMap)이 생성되는 과정을 보인다.

3.1.1 명도 키맵(LKM)의 생성

그림 1에 나타냈듯이 명도 키맵은 4 단계를 거치며 생성된다. 먼저 3 레벨 리프팅 변환[4]을 거쳐 웨이블릿 계수를 형성하고 LH1 부대역을 4x4 블록으로 나누어 블록의 평균 에너지를 구한다. 그리고 그 블록들로부터 전체 평균을 구하여 임계값으로 지정한다. 이 임계값에 일정 스케일링을 가한 값과 LH3 부대역의 웨이블릿 계수와의 비교를 통해 명도 키맵을 생성한다.

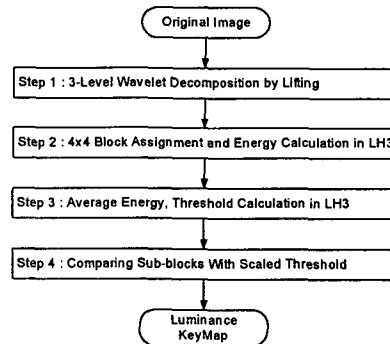


그림 3. 명도 키맵을 위한 알고리즘

3.1.2 시각적 키맵(VKM) 생성

제안되는 시각적 키맵은 그림 2와 같이 6 단계를 거치면서 생성된다. 먼저 가우시안(Gaussian) 마스크와 소벨(Sobel) 마스크를 이용해서 잡음을 제거하며 필터링을 수행하고 일정 임계값(=100)과의 비교를 통해 이진 윤곽선 영상을 생성한다. 이 영상을 8x8 블록으로 나누고 이 블록 내에 에지(Edge) 성분이 몇 개 들어있는지 센다. 일정 수를 넘는 블록을 하나의 픽셀로 하는 영상을 생성시키고 이를 시각적 키맵이라 한다.

3.1.3 워터마킹 키맵의 생성

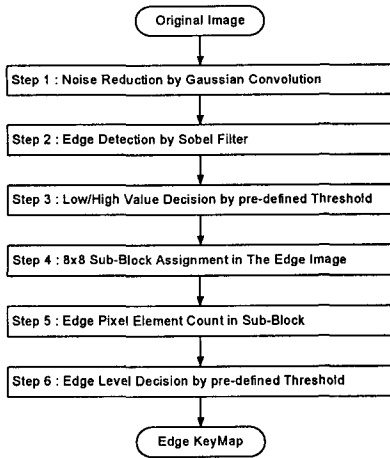


그림 4. 시각적 키맵을 위한 알고리즘

앞서 설명한 명도 키맵과 시각적 키맵을 이용해서 워터마킹 키맵을 생성한다. 이 알고리즘을 그림 3에 예시하였다. 생성된 두 키맵은 서로 논리합 연산을 거쳐 최종적인 워터마킹 키맵이 되고 워터마크 삽입 시 이용된다.

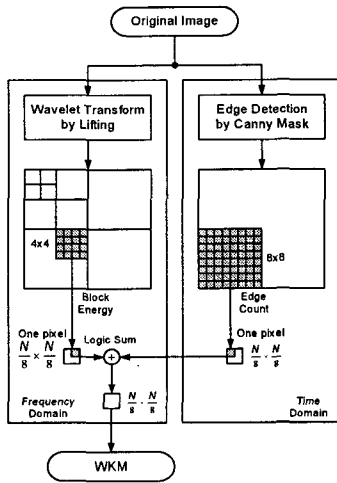


그림 5. WKM 생성도

3.2 워터마크 삽입과 추출

본 장에서는 앞장에서 구한 WKM과 유사 무작위 시퀀스(Pseudo random sequence)를 발생하는 LFSR(Linear feedback shift register)을 이용하여 웨이블릿 영역에서 워터마크를 삽입하는 방법과 추출하는 과정을 설명한다.

3.2.1 LFSR을 이용한 워터마크의 치환

본 논문에서 제안하는 LFSR을 이용한 워터마크의 치환은 3개의 4비트 크기의 LFSR을 사용한다. 12비트 크기의 LFSR을 한 개 사용해도 되지만 이 경우 너무 불규칙적인 시퀀스가 발생하게 되어 주소의 생성 및 메모리의 호출에 큰 복잡도를 가져오게 된다. 따라서 어느 정도 발생하는 시퀀스의 불규칙성에 제약을 두며 무작위성을 가지고 시퀀스를 발생시키는 방법으로 3개의 4비트 LFSR 구조를 사용한다. 본 논문에서 사용되는 LFSR은 식 $\Phi(x) = 1 + x + x^4$ 과 같은 함수적 관계를 가지고 그 구조는 그림 4와 같다. 그림에서 $I_0 \sim I_3$ 은 초기치에 해당하는 값으로써 워터마크의 위치를 암호화함에 있어서 암호키(Cipher key)에 해당하고 비밀로 유지해야 한다. 그리고 $O_0 \sim O_3$ 은 LFSR의 병렬 출력에 해당한다. 전체적인 주소 생성기는 그림 5에 나타나있다.

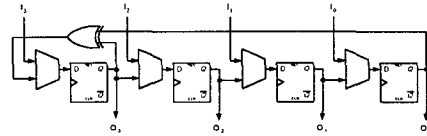


그림 6. LFSR의 구조

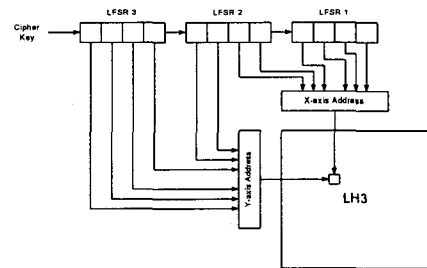


그림 7. LFSR을 이용한 주소발생

3.2.2 워터마크의 삽입과 추출

앞 절들에서 구해진 WKM과 LFSR을 거친 워터마크를 이용해서 워터마킹 과정을 수행한다. 전체적인 워터마킹 과정을 그림 11에 나타내었다. 입력된 원래의 영상들로부터 앞 절들에서 설명한 것 같이 워터마크를 삽입할 위치를 나타내는 WKM을 생성시킨다. 생성된 WKM과 주소가 암호화된 워터마크의 간단한 연산에 의해 워터마킹이 수행되고 역 리프팅 과정을 거쳐 워터마킹 과정을 끝낸다. 워터마크는 LH3 부대역에서 이루어지고 삽입되는 워터마크 영상은 0에서 255의 값을 가지는 그레이레벨의 영상이며 그 크기는 $\frac{N}{16} \times \frac{N}{16}$ 이다. 따라서 LH3 부대역의 약 $\frac{1}{4}$ 의 크기

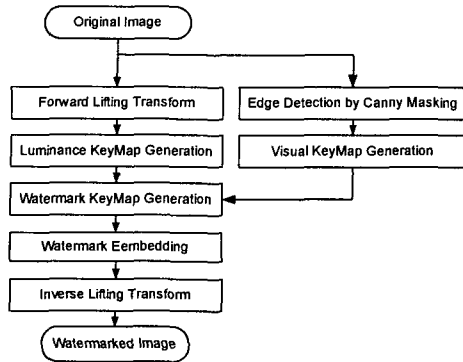


그림 8. 워터마킹 알고리즘 구조도

만큼 워터마킹이 삽입된다. WKM의 값을 판단하여 1의 값을 가지는 위치에 존재하는 웨이블릿 계수에 스케일링된 워터마크를 더해 주는 것으로 그림 XX와 같은 방식으로 워터마킹이 수행된다.

$$\begin{aligned}
 & \text{for}(i, j \text{ is } 0 \text{ to } \frac{N}{8}) \{ \\
 & \quad x_{LH3}(i, j) = x_{LH3}(i, j) + \beta W'(s', t') \cdot k(i, j) \\
 & \quad x_{LH3}(i, j) : \text{a wavelet coefficient in LH3.} \\
 & \quad x'_{LH3}(i, j) : \text{a watermark-inserted coefficient.} \\
 & \}
 \end{aligned}$$

그림 7. 워터마크 삽입

여기서 “·”는 논리곱을 나타내고 WKM의 성분인 $k(i, j)$ 의 값이 1인 영상 위치에서만 워터마크가 삽입됨을 나타낸다. 워터마크가 모두 삽입된 영상은 역 리프팅 변환을 통해서 공간영역의 영상으로 복원되고 워터마킹 과정은 완료된다.

삽입된 워터마크는 원영상 없이 삽입된 영상만을 가지고 추출된다. 이는 워터마크를 삽입을 위해 키맵을 생성할 때 원 영상 자체의 정보를 이용하는 것이고 워터마크를 삽입한 후에도 이 정보는 그대로 워터마크가 삽입된 영상에 남아 있기 때문에 원영상 없이 워터마크의 추출이 가능하다.

IV. 실험 및 결과

본 논문에서 제시한 알고리즘을 검증하기 위해 C 언어를 이용하여 환경을 구성하고 실험하였다. 워터마크가 삽입된 512x512 크기의 Lena 영상을 그림 8에 나타냈는데 이때의 PSNR은 50.4dB이고 삽입된 워터마크는 32x32 크기의 이진영상이다. 표 1에 JPEG 공격에 대한 결과를 나타냈다. 결과에서 보듯이 JPEG 압축에 안정된 결과를 보이고 있다.



그림 8. 워터마크가 삽입된 Lena 영상

표 6. JPEG 압축에 대한 결과

JPEG Quality	100	80	60	40	20
PSNR after Attack	45.4	40.3	39.2	35.9	33.8
Error Rate(%)	0	0	0.1	0.2	0.5
Correlation	1	1	0.95	0.91	0.83

V. 결론

워터마크가 삽입되는 위치는 비교적 큰 값을 가지는 계수의 위치로써 에너지가 높은 위치이다. 에너지가 높은 위치에 삽입된 워터마크는 JPEG이나 여타 자화 등에 의한 처리에 강한 특성을 보이게 된다. 또한 동일한 웨이블릿에 의한 영상처리에 강한 특징을 보인다. 본 논문에서 제안된 워터마킹 방식은 입력 영상 자체에서 주파수 대역별 에너지 특성을 고려한 것으로 비교적 간단하면서도 공격에 강하여 추후에 하드웨어로의 이식에 적합할 것으로 사료된다.

Acknowledgments

이 논문은 한국과학재단 목적기초연구(과제번호: R01-2001-000-00350-0)의 일부 지원으로 이루어졌음.

참고문헌

- [1] A. Tirkel, et al., "Electronic Water Mark," in Proceedings DICTA, pp. 666-672, 1993.
- [2] 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.
- [3] J. Shapiro, "Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients," *IEEE Trans. On Signal Processing*, vol.41, no.12, pp.3445-3463, December 1993.
- [4] I. Daubechies and W. Sweldens, "Factoring wavelet and subband transforms into lifting steps," *Journal of Fourier Analysis and Applications*, 4(3):245-267, 1998.