

웨이블릿변환을 이용한 워터마킹에 관한 연구

제성관^o, 김철기, 차의영
부산대학교 자연과학대학 전자계산학과
{jimmy, kck, eycha}@harmony.cs.pusan.ac.kr

A Study on Watermarking Using Wavelet Transform

Sung-Kwan Je^o, Chul-Ki Kim, Eui-Young Cha
Dept. of Computer Science, Pusan National University

요 약

본 논문에서는 인간 시각 시스템 모델을 기반으로 디지털 멀티미디어 영상 정보의 소유권을 보호하기 위하여 시각적으로 보이지 않는 강건한 워터마크를 내장하는 알고리즘을 제안한다. 입력영상을 웨이블릿변환을 사용하여 3단계 분해한 다음 각 부대에 대해 적용적인 다중 임계값을 적용하여, 보다 강건한 워터마크삽입 알고리즘을 제안한다. 최저주파수 LL3영역을 제외한 각 부대는 영상의 정보가 다소 적으므로, 삽입 후 영상정보에 대해 손실을 줄일 수 있다. 실험결과, 본 논문에서 제안한 방법은 영상의 화질이 우수하였으며, 외부의 공격에도 강인성이 뛰어나고, 검출된 워터마크의 시각적인 인지도가 높음을 알 수 있다.

1. 서론

최근 데이터의 디지털화와 멀티미디어 매체가 급속도로 발전함에 따라 인터넷과 네트워크 등을 통한 대량복제가 증가하여 디지털 영상 데이터의 저작권 보호를 위한 여러 가지 방법들이 제시되고 있다[1]. 디지털 워터마킹은 인간의 시각과 청각은 디지털 데이터를 정확하게 인식하지 못한다는 점을 근거하여, 다른 정보(Masker, Watermark)를 삽입하여도 인간은 이를 인식하지 못한다. 이러한 특성을 이용하여 시각적으로 인식 불가능한 양의 정보(Watermark)를 인식 불가능한 위치에 삽입할 수 있다[2][3].

지금까지 디지털 워터마킹 방법은 공간영역(Spatial Domain)과 주파수 영역(Frequency Domain)에 넣는 방법과 Hybrid한 기법을 사용한 크게 세 가지로 분류할 수 있다. 공간영역에 워터마크를 삽입하는 방법은 잡음이나 JPEG 압축에 약하다는 단점을 가지고 있기 때문에 주파수영역에서의 워터마킹 연구가 진해되고 있다. FFT, DCT, Wavelet 등의 변환에 의하여 생성된 계수들 중 반복적이고 특징이 있는 계수에 워터마크를 삽입하는 주파수영역에 삽입하는 방법과 Hybrid한 방법은 대부분이 블록 DCT를 기반으로 하여 제안되었다[4].

본 논문에서는 영상정보의 손실을 줄이고, 최대한 워터마크를 웨이블릿변환을 이용하여 주파수 영역에서 삽입하는 알고리즘을 제안한다. 최저주파 영역인 LL3영역을 제외한 각 부대에

별로 특성을 고려하여 적용적인 다중 임계값을 사용하여, 보다 강건한 워터마킹 기법을 제안한다.

2장에서는 웨이블릿변환과 워터마크 삽입하는 과정에 대해서 알아보고, 3장에서는 제안한 워터마킹 알고리즘에 대해 기술한 후, 4장과 5장에서는 시험과 결론을 각각 제시한다.

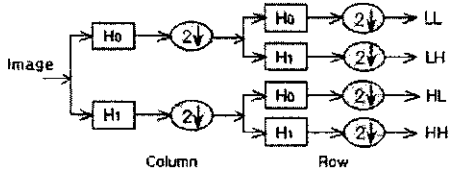
2. 웨이블릿변환과 워터마크 삽입과정

2.1 웨이블릿변환

웨이블릿이란 일정한 시간에 에너지가 집중되어 있는 파형으로, (식.1)과 같이 모 웨이블릿 Ψ 를 스케일링(Scaling)과 이동(Translation)을 통하여 하나의 웨이블릿 함수(Wavelet Function)을 생성할 수 있다.

$$\Psi^{a,b}(t) = |a|^{-1/2} \Psi((t-b)/a) \quad (\text{식.1})$$

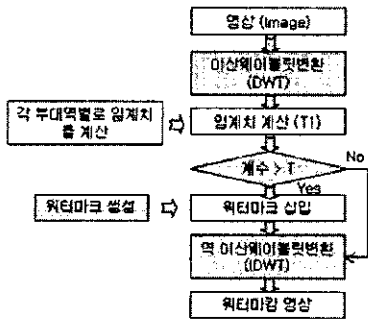
웨이블릿변환 시 가능한 모든 스케일과 위치에 대하여 웨이블릿계수를 계산하는 것은 너무 많은 계산이 필요하므로, 스케일과 위치가 2^n 인 경우, 효과적이고 정확한 것으로 증명되어 이를 이산 웨이블릿변환(Discrete Wavelet Transform)이라고 한다[4]. Mallat은 필터(Filter)들을 사용하여 효과적으로 이산변환을 할 수 있게 제안하였다. 영상과 같은 2차원 신호는 <그림 1>과 같이 웨이블릿 분해과정을 거치게 된다.



<그림 1> 영상의 1단계 웨이블릿 분해과정

2.2 워터마크 삽입과정

먼저 워터마크로서는 가우시안 분포를 가지는 128개의 랜덤 벡터를 생성한다. 이런 값 1000개를 무작위로 발생시켜 데이터 베이스에 보관하여 1개의 워터마크가 선택되어 영상에 삽입한다. 워터마크 검출 시는 삽입된 영상에서 워터마크를 추출하여 데이터베이스에 있는 원본 워터마크와 상관계수를 구한다. 워터마크 삽입알고리즘은 <그림 2>와 같다.



<그림 2> 워터마크 삽입알고리즘

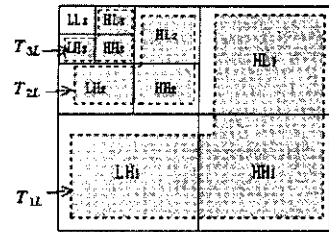
3. 워터마킹 알고리즘

3.1 임계치 계산

워터마크를 삽입하기 위해서 우선 원영상을 이산 웨이블릿 변환을 이용해서 다해상도(Multiresolution)의 부대역영상으로 3-레벨로 분해한다.

최저주파영역은 이미지에 대한 정보가 많기 때문에 정보의 손실우려가 많다. 따라서, 영상의 품질저하를 막고, 보다 강건한 워터마킹 이미지를 만들기 위해서 고주파영역에만 워터마크를 삽입하였고, 각 부대역별 특성을 고려하여 대역이 낮을수록 영상의 정보가 다소 적으므로 보다 많은 워터마크를 삽입하였다. <그림 3>에서 보는 바와 같이 웨이블릿변환 후 구해진 계수들을 최저주파영역 LL3를 제외한 각 부대역별로 (식.2)과 같이 적용적인 임계값을 계산한다.

$$\begin{aligned}
 T_{3L} &= 2^{\lfloor \log_2 C \rfloor} / 2 \\
 T_{2L} &= 2^{\lfloor \log_2 C \rfloor} / 2^2 \quad (\text{식. 2}) \\
 T_{1L} &= 2^{\lfloor \log_2 C \rfloor} / 2^3
 \end{aligned}$$



<그림 3> 다중임계치 적용

<그림 3>과 같이 (식.2)에서 각 부대역별로 구한 임계치를 각 부대역별로 적용한다.

3.2 중요한 계수선택

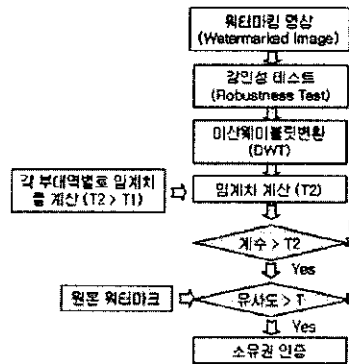
$$V'_i = V_i + \alpha X_i \quad (\text{식. 4})$$

$$V'_i = V_i (1 + \alpha X_i) \quad (\text{식. 5})$$

$$V'_i = V_i (e^{\alpha X_i}) \quad (\text{식. 6})$$

워터마크를 삽입하기 위해서 (식.3,4,5)과 같은 식을 이용할 수 있으나, (식.3)은 V_i 값의 변화가 심할 경우 적절하지 못하고, (식.4)와 (식.5)은 α 값의 변화에 따라 삽입되는 워터마크에 큰 영향을 준다[5]. 본 논문에서는 실험에 의해 (식.3)를 적용, α 값을 30으로 하였다.

3.3 워터마크 검출과정



<그림 4> 워터마크 추출알고리즘

워터마킹 영상을 다시 3단계 이산웨이블릿변환을 한 다음, 삽입 시 임계값보다 큰 값을 잡아서 워터마크를 추출한다. 그런 다음, 원본워터마크와 유사도를 계산한다.

3.3 유사도 측정

두 벡터의 유사도를 측정하기 위해 (식.6)과 같이 벡터 투영 (Vector Projection)을 이용하였다.

$$\text{유사도}(X, X^*) = X^* \cdot X / \sqrt{X^* \cdot X^*} \quad (\text{식. 6})$$

추출된 워터마크와 원본 워터마크의 유사도가 임계치(Threshold)보다 높으면, 소유권을 증명할 수 있다.

4. 실험 및 결과

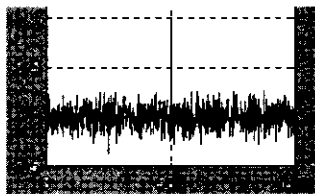
본 논문에서는 워터마크 삽입과 검출에서 웨이블릿변환을 할 때, 분해(Analysis)한 뒤 완전하게 합성(Synthesis)이 되고 계산량을 줄일 수 있는 쌍직교(Biorthogonal) 이산웨이블릿변환을 사용하였으며, 워터마크는 실험영상에 따라 다소 차이가 있으므로, 1000개 가량 테스트하였다. 실험영상으로는 256 X 256의 Lena영상, 적혈구영상, Pepper영상, Cameraman영상에 대해 실험하였다. 성능평가기준으로 비가시도(Invisibility)와 강인성(Robustness)으로, 비가시도는 시각적으로 삽입여부를 알 수 없어야 하고, 강인성은 영상처리(Image Processing), 압축(Compression), 기하학적인 변환(Geometric Transform), 잡음첨가(Noise Addition)의 공격을 가하여 테스트하였다. <표 1>은 각 영상에 대해 강인성처리 후 추출된 워터마크와 데이터베이스에 저장되어 있는 원본 워터마크와의 상관계수를 구한 것이다. <그림 5>는 각 영상에 대해서 워터마크를 삽입하고 추출된 워터마크와 원본 워터마크와의 상관계수를 그래프로 도시화한 것이다.

영상 평가기준 \ 영상	Lena	Peppers	적혈구	Cameraman
JPEG 50	0.8561	0.8723	0.8784	0.8627
JPEG 80	0.9523	0.9601	0.9492	0.9472
잡음첨가 (Power=2000)	0.8623	0.8879	0.8749	0.8677
중 위 수	0.9789	0.9875	0.9634	0.9751
고역통과	0.8869	0.8943	0.9497	0.9033
가우시안 지역통과	0.9208	0.9298	0.9438	0.9356
잘라내기	0.7928	0.7109	0.7219	0.7491

<표 1> 강인성처리 후 상관계수



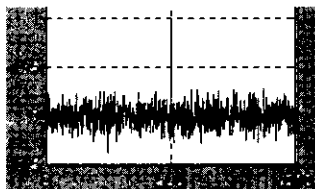
Watermarked Image



상관계수 = 0.9907



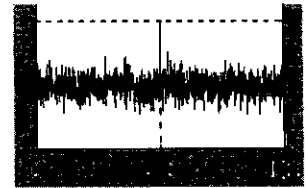
Watermarked Image



상관계수 = 0.9981



Watermarked Image



상관계수 = 0.9855

<그림 5> 워터마크된 영상과 상관계수

5. 결론

현재 주파수를 이용하여 영상처리분야에서도 주파수를 이용한 압축, 노이즈제거, 경계선검출등 많은 연구가 진행되고 있고 워터마킹기법에도 활발하게 이루어져 있다. DCT를 이용한 워터마킹기법은 JPEG 압축을 할 경우, JPEG 압축기법이 DCT를 이용한 기법이므로 워터마크를 삽입하는 중요계수를 구하는 것이 어렵고, 삽입하더라도 손실될 우려가 크다. 또한, 이 기법은 워터마킹영상에 대해 블록화현상이 발생할 우려가 있으므로, 영상에 손실을 가져온다.

본 논문에서는 영상의 손실이 적고, 보다 강인성을 뛰어난 워터마킹기법으로 웨이블릿변환을 이용하였고, 각 부대역별의 특성을 고려하여, 보다 많은 워터마크를 삽입하므로써 영상에 대한 공격에 높은 강인성을 가진다.

앞으로의 연구방향은 정보가 많은 저주파영역에 삽입알고리즘을 연구하여 보다 강건한 워터마크를 삽입할 수 있도록 한다.

6. 참고 문헌

- [1] S. Craver, N. Memon, N. Yeo, and M. Yeung, "Can Invisible Watermarks Resolve Rightful Ownership?", IBM Research Report, RC 20509, July 25, 1996.
- [2] M.D. Swanson, B. Zhu, and A. Tewfik, "Robust Image Watermarking Using Perceptual Masking", IEEE Int. Conf. on Image Processing, Oct, 1996.
- [3] M.D. Swanson, B. Zhu, and A. Tewfik, "Data Hiding for Video in Video and other Application", IEEE Int. Conf. on Image Processing, Oct, 1997.
- [4] S. Mallat, "Multi-Frequency Channel Decomposition of Images Wavelets Models," IEEE Trans. on Information Theory, vol. 11, no. 7, July 1989.
- [5] J. Cox, Joe Kilian, Thomson Leighton, and Talal Shamon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia", IEEE Int. Trans. on Image Processing, Dec. 1997
- [6] I. Pitas, "A Method for Signature Casting on Digital Image," IEEE Int. Conf. on Image Processing, Sep. 1996
- [7] R. B. Wolfgang, E. J. Delp, "A watermarking technique for digital imagery : further studies," Video and Imaging Processing Laboratory, Proceeding of the International Conf. on Imaging Science, pp. 279-287, 1997.