

Wavelet에 의한 주파수 영역 내에서의 디지털 워터마크의 삽입 및 검출 기법

*김철기, **강이철, *이학만, *차의영
*부산대학교 자연과학대학 대학원 전자계산학과, **멀티미디어학과

Digital Watermarking based on Frequency Domain using Wavelet Transform

Cheol-Ki Kim, Yi-Chul Kang, Hak-Man Lee, Eui-Young Cha
Dept. of Computer Science, Dept. of Multi-media, Pusan National University

요 약

본 논문에서는 웨이블릿에 의한 원 영상의 주파수 성분들을 스케일링에 의한 해상도 변화를 이용하여, 여러 개의 서브밴드들로 나누어 질 수 있다는 성질을 이용하여 각각의 서브밴드들을 이용하여 워터마크를 삽입·검출하는 기법을 제안하고 있다. 보통 디지털 워터마크는 크게 주파수 영역 워터마크와 공간 영역 워터마크의 두 가지 분야로 분류될 수 있다. 주파수 영역 워터마크는 영상 데이터를 주파수 공간으로 변환하여 그 주파수 영역들 중에서 인간의 시각에 덜 민감한 성분에 워터마크를 삽입하게 되고, 이는 인간 시각 시스템을 더 효과적으로 활용한 것으로 인간 시각으로 감지할 수 없는 영역인 고주파수 성분에 워터마크를 삽입하게 된다.

1. 서론

근래에 인터넷과 컴퓨터 기술의 급속한 발전으로 인하여 문서, 음성, 사진 및 비디오 데이터 등 다양한 매체들은 전자적 기억 장치에 의하여 디지털화 되어 효율적으로 저장, 접근, 이용이 가능하게 되었다. 또한 문헌, 영상, 음성 등이 디지털화 되면서 누구나 손쉽게 그 매체들이 저장되어 있는 시스템을 이용하거나 복사가 가능하게 되었다. 따라서, 사용하고자 하는 정보의 전송 문제, 그리고 그 정보를 소유하고 있는 기관의 권리 등 다양한 문제가 발생할 수 있게 되었다. 현재 디지털 영상물의 저작권 보호와 인증에 대한 해결책은 아직도 공식적으로 인정할 만한 뚜렷한 방법이 제시되지 않고 있는데 문제점이 있다고 하겠다.

디지털 영상물의 정보 보호를 위해 적용할 수 있는 방법은 크게 세 가지로 나눌 수 있다[1]. 첫째, 기존의 공용키 암호화 알고리즘을 이용하여 주어진 데이터를 암호화하는 것으로 원래의 데이터를 복구하기 위하여 개인키를 알고 있어야 한다. 그러나 공용키 암호화는 수학적으로 매우 안전하나, 사람이 개인키로 암호화된 정보를 배포하는 것은 막을 수 없다는 단점이 존재한다. 둘째, 보호하고자 하는 디지털 영상 자료에 대하

여 방화벽을 구축하는 것이다. 이는 컴퓨터 네트워크를 통한 사용자 인증절차를 거쳐 영상 데이터의 사용을 제한하는 방법이라 하겠다. 그러나, 이 방법 역시 사용자가 임의로 영상 자료를 배포하는 것을 막을 수는 없다. 셋째, 디지털 영상의 불법적인 내용 조사를 막고, 영상의 소유권을 보장할 수 있는 디지털 워터마킹 기법이 있겠다. 디지털 워터마크는 기존의 방화벽이나 공용키 알고리즘 등으로 해독된 영상에 대하여 부가적인 보호를 제공한다. 영상에 대한 저작권 정보, 배포자 정보 그리고 사용자 정보를 삽입함으로써 훗날 법적인 문제가 발생했을 때 해결책을 제시할 수 있겠다.

본 논문의 목적은 디지털 영상 자료에 대해 저작권 보호, 자료 인증, 소유권 증명과 같은 제 분야에서 고의적이든 비의적이든 영향을 받은 손산에서도 디지털화된 영상 속에 숨겨져 있는 정보를 추출할 수 있는 강인한 방법을 제시한다. 또한 본 논문에서는 웨이블릿 변환을 통한 주파수 공간에서의 저주파 성분과 고주파 성분의 특성을 이용하여 워터마크를 두 성분 모두에 삽입하는 알고리즘을 제시한다. 즉, 손실 압축이나 필터링, 잡음, 그리고 스케일링(scaling) 등의 영

상 변형들에 강인한 저주파 성분과, 명도나 대비 변화에 강인한 고주파 성분의 특성을 이용하여 각각의 주파수 영역에 워터마크(watermark)를 삽입하는 알고리즘을 제안한다.

2. 워터마크(watermark)의 정의 및 원리

워터마킹(watermarking)은 어떤 미술작품이나 책의 저자 혹은 주인이 자신의 소유권을 표시하기 위해 육안으로는 보이지 않는 투명한 형태의 표시를 해 두는 것을 말한다. 이러한 개념을 컴퓨터에 적용한 것이 바로 디지털 워터마킹(Digital Watermarking)이다. 즉, 비디오나 오디오와 같은 멀티미디어 파일이나 이미지 파일, 사진 파일 등에 보이지 않는 작은 수정을 가함으로써, 소유권 정보를 인코딩하는 과정이다.

주어진 원영상 I에 레이블 $S=(S_1, S_2, \dots, S_n)$ 을 부호화 과정 E를 통해 삽입하면 워터마크가 포함되어 있는 영상 $I'=E(I, S)$ 를 얻을 수 있다. 이때 라벨 S는 영상에 숨겨진 워터마크가 된다. 테스트 영상 J에 대한 소유권을 판정하는 과정은 J와 I를 입력으로 하여 복호화 과정 D를 거쳐 레이블 $S'=D(I, J)$ 를 추출하게 된다. 추출된 레이블 S'와 S사이의 유사도에 의해 소유권의 유무가 판정되게 된다. 따라서, 이들 구성 요소들을 어떻게 설정하느냐에 따라 여러 가지의 워터마크 방법이 존재하게 된다. 이들 가능한 워터마크 방법들은 또한 다음의 기본적인 요구 조건들을 만족해야 한다[2].

2.1. 시각적인 무감지성

워터마크는 인간의 시각에 감지가 되지 않아야 한다. 영상 데이터의 경우에 원영상과 워터마크가 삽입된 영상 차이를 분간할 수 없도록 하여야 한다. 이러한 요구조건을 만족하기 위하여 인간이 신호의 변화를 인식하지 못하는 휘도 평면의 DCT 주파수 계수값을 구하는 Waston과 Solomon의 시각 시스템 모델을 사용한다[3,4].

2.2. 추출의 확실성

워터마크는 어떤 특정한 영상에 대해 충분하고 확실한 소유권 증명을 제공 해야 한다. 워터마크 추출 실패는 나타나지 않아야 하지만, 만약 나타난다면 아주 드물게 나타나야 한다. 즉, 워터마크 신호의 특징은 대단한 복잡성을 가진다는 것이다. 이것은 구별이 잘 되는 워터마크들의 광범위한 집합을 만들 수 있도록 하기 위해 필요하다.

2.3. 자동화된 추출과 탐색

워터마크는 한 소유권자의 생산물의 불법적인 파괴

에 대하여 네트워크 환경에서 공동으로 접근할 수 있는 영역을 조사하는 탐색 절차와 쉽게 결합되어야 한다.

2.4. 관련된 키

워터마크는 "watermark key"라고 불리는 확인 번호와 관계가 있다. 이 키는 워터마크를 만들고, 추출하고, 제거하는데 사용된다. 그 후 이 키는 개인적 소유권의 합법성을 확인하는데 사용된다. 디지털 이미지로부터 추출된 디지털 신호는 워터마크 생성 알고리즘을 통해 어떤 특정키와 연관되어 있다면 유효한 워터마크라고 가정한다.

2.5. 통계적 무감지성

워터마크는 통계적인 방법을 사용하여 회복되어서는 안된다. 예를 들면 상당히 많이 워터마크된 디지털 영상물들의 소유는 같은 키를 이용하여 통계적인 방법을 적용함으로써 그 워터마크를 배치해서는 안되고 워터마크는 이미지 의존적이어야 한다.

2.6. 다중 워터마크

같은 이미지에서 다른 워터마크를 충분히 많이 첨가할 수 있어야 한다. 각 워터마크는 유일한 키를 사용하여 추출할 수 있어야 한다. 이러한 특징은 이미 워터마크된 영상을 다른 사람이 다시 워터마킹 하는 것을 막을 수 없기 때문에 필요하다. 또한 저작권 소유가 한 소유자로부터 다른 소유자로 이동된 경우에 편리하다.

2.7. 강인성

워터마크가 내장된 디지털 영상은 고의든 고의가 아닌든 수정될 수 있다. 따라서 워터마크는 일반적인 영상처리 등의 영상 변형 후에도 남아 있어야 한다.

3. 디지털 워터마크의 분류

3.1. 공간 영역에서의 디지털 워터마크

물리적 픽셀 영역, 즉 공간 영역에서 워터마크를 삽입하는 가장 간단한 방법은 픽셀들을 임의적으로 선택하여 그것의 밝기 값의 LSB(least significant bit)를 변형시키는 것이다. 이 방법은 잡음과 일반적인 신호 처리에 아주 민감하다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 인간의 시각특성을 이용할 수 있다. 즉, 인간 시각의 마스킹 효과에 의해 영상 내의 결 영역이나 윤곽선 둘레의 밝기 값의 변화는 육안으로 잘 구별할 수 없다는 점을 이용하여 워터마크를 삽입한다.

3.2. 주파수 영역에서의 디지털 워터마크

영상 데이터를 DCT, FFT, Wavelet 등과 같은 변환

으로 주파수 공간으로 변환하여 그 주파수 영역들 중에서 시각적으로 덜 민감한 부분에 적응적으로 위터마크를 삽입하는 방법이다. 단일 주파수 성분을 변화 시킴으로써 변환블록내의 밝기값 전체에 영향을 미치고, 따라서 불법적인 공격에 강한 위터마크를 만들 수 있다. 특정 주파수 대역의 에너지는 감지할 수 없을 정도로 작지만 주파수의 위치와 변화량을 알고 있는 소유권자에 의해 산재해 있는 주파수 성분을 모으면 높은 신호 대 잡음비(SNR)로 신호를 검출할 수 있다. 위터마크(신호)를 영상(전송채널)이 갖고 있는 여러 주파수 영역으로 확산시킴으로써 특정 주파수 대역의 에너지는 감지하기 어렵게 한다. 본 논문에서는 기존의 주파수 영역에서의 위터마킹 방법의 단점을 극복하기 위해 영상의 변화를 감지하지 못하도록 하면서 시각적으로 중요한 영역에 위터마크를 삽입하고, 일반적인 영상 신호처리에 견고한 위터마크 알고리즘을 제안하고자 한다.

3.3 Wavelet Transform

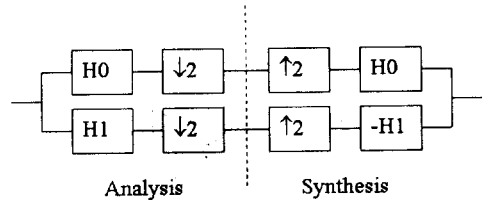
다음과 같은 두가지 성질을 갖는 실수 혹은 복소 연속 시간 함수 $\Psi(t)$ 를 고려하여 보자.

$$\textcircled{1} \int_{-\infty}^{\infty} \Psi(t) dt = 0$$

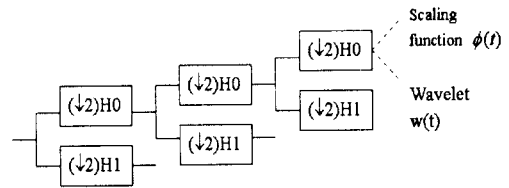
$$\textcircled{2} \int_{-\infty}^{\infty} |\Psi(t)|^2 dt < \infty$$

위의 두 식에서 첫 번째 식의 의미는 적분값이 0으로 접근하므로 양의 값과 음의 값의 합의 절대값이 같다는 것을 의미한다. 즉, 하나의 시간축을 기준으로 양과 음의 파형을 그리는 형태를 나타낸다. 두 번째 식의 의미는 wavelet 함수의 절대값 제곱이 유한한 주기와 에너지를 갖음을 의미한다.

이러한 웨이블릿 변환의 원리는 서브밴드 코딩에 있다고 할 수 있다. 서브밴드 코딩은 영상을 필터에 통과시켜 영상의 집합으로 만드는 것을 의미한다. 즉, 각각의 부영상은 공간적 주파수의 제한된 구간을 포함하고 있으며 이들 각각의 영상 집합을 서브밴드(subband)라고 부른다. 이렇게 변환된 서브밴드는 원영상과 비교했을 때, 대역폭이 줄어들게 되므로 다운샘플링이 가능하게 된다. 이러한 서브밴드 코딩을 하는 가장 큰 이유는 원 영상보다 좀더 효율적으로 인코딩 될 수 있다는데 있다. 즉, 채널 상에서 서브밴드에 나타나는 에러는 복원했을 경우 원 영상에 미치는 영향이 적게 된다는 것이다.



[그림 1] Filter Banks



[그림 2] Scaling function and wavelets from iteration of the lowpass filter

4. 위터마크의 삽입 및 추출

■ 위터마크 삽입 알고리즘

[Step1] 위터마크를 생성하여 정방행렬(W)로 만든다.

[Step2] 4단계 직교 웨이블릿 변환해서 원본 영상을 주파수 영역으로 변환한다.

[Step3] 주파수 영역에서 위터마크를 삽입할 고주파 영역들인 수직 영역(HL3), 수평영역(LH3), 대각선영역(HH3)에서 각각 임계치를 설정한다. 이 임계치는 영상에 위터마크를 보이지 않게 내장하기 위해 설정한다.

[Step4] 단계3에서 만든 임계치를 적용하여 위터마크를 내장한다. Y는 위터마크가 내장된 영상의 계수값을 나타내고, W는 위터마크 행렬이다. $Y=W*M$

[Step5] 주파수 영역에서 k번씩 각각의 수직영역, 수평영역, 대각선영역에 위터마크된 계수 값을 삽입하고 영상을 공간영역으로 웨이블릿 역변환을 행하여 위터마크가 내장된 영상을 생성한다.

■ 위터마크 추출 알고리즘

[Step1] 변형이 가해진 영상 I'(위터마크가 삽입되었거나, 삽입되지 않았거나, 손상된 영상)을 4단계 웨이블릿 변환을 수행한다.

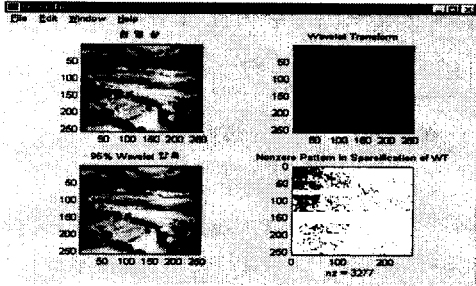
[Step2] 주파수 영역에서 원영상과 변형된 영상사이의 계수값들의 차이를 구한다.

[Step3] 임계치를 설정하고, 그 임계치를 단계2의 계수차를 임용하여 위터마크의 위치를 찾아낸다.

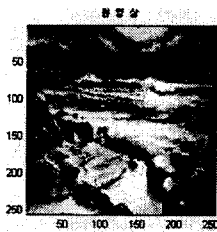
[Step4] 추출된 위터마크의 소유권자가 사용한 위터마크인지 아닌지를 통계학적인 접근방법으로 판단하여 인증한다.

5. 실험 결과

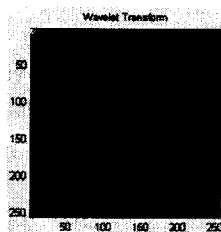
아래의 [그림3]은 3번의 디컴포즈를 수행한 후 주파수 영역에 워터마크를 삽입한 결과를 보여주고 있다.



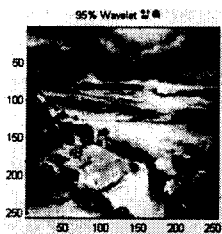
[그림 3] Wavelet을 이용한 주파수 영역에서의 워터마크 삽입



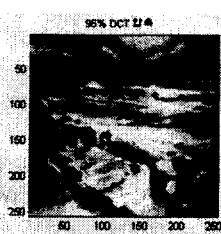
[그림 4] 원영상



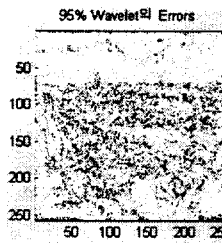
[그림 5] WT



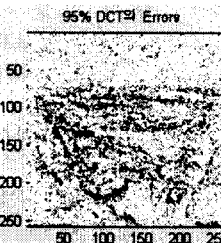
[그림 6] 95% Wavelet 압축



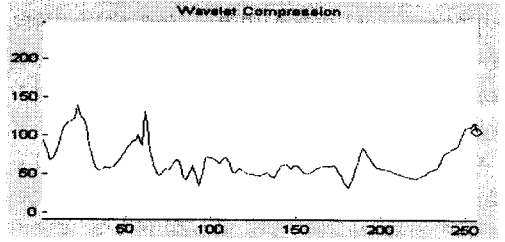
[그림 7] 95% DCT 압축



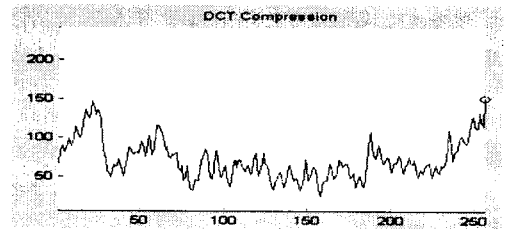
[그림 8] Wavelet Error



[그림 9] DCT Error



[그림 10] Wavelet watermark 검출



[그림 11] DCT watermark 검출

위의 그림 10과 11에서 보듯이 wavelet 압축이나 DCT 압축 후에도 삽입된 워터마크가 잘 검출됨을 알 수 있다.

향후 과제로는 회전이나 잘라내기 등 기하학적인 변형이 가해진 영상에 대해서도 워터마크의 추출 알고리즘의 구현과 동영상 등에서의 적용 또한 연구가 이루어져야 한다.

[참고문헌]

[1] 원치선, “디지털 영상의 저작권 보호”, 정보과학회지 제15권 제12호, pp.22-27, 1997.12
 [2] 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
 [3] G.Voyatzis, N.Nikolaidis and I.Pitas, “Digital Watermarking : An Overview”, Proc. of EUSIPCO’98, Sep., 8-11, Rhodes, Greece, 1998.
 [4] Research on Digital Watermarking at Aristotle University of Thessaloniki, “http://poseidon.csd.auth.gr/signatures/report.htm