

다해상도 웨이블릿 변환을 사용한 주파수 영역에서의 디지털 영상 워터마킹 기법

정회원 신종홍*, 연현숙*, 지인호*

Digital image watermarking techniques using multiresolution wavelet transform in frequency domain

Jong-hong Shin*, Hyoun-suk Youn*, Inn-ho Jee* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 주파수영역에서 웨이블릿 변환을 이용한 새로운 디지털 워터마킹 기법을 제안하였다. 저주파의 부대역 웨이블릿 계수는 워터마크를 삽입하기 위해서 사용된다. 원 영상이 이산 웨이블릿 변환을 사용하여 변환된 후 이 계수들은 주파수 영역에서 효과적으로 변환된다. 이 과정에서 DCT와 FFT변환이 사용된다. 일반적인 영상 포맷의 워터마크 영상은 이산 코사인 변환된다. 웨이블릿 계수에 삽입되어 은닉된 워터 마크는 주파수 영역에서 균일하게 분포된다. 그 다음 웨이블릿 계수들은 역 변환 과정이 수행된다. 워터마크의 검출과정은 삽입과정의 반대로 수행하게 된다. 본 논문에서는 워터 마크 기술의 핵심 요소인 저작권 데이터의 은닉기술과 압축, 필터링, 리샘플링, 크로핑 등에 견딜 수 있는 기술을 개발하였다. 실험결과는 제안된 두 개의 워터마크의 기술이 비가시적이고 강인함을 보여준다.

ABSTRACT

In this paper, a new digital watermarking algorithm using wavelet transform in frequency domain is suggested. The wavelet coefficients of low frequency subband are utilized to embed the watermark. After the original image is transformed using discrete wavelet transform, their coefficients are transformed into efficiently in frequency domain. DCT and FFT transforms are utilized in this processing. Watermark image of general image format is transformed using DCT and the hiding watermark into wavelet coefficients is equally distributed in frequency domain. Next, these wavelet coefficients are performed with inverse transform. The detection process of watermark is performed with reverse direction to insertion process. In this paper, we developed core watermark technologies which are a data hiding technology to hide unique logo mark which symbolizes the copyright and a robust protection technology to protect logo data from external attack like as compression, filtering, resampling, cropping. The experimental results show that two suggested watermarking technologies are invisible and robust.

1. 서론

인터넷의 대중화와 디지털 데이터 전송 및 저장 장치의 발달, 그리고 저작 도구 연구개발 등의 멀티미디어 산업 발전 제반 기술이 급속하게 성장하고

있다. 따라서 이에 따른 문서, 음성, 정지영상, 동영상 등 디지털 멀티미디어 콘텐츠의 서비스 요구가 급격히 늘어나고 있다. 이러한 디지털 콘텐츠는 접근이 용이하고, 정보의 손실 없이 복사가 가능하며, 재사용 및 조작이 용이할 뿐만 아니라, 복제된 데이

* 홍익대학교 전자전기 컴퓨터 공학부 (E-mail : ijee@hongik.ac.kr)

논문번호 : K01161-0721, 접수일자 : 2001년 7월 21일

※ 이 논문은 (1998)년 한국학술진흥재단의 학술연구비에 의하여 지원되었음(KRF-1998-001-E00825)

터는 유통이 쉽고 빠르기 때문에 디지털 콘텐츠의 소유권과 저작권 보호에 대한 필요성이 크게 대두되고 있다.

기존의 디지털 데이터 보호 시스템은 디지털 데이터의 접근을 제어하거나 그 내용을 암호화하여 허가된 사용자만이 데이터를 사용하도록 하였다. 그러나 일단 접근이 허가된 사용자에 의해 암호가 풀리게 되면 그 데이터는 불법적으로 복사되고 전송될 수 있으며, 허가된 사용자 중 어떤 사용자가 불법적으로 사용하였는지 판별하는 것이 불가능하기 때문에 저작권 문제에 대해 무방비 상태가 된다. 이러한 저작권 문제 해결을 위해 워터마킹 기술이 제안되었다. 워터마크 기술은 디지털 저작물에 사인(Signature)이나 소유권 정보(Copyright Message)를 눈에 들리지 않거나 눈에 보이지 않도록 삽입하여 저작권자나 소유권자의 허락 없이 저작물을 복사하거나 배포하는 것을 방지하는 기술이다.

이러한 디지털 워터마킹에 요구되는 사항으로 우선 워터마크의 삽입으로 인한 디지털 데이터의 품질을 저하시키지 않아야 한다. 가시적인 워터마킹이 사용되는 경우도 있지만 대부분은 비가시적인 워터마킹 방법을 사용하기 때문에 관찰자가 삽입된 워터마크를 인식하지 못할 뿐만 아니라 원 디지털 데이터의 품질 저하도 없어야 한다. 그리고 워터마크가 삽입된 디지털 데이터는 다른 변형이 있을 후에도 검출될 수 있도록 충분히 강인해야 한다. 영상의 워터마킹의 경우 압축, 필터링, 잡음 첨가, 회전, 스케일 등의 일반적인 영상 변형이 가해진 후에도 검출될 수 있어야 한다. 마지막으로 워터마크는 저작권자에 의해서만 검출되어야 하고, 다른 불법적인 사용자에게 의해서는 검출이 불가능해야 한다^{[1][2]}.

기존의 워터마킹 기술은 워터마크를 삽입하는 영역에 따라 공간 영역(Spatial Domain) 삽입과 주파수 영역(Frequency Domain) 삽입으로 나눌 수 있다. 먼저 공간 영역에 삽입하는 방법은 화소 값을 직접 변화시켜 워터마크를 삽입하기 때문에 쉽고 빠르게 구현될 수 있지만, 잡음이나 필터링과 같은 신호처리에 의해 쉽게 손상되는 단점이 있다. 주파수 영역에 삽입하는 방법은 원 영상의 데이터를 이산 여현 변환(Discrete Cosine Transform), 이산 푸리에 변환(Discrete Fourier Transform), 이산 웨이브렛 변환(Discrete Wavelet Transform) 등의 영역으로 변환한 후 영상의 특성에 적합하게 워터마크를 삽입하는 방법으로 공간 영역 워터마크 삽입 기술 보다 더욱 견고한 워터마크를 구현할 수 있다.

본 논문에서는 정지 영상에 대해 웨이브렛 변환을 사용하여 손실 압축, 기하학적 왜곡, 신호 처리, 양자화 등에 강인한 저작권 데이터의 은닉 기술과 분리 기술을 제안하였다. 본 논문의 구성으로 2장에서는 제안한 워터마킹 기술에서 사용되는 고속 푸리에 변환과 이산 여현 변환 그리고 웨이브렛에 대한 배경 이론에 관하여 설명하고, 3장에서는 두 가지의 제안된 워터마킹 삽입 및 검출 방법을 기술하였으며, 4장에서는 모의 실험을 통하여 견고성에 대한 성능 분석을 하였고, 5장에서는 결론 및 추후 연구과제를 언급하였다.

II. 배경 이론

1. 고속 푸리에 변환

주파수 변환인 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform : FFT)의 특징은 저주파 부분은 가운테로 모이고 고주파 부분은 모서리 부분으로 모인다. 이렇게 함으로써 실 공간에서 분리해 내기 어려운 저주파와 고주파 성분을 쉽게 나눌 수 있게 된다.

그림 1은 주파수 공간에서의 위상과 진폭의 특징을 나타낸 것으로 진폭의 경우는 a와 b, c와 d, e와 f, h와 i 영역은 대칭성을 띄고 위상의 경우는 형태가 대칭성을 띄지만 부호가 반대이다.

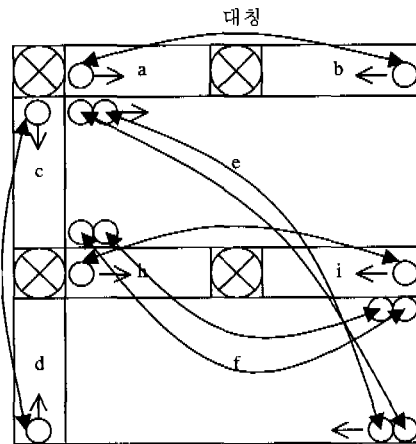


그림 1. FFT 계수의 위상과 진폭의 대칭성

원 영상 $f(x,y)$ 을 FFT변환하여 $F(u,v)$ 을 얻었을 때 그 값들은 대칭성을 가지고 있다. $F(u,v)$ 을 임의로 변형을 하여 $F'(u,v)$ 을 생성할 경우에 $F'(u,v)$ 는 푸리에 공간이 지니고 있는 대칭성이

없어질 수 있다. 대칭성이 없어진 $F'(u,v)$ 을 가지고 역 푸리에 변환할 경우 생성되는 $f'(x,y)$ 는 실수 값이 아니라 복소수 값을 가지게 된다. $f'(x,y)$ 에서 필요한 부분은 실수이지만 허수가 발생함으로써 허수를 버려야하는 문제가 발생한다. 그 값은 아주 미세한 부분일지라도 어떤 값들을 복구하고자 할 때는 문제가 발생할 수 있다. 즉, FFT 계수 값들을 변형을 가하고자 할 때는 대칭성이 유지될 수 있도록 하여야 한다. FFT의 이러한 주파수 분리 특성과 대칭성을 이용하여 효과적인 워터마킹 알고리즘을 구현할 수 있다.

2. 이산 여현 변환

이산 여현 변환 (Discrete Cosine Transform : DCT)은 직교 변환의 하나로써 기저 함수로 코사인 (cosine) 함수를 사용한다. 영상의 DCT 계수 분포는 왼쪽 상단이 DC 성분이고 그 외에는 AC 성분이며, 수평방향에서 오른쪽으로 갈수록 수직 방향에서 아래로 내려갈수록 고주파수 성분을 나타낸다. 즉 공간 영역에서 널리 퍼져 있는 에너지를 몇 개의 계수들로 집중시킴으로써 에너지 집중 효과를 얻을 수 있는 변환이다. 이러한 특성을 이용한 워터마크 삽입 기술의 연구가 이루어지고 있다. Cox^[1]는 DCT변환을 이용한 워터마킹 방법을 제안하였으나 시간적으로 중요한 계수를 선택하는 방법이 명확하지 못하고, 선택된 계수가 저주파 성분이므로 JPEG와 같은 압축 등에는 강할 수 있지만 잡음, 영상처리, 기하학적인 변환등에는 견고하지 못하다. 또한 사용되는 워터마크로 가우시안 분포의 랜덤 벡터를 사용하여 검출시 번거로움과 명확하지 못하다는 단점이 있다.

3. 웨이브렛 변환

웨이브렛 변환의 기본 개념은 임의의 신호를 시간과 주파수 영역에서 동시에 국부성(locality)을 갖는 웨이브렛 기저 함수의 선형 결합으로 해석하는 것이다. 웨이브렛 변환은 필터 बैं크의 연속된 적용으로 생성되며 기본적으로 대역 분할에 기초한다. 그림 2는 2-대역 분할 필터 बैं크를 보여준다^[2].

2-대역 분할 필터를 통해 $H_0(z)$ 의 출력인 저역 통과 대역을 계속해서 N번 분해하면 깊이가 N인 옥타브 트리 구조의 웨이브렛 변환이 이루어진다. 이러한 방식에 따른 웨이브렛 변환은 영상의 저주파수 대역만을 연속적으로 분할해 나가는 방식을 취하며 결과적으로 옥타브 트리를 구성하게 된다.

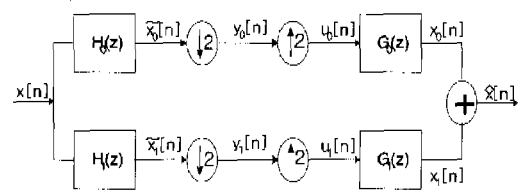


그림 2. 2-channel 필터 बैं크

그림 3은 웨이브렛 변환을 이용한 영상 부호화에서 영상을 옥타브로 나누었을 때 10개의 대역 분할된 옥타브 트리를 나타낸다.

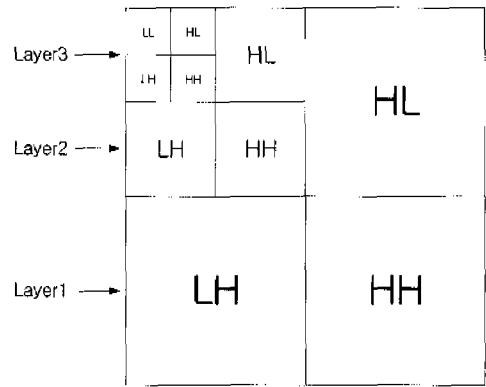


그림 3. 옥타브 트리 분할과 각 대역의 명칭

이와 같은 웨이브렛 변환은 공간에 대한 지역적 특성을 가지고 있어서 영상의 다중 해상도 분석이 가능하며 웨이브렛 변환의 계수들은 이미지의 본래 해상도에 대해 독립적인 정보를 제공하게 된다. 따라서 이러한 웨이브렛 변환의 특성을 이용한 워터마크 삽입 기술이 활발히 연구되어지고 있다. Xia^[6]가 제안한 웨이브렛을 이용한 워터마킹 방법에서는 3 단계 이산 웨이브렛 변환 후 최저주파수 LL대역을 제외한 모든 부대역에 가우시안 잡음의 워터마크를 삽입하였다. 또한 Kundur^[7]는 이진 워터마크를 이용하여 웨이브렛 변환된 각 부대역 계수중에서 크기가 중간값인 계수에 대하여 워터마크를 삽입하였다. 기존의 제안된 웨이브렛 변환을 이용한 워터마킹 방법에서는 LL 부대역을 제외하고 나머지 부대역에 대하여 워터마크를 삽입하였다. 하지만 영상 압축이 고주파 성분을 제거하는 손실 부호화를 하기 때문에, 고압축에서도 견고하도록 하기 위해서 저주파 성분인 LL부대역을 포함한 모든 부대역에 워터마크를 삽입할 수 있는 방법이 필요하다.

III. 워터마크의 삽입과 검출

1. 워터마크의 삽입

워터마크를 삽입하는 데에는 여러 가지 방법이 있는데 그 중에서 가장 널리 활용되고 있는 기술이 Ingemar J. Cox의 확산 스펙트럼 방식^{[1][2]}이다. Cox의 방법에서는 워터마크로 균일 분포를 가지는 의사 랜덤 시퀀스를 사용하며, 다음과 같은 세 가지 워터마크 삽입 방법을 제안하고 있다.

$$x_i' = x_i + \alpha w_i \quad (1)$$

$$x_i' = x_i (1 + \alpha w_i) \quad (2)$$

$$x_i' = x_i (e^{\alpha w_i}) \quad (3)$$

여기서 데이터 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 에 길이가 M 인 워터마크 $W = \{w_1, w_2, \dots, w_M\}$ 을 삽입하여 워터마크 신호 $X' = \{x_1', x_2', \dots, x_n'\}$ 을 얻게 된다. 이때 α 는 스케일링 변수로 워터마크의 양을 조절할 수 있도록 모델링 된 것이다.

식 (1)은 항상 역 변환 가능하지만 식(2), (3)은 $x_i \neq 0$ 인 경우에만 역 변환 가능하다. 워터마크된 신호 X^* 이 주어졌을 때 X^* 와 원 신호 X 로부터 워터마크 W^* 을 추출하기 위해서 역 변환식을 사용하여야 한다. 그리고 식(1)은 원 신호 x_i 값의 변화가 심한 경우에는 적절하지 못하지만, 식(2), (3)은 x_i 값의 차이가 있는 경우에 더욱 강인하며 αw_i 의 값이 적을 경우에 적절하다. 제안된 웨이브렛 변환을 사용하여 주파수 영역에서 워터마크를 삽입하는 경우 항상 역 변환이 가능하며, 변환계수간의 상관도가 높을 때 잘 적용되는 식(1)을 사용하는 것이 가장 효과적이다.

본 논문에서 제안된 워터마크 삽입 방법의 기본 개념은 Cox의 방법과 유사하지만, 주파수 영역으로의 변환을 웨이브렛 변환으로 사용하여 이 영역에

서 워터마크를 삽입하는 두 가지의 방법을 제시하였다. 그림 4는 워터마크 삽입 과정의 전체적인 블록도를 보여준다.

1) 이산 여현 변환을 이용한 워터마크

제안된 방법 1은 원 영상을 웨이브렛 변환한 후 그 계수 값을 DCT 변환하여 워터마크를 삽입한다. 웨이브렛 변환을 이용하여 시간적으로 중요한 최저 주파 부분을 선택하고 이 웨이브렛 계수를 다시 DCT과정을 통해 균일하게 분포시킨다. 워터마크의 삽입 영역은 DCT 계수의 전 부분이며 삽입하는 워터마크의 삽입 양은 웨이브렛 변환 중 일어나는 down sampling의 수와 관계된다. 삽입된 워터마크는 DCT 변환되어 에너지를 몇 개의 계수들로 집중 시킴으로써 에너지 집중 효과를 얻는다. 이 방법의 특징은 웨이브렛 변환계수의 최저주파에 워터마크가 삽입됨으로 일반적인 영상처리나 기하학적 영상 변형 그리고 잡음 등에 강인한 특성을 보인다. 또한 워터마크로 사용된 신호는 기존의 연구방식에서 사용된 무작위의 주파수인 의사 랜덤 시퀀스를 사용하지 않고 일반적인 이미지 형식을 사용하여 추출 후 원래의 워터마크와의 유사도를 상관관계뿐만 아니라 시각적으로도 확인할 수 있는 장점을 갖는다. 워터마크의 삽입 식은 역 변환이 가능하고 웨이브렛 변환에서 효과적인 식(1)을 사용하였다. 스케일링 파라미터 α 는 워터마크의 삽입 양을 조절할 수 있는데 α 의 값이 크면 워터마크의 삽입 양이 증가하지만 비가시성이 커지게 되고, 반대로 α 의 값이 작으면 비가시성은 감소하지만 워터마크의 삽입 양이 감소하게 된다. 따라서 워터마크의 삽입 양과 비가시성을 모두 만족시킬 수 있도록 적절한 α 의 값을 결정해야 한다.

첫 번째 방법에서는 실험적으로 원 영상의 표준편차와 워터마크 영상의 표준편차의 비가 40이면 워터마크가 안정적으로 은닉된다는 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 최적의 스케일링 파라미터 값은 다음의 공식으로 계산될 수 있다.

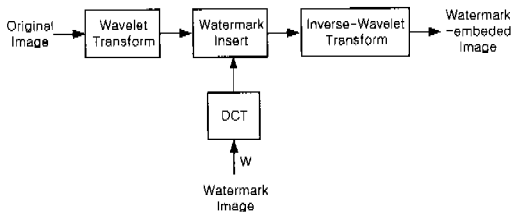


그림 4. 워터마크 삽입 과정의 블록도

$$\sigma_m = \alpha \times \sigma_{norm} \frac{\sigma_o}{\alpha \times \sigma_{norm}} = 40$$

$$\alpha = \frac{\sigma_o}{40 \times \sigma_{norm}} \quad (4)$$

여기서 σ_o 는 원 영상의 표준편차이고, σ_{norm} 은 정규화된 워터마크 영상의 표준편차이며, σ_m 은 워터마크 영상의 최적 표준편차이다.

제안한 방법 1에서의 워터마크 삽입 과정은 다음과 같다.

1. 원 영상을 웨이브렛 변환(layer 1)을 사용하여 주파수 영역으로 변환한 후 최저 주파수 부분(LL)만을 DCT한다. 일반적으로 HL, LH, HH 부분에는 워터마크를 삽입하지 않는 이유는 이 세 부분 에너지의 합이 전체 에너지의 1% 미만이기 때문이다.

2. 워터마크 영상은 각 화소 값을 정규화 한 후 DCT 변환하고 LL 크기와 동일한 크기의 계수를 추출한다.

3. 원 영상의 DCT 계수에 식(4)에 의해 구해진 최적의 스케일링 파라미터와 식(1)을 이용하여 추출된 워터마크 영상의 DCT 계수를 삽입한 다음 역 DCT한다.

4. 마지막으로 주파수 영역에서 공간 영역으로 변환하기 위해서 역 웨이브렛 변환을 수행하면 워터마크가 삽입된 영상을 얻는다.

역 웨이브렛 변환을 수행하게 되면 삽입된 워터마크의 계수는 up sampling의 효과로 영상의 전 부분에 균일하게 위치하게 되어 확산 스펙트럼 방식의 결과를 얻을 수 있게 된다.

2) 고속 푸리에 변환을 이용한 워터마크

제안 2의 워터마크 삽입 방법은 원 영상을 웨이브렛 변환하고 최저주파수 영역의 계수 값을 FFT한 후 워터마크를 삽입하는 방법이다. 제안 1과 마찬가지로 FFT 계수의 전 부분에 워터마크가 삽입되며 그 양은 down sampling의 횟수와 관계된다. 이때 FFT는 위상과 진폭의 대칭성을 가지게 되고 따라서 삽입된 워터마크는 FFT의 역 변환 과정에서 대칭성의 성질을 얻게 되어 원 영상 전체에 넓게 대칭적으로 분포하게 된다. 사용된 워터마크는 마찬가지로 일반적인 이미지 형식을 사용하였고 워터마크의 삽입 식(1)을 사용하였다. 최적의 스케일링 파라미터 값은 다음의 공식으로 계산된다.

$$\alpha = \frac{m_o}{m_m} \tag{5}$$

여기서 m_o 는 원 영상의 평균이고, m_m 은 워터마크 영상의 평균이다.

제안한 방법 2에서의 워터마크 삽입 과정은 다음과 같다.

1. 원 영상을 웨이브렛 변환(layer 1)을 사용하여 주파수 영역으로 변환한 후 최저 주파수부분(LL)만을 FFT한다.

2. 워터마크 영상은 DCT 변환한 후 LL 크기와 동일한 크기의 계수를 추출한다.

3. 원 영상의 DCT 계수에 식(5)에 의해 구해진 최적의 스케일링 파라미터와 식(1)을 이용하여 추출된 워터마크 영상의 DCT 계수를 삽입한 다음 역 FFT한다.

4. 마지막으로 주파수 영역에서 공간 영역으로 변환하기 위해서 역 웨이브렛 변환을 수행하면 워터마크가 삽입된 영상을 얻는다.

제안 2에서는 제안 1과 달리 FFT의 계수는 웨이브렛 계수에 비해 아주 작은 값이 되므로 정규화하는 과정을 거치지 않았다.

2. 워터마크의 검출

워터마크의 검출 과정은 워터마크의 삽입 과정의 역 과정으로 수행된다. 그림 5는 워터마크의 검출과정을 보여주고 있다.

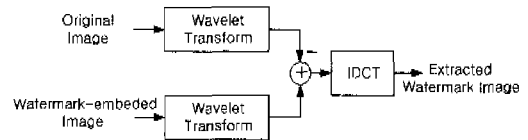


그림 5. 워터마크 검출 과정의 블록도

제안한 방법 1과 2에서의 워터마크 검출 과정은 다음과 같다.

1. 변형이 가해진 영상(워터마크가 삽입되었거나 삽입되지 않은 손상된 영상)을 주파수영역으로 변환하기 위해서 웨이브렛 변환하여 최저 주파수 부분(LL)만을 추출한다.

2. 원 영상 역시 웨이브렛 변환하여 LL 부분만을 추출한다.

3. 구해진 최저주파수의 각각의 웨이브렛 계수를 DCT 또는 FFT변환한다.

4. 변환된 두 계수 값들의 차를 구하고 다시 공간 영역으로 변환하기 위해서 역 DCT를 하면 삽입된 워터마크 영상이 추출된다.

5. 추출된 워터마크 영상과 원래의 워터마크 영상 사이의 상관관계를 구하여 워터마크의 존재 여부와 소유권자의 워터마크인지 확인한다.

추출된 워터마크의 유사도(Similarity)를 측정하는 방법은 벡터 투영(vector projection)을 계산하는 방법, 상관관계(correlation)를 계산하는 방법, 비트 에러(bit error)를 계산하는 방법 등이 있는데, 본 논문에서는 일반적인 방법인 상관관계를 구하여 확인하

였다. 원 워터마크와 찾아진 워터마크의 공분산 (Covariance)은 다음 식으로 구할 수 있다^[11].

$$C_{ww^*} = E\{(W - \eta_w)(W^* - \eta_{w^*})\}$$

$$C_{ww^*} = E\{WW^*\} - E\{W\}E\{W^*\} \quad (6)$$

$E\{W\} = \eta_w$, $E\{W^*\} = \eta_{w^*}$ 으로 정의되고 워터마크의 평균이 된다. 따라서 상관관계 계수는 다음과 같이 정의된다.

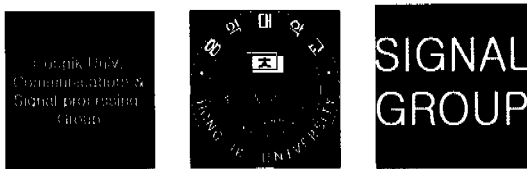
$$r = \frac{C_{ww^*}}{\sigma_w \sigma_{w^*}} \quad (7)$$

σ_w 와 σ_{w^*} 는 각각 워터마크의 표준편차이다.

유사도는 워터마크의 삽입 양에 따라서 선형적으로 증가 또는 감소해야 하고, 공격의 정도에 따라서도 선형적으로 증가 또는 감소하는 성질을 가져야 한다. 또한 워터마크의 삽입 양은 스케일링 파라미터에 따라 변화함으로 유사도는 스케일링 파라미터에 비례한다.

IV. 모의 실험 및 성능 분석

제안된 방법들의 성능을 실험하기 위하여 256×256 크기, 8 비트 gray level의 Lena 영상을 사용하였다. 워터마크 영상은 256×256 크기, 8 비트 gray level의 워터마크 1, 2, 3을 사용하였으며, 삽입 식 (1)을 사용하여 제안한 두 가지 삽입 방법에 대하여 실험하였다. 그림 6에서는 본 실험에서 사용한 워터마크 영상을 보여주고 있다.



(a) 워터마크 1 (b) 워터마크 2 (c) 워터마크 3
그림 6. 워터마크 영상

디지털 워터마킹 알고리즘의 성능평가 기준은 비가시성과 견고성이다. 비가시성은 워터마크의 삽입 후 시각적으로 워터마크의 삽입 여부를 알 수 없어야 한다는 것으로 스케일링 파라미터로 비가시성을 조절할 수 있다. 그림 7은 제안한 두 가지 방법으로 Lena 영상에 워터마크 3이 삽입된 이미지를 보여주고 있다. 그림 (b)는 제안 방법 1에 의한 워터마크

가 삽입된 영상으로 계산된 최적의 스케일링 파라미터 α 의 값은 4.13이고, 워터마킹된 영상의 화질 왜곡의 정도를 살펴보기 위해 원 영상과의 PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) 값은 45.13dB이고, 비가시성을 수치적으로 분석하기 위해서 계산한 원 영상과 워터마킹된 영상의 상관도는 99.97%로 워터마크가 효과적으로 은닉되었음을 알 수 있다. 그림 (c)는 제안 방법2에 의해 워터마크가 삽입된 영상이다. 이 때 계산된 최적의 스케일링 파라미터 α 의 값은 3.03이고, PSNR의 값은 42.84dB이고, 비가시성이 99.96%로 제안한 방법 1과 거의 같으며 두 개의 방법 모두 시각적으로 워터마크의 삽입을 인식할 수 없다.



(a) 원 영상 (b) 제안 방법1 (c) 제안 방법2

그림 7. 워터마크가 삽입 된 영상

워터마크가 삽입된 영상이 다양한 공격을 받았을 경우에 워터마크가 얼마나 강하게 남아있는지를 알아보기 위한 견고성 실험으로 JPEG 압축, 필터링, Resampling 그리고 Cropping에 대해 실험하였다. 수치적인 성능분석을 위해 추출 워터마크와 원 워터마크와의 상관관계를 이용하였다. 또한 워터마크로 일반적인 이미지가 사용되므로 추출된 워터마크의 시각적인 인지 여부도 확인하였다.

1) JPEG 압축

JPEG 압축은 영상에 대한 가장 흔한 공격으로 JPEG 압축에 대한 견고함을 확인하기 위하여 압축율에 따른 성능을 제안한 두 가지 방법에 대하여 각각 실험하였다. 표 1은 JPEG압축율에 따른 검출된 워터마크 영상과 원 영상과의 상관도를 나타낸 것이다. 워터마크 영상의 특성에 따라 약간의 차이가 있지만 대체로 압축율이 10% 이하일 경우 영상 자체의 훼손도가 커서 검출 시 상관도가 낮고 시각적 인식이 어렵지만, 20% 이상으로 압축할 경우에는 상관도가 높고 시각적으로 확실히 인식할 수 있었다. 방법 1이 방법 2보다 대체로 상관도가 높아 보다 좋은 성능을 나타낸다. 그림 8과 9는 제안한 방법들을 사용하여 워터마크 3을 삽입한 후 JPEG

50% 압축한 영상과 검출한 영상을 나타낸다.



(a) JPEG 50% 압축 영상 (b) 검출 영상

그림 8. 제안한 방법 1(DCT)



(a) JPEG 50% 압축 영상 (b) 검출 영상

그림 9. 제안한 방법 2(FFT)

표 1. JPEG 압축에 대한 검출된 워터마크와 원 워터마크와의 상관도

삽입방법	워터마크	압축율(%)					
		50	40	30	20	10	5
제안 알고리즘1 (DCT)	mark 1	0.7502	0.6791	0.5680	0.4448	0.1808	0.0991
	mark 2	0.5496	0.4800	0.3761	0.2616	0.1233	0.0567
	mark 3	0.8818	0.8325	0.7363	0.5815	0.3030	0.1046
제안 알고리즘2 (FFT)	mark 1	0.5876	0.5382	0.4758	0.3872	0.2289	0.1246
	mark 2	0.4654	0.3940	0.2974	0.2292	0.1077	0.0389
	mark 3	0.7750	0.7057	0.6195	0.4437	0.2814	0.1345

2) 필터링

영상처리의 하나로 여러 가지 필터를 사용하는데 본 논문에서는 저주파 영역 삭제 필터와 고주파 영역 삭제 필터에 대한 워터마크의 견고성을 실험하였다. 본 실험에서 사용한 3×3 저주파 필터와 3×3 고주파 필터는 표 2에 나타내었다^[3]. 표 3에서는 필터링에 대한 상관도의 결과를 나타내었다. 제안된 방법들은 고주파 필터 보다 저주파 필터 공격에서 더욱 강인함을 보인다. 제안 방법 1의 성능이 전체적으로 우수함을 알 수 있다. 그림 10은 제안한 방법 1을 사용하여 워터마크 3을 삽입한 후 저주파 필터(3)와 고주파 필터(2)를 통과한 영상과 검출 결과를 보여주고 있다. 그림 11은 동일한 실험을 제안

한 방법 2를 사용하여 실험한 영상들을 보여준다.



(a) 저주파 필터 통과 후 영상 (b) (a)에서의 검출 영상



(c) 고주파 필터 통과 후 영상 (d) (c)에서의 검출 영상

그림 10. 제안한 방법 1(DCT)



(a) 저주파 필터 통과 후 영상 (b) (a)에서의 검출 영상



(c) 고주파 필터 통과 후 영상 (d) (c)에서의 검출 영상

그림 11. 제안한 방법 2(FFT)

표 2. 사용된 저주파와 고주파 필터

	1			2			3			
	저주파 필터	1/9	1/9	1/9	1/10	1/10	1/10	1/16	2/16	1/16
		1/9	1/9	1/9	1/10	2/10	1/10	2/16	4/16	2/16
1/9		1/9	1/9	1/10	1/10	1/10	1/16	2/16	1/16	
	1			2			3			
	0	-1	0	1	-2	1	-1/7	-2/7	-1/7	
	-1	5	-1	-2	5	-2	-2/7	19/7	-2/7	
고주파 필터	0	-1	0	1	-2	1	-1/7	-2/7	-1/7	

표 3. 필터링에 대한 검출된 워터마크와 원 워터마크와의 상관도

삽입방법	워터마크	저주파			고주파		
		1	2	3	1	2	3
제안알고리즘1 (DCT)	mark 1	0.4272	0.4714	0.5410	0.1466	0.7696	0.2448
	mark 2	0.3082	0.3410	0.3972	0.1222	0.5942	0.1918
	mark 3	0.6116	0.6577	0.7290	0.1595	0.8927	0.3040
제안알고리즘2 (FFT)	mark 1	0.3325	0.3644	0.4129	0.2057	0.3888	0.2854
	mark 2	0.2190	0.2467	0.2910	0.1629	0.3150	0.2234
	mark 3	0.4225	0.4609	0.5223	0.2212	0.4854	0.3340

3) Resampling

Resampling은 이미지의 크기를 늘리거나 줄이는 것으로 견고성의 평가를 위하여 본 실험에서는 256×256 크기의 워터마크 삽입 이미지를 임의의 크기 (125×125, 192×192, 225×225)로 Resampling한 다음 이를 다시 256×256 크기로 만든 후 워터마크를 추출하였다. 표 4에서는 Bicubic, Bilinear, Nearest의 Resampling 알고리즘을 사용하여 성능을 측정한 결과를 나타내었다. Resampling 알고리즘에 따라 성능의 차이를 보이지만, Bicubic 알고리즘에서 가장 좋은 성능을 보인다. 또한 전체적으로 제안한 방법 1에서 방법 2에서 보다 우수한 성능을 보인다. 그림 12와 13은 제안한 방법들을 사용하여 워터마크 3을 삽입한 영상을 Bicubic 알고리즘으로 192×192 크기로 리샘플링 한 영상과 검출 영상을 보여주고 있다.



(a) 리샘플링 영상



(b) 추출 영상

그림 12. 제안한 방법 1(DCT)



(a) 리샘플링 영상



(b) 추출 영상

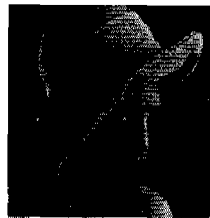
그림 13. 제안한 방법 2(FFT)

표 4. Resampling에 대한 검출된 워터마크와 원 워터마크와의 상관도

삽입방법	워터마크	Bicubic			Bilinear			Nearest		
		128	192	225	128	192	225	128	192	225
제안 알고리즘1 (DCT)	mark 1	0.6802	0.8073	0.8534	0.3108	0.5384	0.5573	0.1089	0.1902	0.2797
	mark 2	0.5172	0.6402	0.6801	0.2170	0.3923	0.3980	0.0750	0.1421	0.1951
	mark 3	0.8479	0.9325	0.9614	0.4776	0.7292	0.7366	0.2147	0.2799	0.3934
제안 알고리즘2 (FFT)	mark 1	0.3661	0.6083	0.6582	0.2598	0.4386	0.4710	0.1238	0.3009	0.3833
	mark 2	0.2484	0.5434	0.6116	0.1637	0.3191	0.3543	0.0842	0.1785	0.2734
	mark 3	0.4812	0.8193	0.8935	0.3400	0.5645	0.6257	0.1839	0.3532	0.4707

4) Cropping

크로핑(cropping)이란 이미지의 핵심부분인 중앙 및 이미지의 각 부분을 추출해 내는 이미지 처리 방법으로 얼마나 워터마크가 고르게 삽입되어 있는가를 측정할 수 있다. 본 실험에서는 128×128, 192×192, 224×224 크기로 크로핑 실험을 하여 성능 측정을 하였다. 제안 1에서는 크로핑 영역이 검출된 워터마크의 크로핑 영역과 일치하여 원 워터마크와의 상관관계를 갖는 부분을 찾을 수 있어 상관도를 계산할 수 있으나 제안 2에서는 II-(1)에서 언급한 FFT의 위상 대칭특성이 크로핑으로 인하여 파괴되어 삽입된 워터마크의 어느 영역이 남아 있는지 알 수가 없다. 따라서 추출된 워터마크가 원 워터마크와 상관관계를 가져야 하는 부분을 정확히 알 수가 없어 정확한 상관도를 수치적으로 계산할



(a) 크로핑후 영상



(b) 추출영상

그림 14. 제안한 방법 1(DCT)



(a) 크로핑후 영상



(b) 추출영상

그림 15. 제안한 방법 2(FFT)

수 없다. 그러나 그림 15(b)와 같이 시각적으로는 확인할 수 있다. 제안 1의 크로핑 성능 실험의 결과는 표 5에 나타내었다. 제안 1의 경우에는 크로핑 영역의 크기와 관계없이 일정한 상관관계의 계수 결과를 얻을 수 있었다.

표 5. Cropping에 대한 검출된 워터마크와 원 워터마크와의 상관도

삽입방법	워터마크	128	192	224
제안알고리즘1 (DCT)	mark 1	0.8515	0.8635	0.8672
	mark 2	0.7471	0.7107	0.7410
	mark 3	0.9610	0.9690	0.9715

5) Noise 첨가

영상에 첨가되는 여러 가지 잡음들 중에서 대표적인 salt & pepper 잡음, gaussian 잡음, speckle 잡음에 대하여 실험을 하였다. 표 6에서 제안한 방법에 대해 부가적인 잡음 공격에 대한 성능을 측정 한 결과를 나타내었다. 잡음의 종류와 사용한 워터마크 영상에 따라 성능의 차이를 보이지만, 전체적으로 제안한 방법 2보다는 제안한 방법 1에서 조금 더 우수한 성능을 보인다. 그림 16과 17은 제안한 방법들을 사용하여 워터마크 3을 삽입한 영상에 salt & pepper 잡음을 삽입한 영상과 검출 영상을 보여주고 있다.



(a) Noise 삽입 영상 (b) 검출 영상

그림 16. 제안한 방법 1(DCT)



(a) Noise 삽입 영상 (b) 검출 영상

그림 17. 제안한 방법 2(FFT)

표 6. Noise 첨가에 대한 검출된 워터마크와 원 워터마크와의 상관도

삽입방법	워터마크	salt & pepper	gaussian	speckle
제안알고리즘1 (DCT)	mark 1	0.4802	0.5113	0.5245
	mark 2	0.3478	0.3426	0.3623
	mark 3	0.7018	0.6683	0.6741
제안알고리즘2 (FFT)	mark 1	0.4289	0.4571	0.4624
	mark 2	0.2743	0.3330	0.3379
	mark 3	0.5624	0.5729	0.5794

V. 결론

본 논문에서는 웨이브렛 변환과 주파수 변환 영역에서 각 계수들 간의 특성을 이용한 디지털 워터마크 알고리즘을 제안하였다. 영상의 중요 에너지 부분을 찾고 워터마크를 삽입할 수 있는 공간을 제공하기 위해서 웨이브렛 변환이 사용되었다. 그리고 이 웨이브렛 계수들은 주파수 영역에서의 에너지 집중 효과와 분리 특성 및 대칭성을 만족하도록 변환 과정을 거치게 된다. 또한 기존 연구방식과는 달리 워터마크를 무작위의 특정 주파수를 사용하지 않고 일반적인 영상 포맷을 사용하였다. 이 워터마크 영상을 이산 코사인 변환되면 삽입하려는 데이터 영역에 넓게 분포된다. 이산 변환된 워터마크를 주파수 특성에 맞도록 변환된 원 영상의 계수 값과 더한 뒤 웨이브렛 역 변환함으로써 공간적으로 균일하게 분포되는 워터마크 기법을 구현하였다.

디지털 워터마크 기술의 견고성 및 워터마크 추출에 대한 명확성을 중심으로 한 실험에서 저작자의 워터마크 이미지들은 대부분 원래의 워터마크 이미지와 대체적으로 30%이상의 상관관계를 유지하며 추출이 가능하였다. 저주파 영역만 워터마크를 삽입하였기 때문에 JPEG 압축 실험에서 우수한 성능을 얻을 수 있었다. 고 압축된 JPEG의 경우 낮은 상관관계를 갖더라도 워터마크가 영상이므로 시각적으로 인식이 가능하였다. 필터링의 결과에서 상관계수는 전체적으로 높지는 않았지만 시각적으로 충분히 인식이 가능하다. Resampling과 cropping에서는 워터마크가 전 주파수 영역에서 골고루 분포되어 있어 우수한 성능을 보였다. 잡음이 존재하는 영상에서는 미디언 필터에 의한 잡음뿐만 아니라 워터마크의 손실이 있으나 최저 주파수에 존재하고 있

기 때문에 상관계수와 시각적 인식에서 성능이 모두 우수하다.

제안된 두 가지 방법 중 제안 1이 전체적으로 성능이 우수하게 나왔다. 이는 제안 2의 방법에서 미소한 대칭성의 파괴로 유사도의 성능이 저하되었기 때문이다. 그러나 데이터 영역에서의 분포는 제안 2의 방법이 진폭과 위상의 대칭성과 초과 표본화에 의해 더 넓게 분포한다. 따라서 앞으로의 연구과제는 푸리에 변환한 후의 값들에 변형을 가하고자 할 때는 대칭성이 유지될 수 있도록 하여야 한다. 그리고 제안된 두 개 방법을 원래의 영상 없이 워터마크를 검출 할 수 있는 연구가 수행되어야 하며, 컬러 영상과 동영상에 적용 가능실험이 수행되어야 한다.

참 고 문 헌

[1] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton and T. Shamoan, "Secure spread spectrum watermarking for images, audio and video," in *Proc. of IEEE Int. Conf. Image Processing*, vol. III, pp. 243-246, Lausanne, Switzerland, Sept. 1996.

[2] I. J Cox, K. Alian, T. Leighton and T. Shamoan, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 6, No. 12, pp.1673-1687, 1997.

[3] A. Piva, M. Barni, F. Bartoline, V. Cappellini, "DCT-based watermark recovering without resorting to the uncorrupted original images," in *Proc. Int. Conf. Image processing 97*, vol. 1, pp.520-523, Santa Barbara, CA, Oct. 1997.

[4] R. B. Wolfgang and E. J. Delp, "A watermark for digital images," *Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. 3, pp.219-222, 1996.

[5] 김영식, 권오형, 박래홍, "웨이브렛 영역에서의 디지털 영상 워터마킹 방법," *대한전자공학회 논문지*, 제 36권 S편 제 12호, 1999년 12월.

[6] X. G. Xia, C. G. Boncelet, G. R. Arce, "A Multiresolution Watermark for Digital Image," *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, 1997.

[7] D. Kundur and D. Hatzinakos, "Digital watermarking using multiresolution wavelet decomposition," *Proc. IEEE Int. Conf. on Acoustical, Speech and Signal Processing*,

Seattle, Washington, vol. 5, pp. 2969-2972, May 1998.

[8] Swanson, M. D., Bin Z., and Ahmed H. Tewfik, "Transparent robust image watermarking," *Proc. of IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. III, pp. 211-214, Sept. 1996.

[9] Ejima, M. A. Miyazaki, and T. Saito, "Digital watermark based on the dynamic wavelet transform and its robustness on image compressing", *Proc. of ITC-CSCC'98*, July Korea, pp. 125-128.

[10] K. R. Rao and J. J. Hwang, *Techniques & Standards for Image, Video, Audio coding*, Prentice-Hall, Inc. 1996.

[11] Athanasios Papoulis, *Probability Random Variables, and Stochastic Process*, McGraw-Hill, Inc. 1991.

[12] Martin Vetterli and Jelena Kovacevic, *Wavelets and Subband Coding*, Prentice-Hall, Inc. 1995.

[13] Jae S. Lim, *Two-dimensional Signal and Image Processing*, Prentice-Hall, Inc. 1990.

신 종 홍(Jonghong Shin)

정회원



1997년 2월 : 홍익대학교

전기공학과(공학사)

1999년 2월 : 홍익대학교

전기공학과(공학석사)

1999년 3월~현재 : 홍익대학교

전기공학과 박사과정

<주관심 분야> 통신 신호처리, 무선 통신, 멀티미디어 통신

연 현 숙(Hyounsuk Youn)

정회원



2000년 2월 : 홍익대학교

컴퓨터정보통신학과(공학사)

2000년 3월~현재 : 홍익대학교

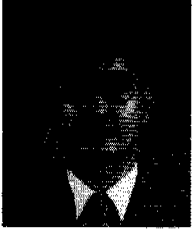
전자전산공학과 석사과정

<주관심 분야> 디지털 워터마

킹, 영상처리, CDMA 응용

지 인 호(Innho Jee)

정회원



1980년 2월 : 서울대학교

전자공학과(공학사)

1983년 8월 : 서울대학교

전자공학과(공학석사)

1995년 6월 : Polytechnic

University (New York City)

전기 및 컴퓨터공학과

(공학박사)

1982년 2월~1988년 6월 : 국방과학연구소 연구원

1995년 8월~현재 : 홍익대학교 전자전기컴퓨터공학부
교수

<주관심 분야> 영상 신호처리, 이동통신, 멀티미디어 응용