

論文2000-37CI-1-1

레벨 적응적 이치화를 이용한 웨이블릿 기반의 디지털 워터마킹 (Wavelet-Based Digital Watermarking Using Level-Adaptive Thresholding)

金鐘烈*, 文泳植*

(Jong Ryul Kim and Young Shik Moon)

요 약

본 논문에서는 웨이블릿 변환을 이용한 새로운 디지털 워터마킹 방법을 제안한다. 웨이블릿 변환은 인간의 시각 구조와 상당히 유사한 다중해상도 특성을 지니고 있을 뿐 아니라, 영상을 공간 영역과 주파수 영역에 효과적으로 국부화 시키는 특성을 지니고 있기 때문에 영상처리에서 널리 연구되고 있는 방법이다. 웨이블릿 변환을 거친 계수들은 일반적으로 가우시안 분포를 따른다고 알려져 있기 때문에 제안한 방법에서는 비가시성과 견고함을 위해서 워터마크로서 가우시안 분포를 가지는 랜덤 벡터를 사용한다. 워터마크 삽입 과정에서는 워터마크가 영상 전체에 삽입될 수 있도록 하기 위해서 LL 부대역을 포함한 모든 부대역을 사용하고, 각 부대역에 대하여 레벨 적응적 이치화를 통해 시각적으로 중요한 웨이블릿 계수를 선택한다. 또한, 선택된 계수에 대하여 웨이블릿 특성에 따라서 각각 다른 가중치를 가지고 워터마크를 삽입한다. 워터마크 검출 과정에서는 벡터투영 방법을 사용하여 추출된 워터마크와 원래의 워터마크 사이의 유사도를 계산한다. 제안한 방법을 여러 가지 영상에 워터마킹해 본 결과, 워터마킹된 영상이 기존에 제안된 워터마킹 방법보다 시각적으로 손상이 없으면서, 여러 가지 압축, 영상처리, 기하학적 변환, 잡음 등에 강한 것을 확인하였다.

Abstract

In this paper, a new digital watermarking algorithm using wavelet transform is proposed. Wavelet transform is widely used for image processing, because of its multiresolution characteristic which conforms to the principles of the human visual system(HVS). It is also very efficient for localizing images in the spatial and frequency domain. Since wavelet coefficients can be characterized by the gaussian distribution, the proposed algorithm uses a gaussian distributed random vector as the watermark in order to achieve invisibility and robustness. After the original image is transformed using DWT(Discrete Wavelet Transform), the coefficients of all subbands including LL subband are utilized to equally embed the watermark to the whole image. To select perceptually significant coefficients for each subband, we use level-adaptive thresholding. The watermark is embedded to the selected coefficients, using different scale factors according to the wavelet characteristics. In the process of watermark detection, the similarity between the original watermark and the extracted watermark is calculated by using vector projection method. We analyze the performance of the proposed algorithm, compared with other transform-domain watermarking methods. The experimental results tested on various images show that the proposed watermark is less visible to human eyes and more robust to image compressions, image processings, geometric transformations and various noises, than the existing methods.

* 正會員, 漢陽大學校 電子計算學科

Hanyang University)

(Department of Computer Science and Engineering,

接受日字: 1999年2月25日, 수정완료일: 1999年11月12日

I. 서론

최근 몇 년 동안 디지털 멀티미디어 데이터(audio, image, video등)는 네트워크의 발달과 보급을 통해 쉽게 전송이 가능하다는 이유 때문에 폭발적인 수요를 보이고 있다. 멀티미디어 표현물의 상업적 가치가 증가되고 각종 멀티미디어 데이터들이 네트워크와 인터넷을 통해서 분배, 복제되고 있다. 또한 디지털 데이터의 불법 복제 및 변조 등에 대한 문제가 발생하게 되었으며, 이러한 문제를 해결하기 위해 최근에 디지털 데이터의 내부에 정보를 은닉하여 멀티미디어 데이터의 저작권을 보호(copyright protection)할 수 있는 연구가 활발히 진행되고 있다^[1,2]. 그 대표적인 예로서 멀티미디어 데이터의 저작권 보호를 위해 디지털 데이터의 내부에 개인의 정보를 은닉하여 확인할 수 있는 기술을 디지털 워터마킹(digital watermarking)이라고 한다. 이러한 디지털 워터마킹 기술이 저작권을 효과적으로 보호하기 위해서는 다음과 같은 중요한 몇 가지 요구 사항(requirement)이 있다^[3].

- **비가시성(invisibility)** : 워터마크의 삽입 여부를 시각적으로 확인할 수 없어야 한다. 시각적으로 확인할 수 있는 워터마크의 삽입으로 인해 원영상의 내용 변화와 의도적인 제어를 유발하게 된다.
- **비모호성(unambiguity)** : 삽입된 워터마크를 추출하여 소유자를 확인할 수 있어야 한다. 즉, 삽입된 워터마크는 워터마크 확인과정에서 소유자를 확인할 수 있는 메커니즘이 필요하다.
- **견고성(robustness)** : 외부의 의도적인 변환 및 공격, 잡음 등에 대하여 견고해야 한다. 또한 여러 가지 신호 처리, 영상 처리, 기하학적 변환 등에도 견고해야 한다.
- **범용성(generality)** : 워터마킹 알고리즘은 멀티미디어 데이터(audio, image, video)에 범용적으로 적용될 수 있어야 한다. 디지털 멀티미디어 데이터는 audio, image, video등이 혼합된 형태로 존재할 경우가 많기 때문에 동일하게 적용될 수 있는 워터마킹 알고리즘이 보다 생산적일 수 있다.

지금까지 워터마킹 방법은 공간영역(spatial domain)과 주파수 영역(frequency domain)에서 워터마크를 삽입하는 두 가지 방법으로 연구되어 왔다^[4]. 공간영역(spatial domain)에서의 워터마킹은 공간 영역에서 직접 워터마크를 삽입하는 방법이다. 이러한 방법에는 X-oring, m-시퀀스를 이용한 방법, 통계적인 방법 등으로 다양하게 연구되어 왔다. Osborne등은 m-시퀀스를 이용한 공간 영역에서의 워터마킹 방법을 제안하였고^[5], Bendor등은 "Patchwork"라고 불리는 확률적인 방법을 이용한 워터마킹 방법을 제안하였다^[6]. Pitas는 영상의 크기가 같은 두 집합으로 나누고 한 집합의 화소 값들은 상수 K 만큼씩 일정하게 증가시키는 워터마킹 방법을 제안하였고^[4], Pitas와 Nikolaidis는 JPEG압축 등에 강한 새로운 알고리즘을 제안하였다^[7]. 공간 영역에서의 워터마킹 방법은 단순하고 빠르게 워터마킹을 수행할 수 있다는 장점이 있으나 일반적으로 주파수 영역에서의 방법에 비하여 잡음이나 JPEG 압축 등에 약하다는 단점을 가지고 있다. 따라서 현재는 공간 영역에서의 워터마킹 보다 주파수 영역에서의 워터마킹에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

주파수 영역에서의 워터마킹은 영상을 주파수 영역으로 바꿀 수 있는 여러 가지 변환(예를 들면 DCT, FFT, DWT, FWT등)을 사용하여 주파수 영역으로 변환한 후, 워터마크를 삽입하는 방법이다. 지금까지 워터마킹 방법에서는 주로 DCT(Discrete Cosine Transform)나 FFT(Fast Fourier Transform)를 사용하여 주파수 영역으로 변환하였다. Cox등은 DCT 변환을 이용한 주파수 영역에서의 워터마킹 방법을 제안하였다^[3]. 이 방법에서 Cox등은 영상 전체를 DCT한 후, 주파수 영역으로 변환된 계수에 대하여 워터마크를 삽입하였다. 이 방법은 선택된 계수가 저주파 성분이므로 JPEG과 같은 압축 등에는 강할 수 있지만 잡음, 영상 처리, 기하학적인 변환 등과 같은 다양한 공격에 견고하지 못하다. Piva등은 원 영상을 $N \times N$ 으로 나누어 DCT를 수행한 후, 각각의 블록에 대하여 JPEG 압축에서 사용하는 zig-zag 스캔을 하면서 중간 대역(middle band)에 워터마크를 삽입하였다^[8]. 그러나 이 방법은 중간 대역에 워터마크를 삽입하였기 때문에 높은 압축율로 압축을 하거나 잡음에 대하여 견고하지 못하다. 웨이블릿 변환을 이용한 방법 중 Xia등이 제안한 방법은 원영상을 3-레벨 이산 웨이블릿 변환하여 LL 부대역을 제외한 모든 부대역에 워터마크를 삽입하였다^[9].

워터마크로는 가우시안 잡음을 사용하였고, 계층적인 구조로 워터마크를 삽입 및 검출할 수 있다는 특징이 있다. 또한 Kundur 등은 이진 워터마크를 이용한 웨이블릿 변환 워터마킹 방법을 제안하였다^[10,11]. 워터마크를 삽입하기 위해서 원 영상을 웨이블릿 변환한 후, 각 부대역을 정렬하여 LH, HL, HH 부대역 계수중 크기가 중간값인 계수에 대하여, 워터마크가 1인 경우에는 일정한 크기의 값을 더하고, -1인 경우에는 일정한 크기의 값을 빼는 과정을 통해서 워터마킹 하였다. 지금까지 웨이블릿 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 LL 부대역을 포함한 모든 부대역에 워터마크를 삽입할 수 있는 방법이 필요하다. 그러나 LL 부대역 값의 급격한 변화는 원영상의 화질저하 및 변형을 가져오므로 견고함과 비가시성을 동시에 고려하여 LL 부대역을 포함한 모든 부대역에 워터마크를 삽입할 수 있는 워터마킹 방법이 필요하다.

본 논문은 웨이블릿 변환을 이용하여 디지털 워터마킹 요구 조건을 만족시키면서 영상 품질의 저하가 없이 시각적으로 중요한 계수에 워터마크의 삽입하여 견고함을 높인 새로운 워터마킹 방법을 제안한다. 제안된 워터마킹 방법은 워터마크 생성, 워터마크 삽입, 워터마크 검출 과정으로 이루어진다. 비가시성과 견고함을 위해 Box-Muller 변환을 사용하여 생성된 가우시안 랜덤 벡터(Gaussian random vector)를 워터마크로 사용한다. 워터마크 삽입 과정에서는 주파수 영역으로 변환하기 위해 이산 웨이블릿 변환(discrete wavelet transform)을 사용하고, 워터마크가 영상 전체에 고루 삽입될 수 하기 위해서 LL 부대역을 포함한 모든 부대역에 대하여 워터마크를 삽입한다. 이때 각 부대역에 대하여 레벨 적응적 이치화를 통해 시각적으로 중요한 웨이블릿 계수를 선택하여 분해(decomposition) 레벨에 따라서 서로 다른 가중치를 가지고 워터마크를 삽입하여 성능을 향상시킨다. 이러한 방법으로 삽입된 워터마크는 검출 과정에서 벡터 투영(vector projection) 방법을 사용하여 원래의 워터마크와 추출된 워터마크 사이의 유사성(similarity)을 계산하여 워터마크 존재여부를 확인한다.

II. 제안된 워터마킹 방법

1. 이산 웨이블릿 변환(Discrete Wavelet Transform, DWT)

웨이블릿 변환은 인간의 시각구조와 상당히 유사한 다중해상도(multiresolution) 특성을 지니고 있을 뿐 아니라 영상을 공간과 주파수 영역에 효과적으로 국부화(localization)할 수 있는 특성을 지니고 있기 때문에 영상처리 분야에서 활발히 연구되고 있으며 그 성능의 유효함이 입증되고 있다^[12,13,14].

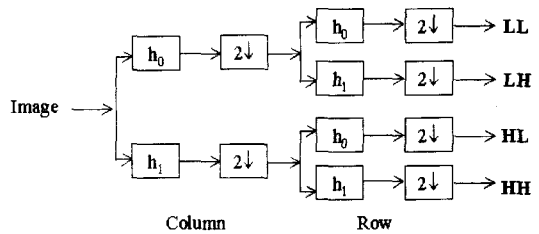


그림 1. 영상의 1-레벨 웨이블릿 분해과정
Fig. 1. 1-level wavelet decomposition process.

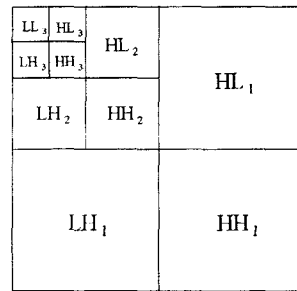


그림 2. 3-레벨 웨이블릿 분해
Fig. 2. 3-level wavelet decomposition.



그림 3. Lena 영상의 3-단계 웨이블릿 분해
Fig. 3. 3-level wavelet decomposition of Lena image.

영상과 같은 2차원 신호는 그림 1과 같이 행방향으로 웨이블릿 변환을 하고 다운 샘플링 한 후, 그 결과를 열 방향으로 한번 더 웨이블릿 변환을 수행하고 다시 다운 샘플링하여 변환하게 된다. 이를 통해서 서로 다른 단계의 다해상도 부대역 영상을 얻을 수 있다. 이때 LL 대역 영상은 원영상에 비하여 해상도가 반으로 줄어든 저주파 성분이고, LH, HL, HH 대역은 각각 수직, 수평, 대각 방향의 에지 성분을 가지는 고주파 성분이다. 또한 웨이블릿 변환은 저주파 성분인 LL 부대역을 그림 1과 같은 방법으로 다시 한번 웨이블릿 분해하고, 계속해서 LL 부대역에 대하여 필요한 수준으로 분해할 수 있는 다단계 분해가 가능하다. 그림 2는 원영상을 3-레벨 웨이블릿 변환하여 얻어진 부대역 영상을 나타내고, 그림 3은 Lena영상을 3-레벨 분해한 부대역 영상이다.

2. 워터마크의 생성

일반적으로 웨이블릿 변환을 거친 계수들은 가우시안 분포를 따르는 것으로 알려져 있다^[15,16]. 따라서 제안된 워터마킹 방법에서는 워터마크로서 삽입시 시각적으로 비가시성을 가지면서, 이진 워터마크보다 견고한 가우시안 랜덤 벡터를 사용한다. 가우시안 분포를 가지는 랜덤 벡터를 생성하기 위해서 식 (1)의 Box-Muller 변환을 사용하여 균등 분포(uniform distribution)를 가지는 랜덤 벡터 E_i 로부터 가우시안 분포를 가지는 X_i 를 생성하게 된다.

$$X_i = \sqrt{-2 \ln E_i} \cdot \cos(2\pi E_i + N) \quad (1)$$

이때 E_i 는 복사 방식을 위한 사용자 정보(예를 들면, 저자 정보, 문서, 영상등)이며, N 은 생성하고자 하는 워터마크의 수이다.

3. 워터마크 삽입 과정

초기의 워터마킹 방법들은 시각적으로 워터마크의 삽입 여부를 인식하지 못하도록 하기 위해서 시각적으로 보다 덜 중요한 부분에 워터마크를 삽입하였다. 그러나 시각적으로 중요하지 않는 부분에 삽입된 워터마크는 일반적인 압축방법이나 영상처리등으로 쉽게 제거될 수 있기 때문에 견고성을 위해서 시각적으로 중요한 부분에 워터마크를 삽입하게 되었다. 따라서 워터마크 삽입과정은 시각적으로 중요한 계수를 선택하는 과정이 포함되어야 한다. 물론 이때 삽입되는 워터마크

는 원영상의 화질저하를 가져오지 않는 범위 내에서 영상 전체에 고루 삽입될 수 있어야 다양한 공격에 견고한 워터마킹 방법이 될 수 있다.

제안된 방법에서 워터마크 삽입 과정은 원영상의 이산 웨이블릿 변환, 시각적으로 중요한 계수를 선택하기 위한 레벨 적응적 이치화, 워터마크 삽입, 역 이산 웨이블릿 변환으로 이루어져 있다. 워터마크 삽입의 전체적인 과정은 그림 4와 같다.

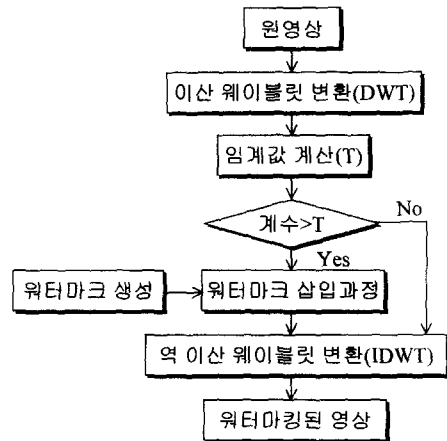


그림 4. 웨이블릿 변환을 이용한 워터마크 삽입과정
Fig. 4. Watermark insertion process using wavelet transform.

1) 원영상의 이산 웨이블릿 변환

워터마크 삽입을 위해서 먼저 원영상을 3-레벨 이산 웨이블릿 변환한다. 영상에 따라서 분해하는 레벨이 다를 수 있지만 제안한 방법에서는 3-레벨로 분해하였다. 원영상을 웨이블릿 분해하면 그림 2와 같이 LL₃, LH₃, HL₃, HH₃, LH₂, HL₂, HH₂, LH₁, HL₁, HH₁의 부대역으로 분해되고 다음 과정에서 분해된 각 부대역에 대해 레벨 적응적인 이치화를 통하여 시각적으로 중요한 웨이블릿 계수를 선택하게 된다.

2) 레벨 적응적 이치화

다해상도로 분해된 영상에 대하여 저주파 성분인 LL 대역과 고주파 성분인 나머지 부대역에 대하여 레벨 적응적 이치화를 통해 시각적으로 중요한 웨이블릿 계수를 선택한다. LL 부대역과 이를 제외한 나머지 부대역의 웨이블릿 계수들은 값의 차이가 크기 때문에 각각 나누어서 이치화를 하게 된다. 먼저 LL 부대역인 경우 LL 부대역 웨이블릿 계수 중 최대값 C_1 를 찾는

다. 최대값 C_i 에 대하여 식 (2)를 사용하여 임계값 T_i 을 계산한다. 나머지 부대역 LH, HL, HH에 대한 임계값 계산은 각각의 레벨 별로 계산을 한다. 즉, 3-레벨로 분해를 하였을 경우 1-레벨 부대역(LH₁, HL₁, HH₁)에 대해 최대값을 찾은 후, 식 (2)를 사용하여 임계값을 계산한다. 2-레벨, 3-레벨에 대해서도 1-레벨과 동일한 방법으로 최대값을 찾은 후, 식 (2)를 이용하여 T_2, T_3 을 각각 계산한다.

$$T_i = 2^{\lfloor \log_2 C_i \rfloor - 1} \quad (2)$$

식 (2)에서 i 는 웨이블릿 분해 레벨이고, $\lfloor X \rfloor$ 는 X 를 넘지 않는 가장 큰 정수이다.

각 부대역의 웨이블릿 계수 중에 값이 임계값 보다 크면 시각적으로 중요한 웨이블릿 계수이므로 다음 과정에서 워터마크를 삽입하게 된다.

3) 워터마크 삽입

레벨 적응적 이치화를 통해 선택된 웨이블릿 계수에 대하여 식 (3)을 사용하여 워터마크를 삽입한다. 식 (3)은 선택된 웨이블릿 계수의 값에 따라서 적응적으로 워터마크가 삽입될 수 있다. 즉, 계수의 값이 큰 경우는 보다 큰 값이 삽입되고 적은 경우는 작은 값이 삽입된다. 이렇게 워터마크를 삽입하는 이유는 일반적으로 큰 값은 작은 값에 비하여 더해지는 양에 덜 민감하기 때문이다.

$$V_i = V_i + \alpha V_i X_i \quad (3)$$

식 (3)에서 V_i 는 선택된 웨이블릿 계수이며, X_i 는 가우시안 분포를 가지는 랜덤 벡터이다.

제안된 방법에서는 식 (3)의 가중치 α 를 모든 부대역에 대하여 획일적인 값을 사용하지 않고, 웨이블릿 계수의 특성에 따라서 다양하게 결정하여 사용한다. LL 부대역 웨이블릿 계수들에 대하여 식 (3)을 그대로 적용할 경우 계수값의 크기가 너무 크기 때문에 워터마크된 영상의 심한 화질 저하를 가져오게 된다. 따라서 α 를 다른 부대역의 값보다 적게하여 워터마크를 삽입하고, 다른 부대역에서는 분해 레벨 별로 각각 α 값을 다르게 하여 워터마크를 삽입한다. 3-레벨로 분해하였을 경우, 웨이블릿 계수들은 레벨간 평균이 반으로 감소되기 때문에 α 값을 2의 배수로 증가시키면서 워터마크를 삽입한다. 이와 같은 다중 가중치를 사용하므로써

비가시성을 가지면서 동시에 견고하게 워터마크를 삽입할 수 있다. 본 논문에서는 LL 부대역에서는 α 값을 0.04로, 3-레벨은 0.1, 2-레벨은 0.2, 1-레벨은 0.4를 사용한다.

워터마크가 삽입된 각각의 부대역 계수와 워터마크가 삽입되지 않은 계수를 역 이산 웨이블릿 변환(IDWT)하여 워터마크된 영상을 생성한다.

4. 워터마크 검출 과정

제안된 방법에서는 원영상을 이용하여 워터마크를 검출하게 된다. 워터마크 검출과정은 삽입과정의 역과정이며 원영상과 워터마크된 영상의 웨이블릿 변환, 워터마크의 추출, 유사도 계산 과정으로 이루어진다. 전체적인 검출 과정은 그림 5와 같다.

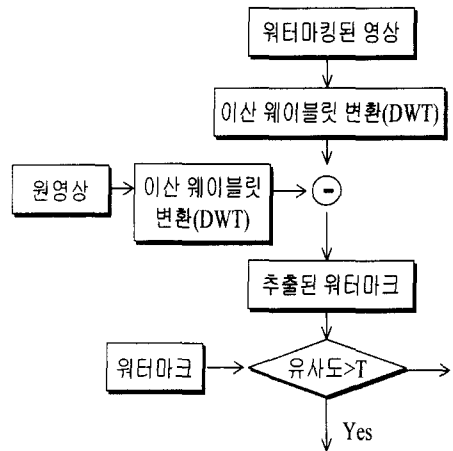


그림 5. 워터마크 검출 과정
Fig. 5. Watermark detection process.

1) 워터마크 추출

워터마크된 영상으로부터 워터마크를 추출하기 위해서 먼저 원영상과 워터마크된 영상에 대하여 이산 웨이블릿 변환을 수행한다. 이때 원영상과 워터마크된 영상은 워터마크 삽입시와 동일한 레벨로 분해를 해야 한다. 워터마크된 영상과 원영상의 차이가 워터마크이기 때문에 웨이블릿 변환을 거친 원영상과 워터마크된 영상의 부대역의 차를 구하며 다음 단계에서 추출된 워터마크와 원래의 워터마크 사이의 유사도를 계산한다.

2) 유사도 측정

워터마크의 존재 여부를 확인하기 위해서 원래의 워

터마크 벡터와 워터마킹된 영상으로부터 추출된 워터마크 벡터 사이의 유사도를 측정하게 된다. 두 벡터의 유사도를 측정하는 방법에는 벡터 투영을 계산하는 방법, 상관도(correlation)를 계산하는 방법, 비트 에러(bit error)를 구하는 방법 등이 있으나, 본 논문에서는 식 (4)의 벡터 투영(vector projection) 방법을 이용하여 유사도를 계산한다.

$$\text{Siml}(X, X^*) = \frac{X \cdot X^*}{\sqrt{X^* \cdot X^*}} \quad (4)$$

식 (4)에서 X 는 원래의 워터마크이고, X^* 는 워터마킹된 영상으로부터 추출된 워터마크이다.

식 (4)의 벡터투영 방법은 계산되는 벡터의 길이에 따라서 유사도의 값이 변한다. 즉 벡터의 길이가 크면 유사도의 값이 커지고, 벡터의 길이가 작으면 유사도의 값이 작아진다. 따라서 제안한 방법에서는 식 (4)를 이용하여 이를 정규화한 성능 지수 (5)를 함께 사용한다. 식 (5)는 공격에 대하여 살아남은 워터마크의 백분율(%)을 의미한다.

$$\text{Siml}(X, X^*) = \frac{X \cdot X^*}{\sqrt{X^* \cdot X^*}} / \frac{X \cdot X}{\sqrt{X \cdot X}} \times 100 \quad (5)$$

식 (5)에서 $\frac{X \cdot X}{\sqrt{X \cdot X}}$ 는 자기 유사도(self-similarity)를 나타낸다.

유사도는 워터마크의 삽입량에 따라서 선형적으로 증가 또는 감소해야 하고, 공격의 정도에 따라서 선형적으로 증가 또는 감소하는 성질을 지녀야 한다.

III. 실험 결과 및 성능 분석

제안된 워터마킹 방법은 쌍직교(biorthogonal) 이산 웨이블릿 변환을 사용하여 3-레벨 분해한 후 워터마크를 삽입하였고, 워터마크의 크기는 실험 영상에 따라서 시각적으로 중요한 계수의 수가 차이가 있지만 대략 1000개 가량이다. 실험 영상으로는 256×256 크기의 Lena 영상, Cameraman 영상, Baboons 영상, Airplane 영상에 대하여 성능을 평가하였다.

성능 평가 기준은 워터마크의 비가시도(invisibility)와 견고함(robustness)이다. 비가시성에 대한 성능 평가 지수는 워터마크를 삽입한 후 계산된 PSNR을 사용하고, 견고함에 대한 성능 평가 지수는 식 (4)와 (5)를 사

용하여 계산된 유사도이다. 비가시도에서는 먼저 시각적으로 워터마크의 삽입 여부를 알 수 없어야 하고, 워터마크 삽입 후에도 원영상에 대한 변형이나 왜곡이 없어야 한다. 견고성을 확인하기 위해서 워터마킹된 영상은 영상처리(image processing), 압축(compression), 기하학적인 변환(geometric transformation), 잡음 첨가(noise addition) 등 다양한 공격에 대하여 견고함을 보여야 한다.

다른 워터마킹 알고리즘과 성능을 비교하기 위해서 Cox등이 제안한 방법, Cox 등의 방법에 웨이블릿 변환을 이용하여 확장한 방법, Xia등이 제안한 방법과 비교하여 성능을 평가하였다.

1. 비가시성

그림 6과 8은 각각 Lena, Baboons 원영상이고, 그림 7과 9는 제안한 알고리즘을 사용하여 워터마킹된 영상이다. 그림에서 볼 수 있듯이 제안한 워터마킹 방법을 사용하여 워터마크를 삽입하였을 경우, 시각적으로 워터마크의 삽입 여부를 구분하기 어렵다.



그림 6. Lena 원영상

Fig. 6. Original Lena image.

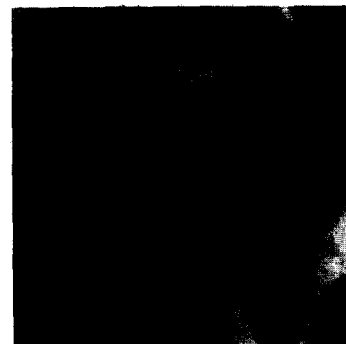


그림 7. 워터마킹된 Lena 영상

Fig. 7. Watermarked Lean image.

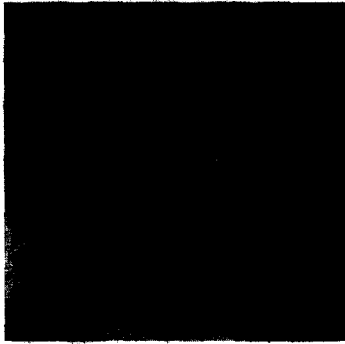


그림 8. Baboons 원영상
Fig. 8. Original Baboons image.



그림 9. 워터마킹된 Baboons 영상
Fig. 9. Watermarked Baboons image.

워터마크 삽입 후 원영상의 화질 왜곡의 정도를 살펴보기 위해서 PSNR을 계산하였다. 표 1은 모든 실험 영상에 대해 제안된 알고리즘으로 워터마크를 삽입한 후, 계산된 PSNR이다. 표 1에서 알 수 있듯이 제안된 방법으로 워터마크를 삽입하여도 영상의 화질 저하는 거의 없는 것을 알 수 있다.

표 1. 워터마킹된 영상들의 PSNR
Table 1. PSNR of watermarked images.

영상	Lena	Cameraman	Baboons	Airplane
PSNR	52.46	47.74	49.88	53.37

2. 견고성

제안된 워터마킹 알고리즘의 견고성을 평가하기 위해서 워터마킹된 영상에 대하여 영상처리(image processing), 영상 압축(image compression), 기하학적인 변환(geometric transformation), 잡음 첨가(noise addition)의 공격에 대하여 견고함을 확인하였다.

■ 영상처리(image processing)

영상 처리에 대한 견고함을 확인하기 위해서 워터마킹된 영상에 대하여 averaging을 수행하였다. 그림 10은 마스크의 크기를 3×3, 5×5, 7×7, 9×9로 다양하게 변형하여 averaging한 후 식 (5)를 사용하여 유사도를 계산한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 9×9의 마스크를 제외한 나머지 크기에서는 50%이상의 워터마크가 살아 있음을 볼 수 있다.

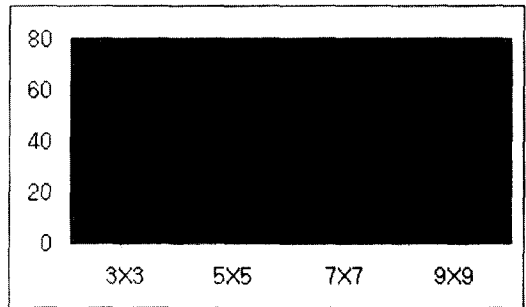


그림 10. 마스크 크기에 따른 성능
Fig. 10. Performance as a function of mask size.

■ 영상 압축(image compression)

영상 압축에 대한 견고함을 확인하기 위해서 워터마킹된 영상에 대하여 JPEG압축과 웨이블릿 압축을 하였다. 웨이블릿 압축은 Shapiro의 EZW(Embedded Zerotree Wavelet)방법을 적용하여 32:1(0.25bpp)로 압축하였다. 그림 11은 JPEG압축에서 다양한 압축율에 대하여 식 (5)를 사용하여 유사도를 계산한 결과이다. 결과에서 보는 바와 같이 32:1로 압축을 하여도 60%이상의 워터마크가 검출됨을 알 수 있다.

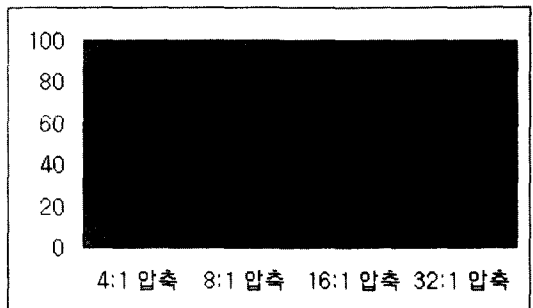


그림 11. 압축율에 따른 성능
Fig. 11. Performance as a function of compression ratio.

■ 기하학적인 변환(geometric transformation)

기하학적인 변환에 대한 성능을 평가하기 위해서는 center cropping을 실시하였다. 다른 기하학적인 변환(예를 들면, 회전, 이동, 스케일링)보다 cropping이 보다 공격으로서의 의미를 지니기 때문이다. 제안된 방법은 워터마킹된 영상을 1/2 크기로 center cropping을 하여도 워터마크를 모든 부대역에 고루 삽입하였기 때문에 40% 이상의 워터마크가 검출됨을 확인할 수 있었다.

■ 잡음 첨가(noise addition)

잡음은 압축과 함께 중요한 공격 중에 하나이다. 네트워킹을 통해서 워터마킹된 영상이 전송될 경우 다양한 잡음이 발생할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 가우시안 화이트 잡음(gaussian white noise)과 salt&pepper 잡음에 대하여 실험을 하였다. 워터마킹된 영상에 가우시안 잡음을 첨가하여 워터마크를 검출한 결과 70~80%의 워터마크를 검출할 수 있었다. 또한 salt&pepper 잡음에 대해서도 50% 이상의 검출율을 보였다.

표 2는 여러 가지 영상에 대하여 6가지의 공격에 대한 견고함을 확인한 종합적인 결과이다. 표에서 값은 식 (5)에 의해서 계산된 유사도이다. 보는 바와 같이 제안된 워터마킹 방법은 실험한 모든 영상에 대하여 유사한 성능을 보이고 있다.

표 2. 워터마킹된 영상들의 PSNR
Table 2. PSNR of watermarked images.

영상	Lena	Cameraman	Baboons	Airplane
averaging	68	73	68	75
JPEG 압축	68	66	62	64
wavelet 압축	79	73	71	76
center cropping	52	54	52	56
가우시안 잡음	73	81	71	70
salt&pepper 잡음	50	48	48	51

3. 기존의 알고리즘과 성능 비교

기존의 워터마킹 방법과의 성능을 비교하기 위해 제안된 워터마킹 알고리즘을 Cox등이 제안한 방법, Cox 등의 방법에 웨이블릿 변환을 이용하여 확장한 방법, 웨이블릿 변환을 이용한 Xia등의 방법과 비교하였다. Cox등이 제안한 방법은 원영상을 DCT 변환하여 계수

의 값이 가장 큰 1000개를 선택하여 식 (3)과 같이 워터마크를 삽입하였고 이때 α 값은 0.1로 하였다. 웨이블릿 변환을 이용한 Cox등의 방법 또한 웨이블릿 변환하여 시각적으로 중요한 계수를 선택하기 위해서 웨이블릿 계수중 값이 가장 큰 1000개를 선택하여 식 (3)과 같이 워터마크를 삽입하였다. Xia등의 방법은 원영상을 웨이블릿 변환하여 LL 부대역을 제외한 6개의 부대역에 식 (3)을 사용하여 워터마크를 삽입하였다. 표 3은 Lena영상에 대하여 제안한 방법과 다른 워터마킹 알고리즘을 사용하여 워터마크를 삽입한 후 계산된 PSNR이다.

표 3. 성능 비교(비가시성)
Table 3. Performance comparison(invisibility).

	Cox등의 방법 I	Cox등의 방법 II	Xia등의 방법	제안한 방법
PSNR	51.36	42.43	50.12	52.46

Cox등의 방법II에서 웨이블릿 계수중 값이 큰 1000개를 선택하였을 경우 대부분 LL 부대역의 값이 선택되고 식 (3)에서 α 값을 0.1로 하여 워터마크를 삽입할 경우 성능은 제안된 알고리즘과 비슷하나 10dB 정도의 화질 저하를 가져오게 된다. 또한 Xia등이 제안한 방법은 LL 부대역에 워터마크를 삽입하지 않았기 때문에 JPEG압축과 wavelet 압축에 대해서도 제안한 방법보다 견고하지 못하다는 것을 확인할 수 있다.

그림 12는 비교한 다른 워터마킹 방법과 제안된 방법을 사용하여 Lena 영상에 워터마킹하여 다양한 공격을 가한 후, 식 (4)를 이용하여 유사도를 계산한 결과이다.

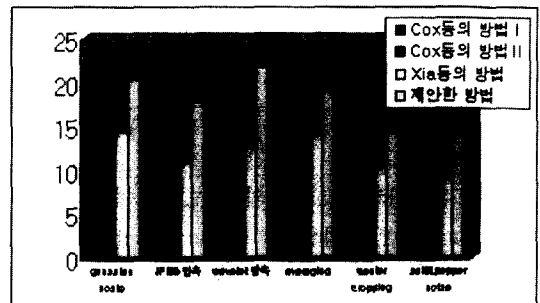


그림 12. 성능 비교(견고성)
Fig. 12. Performance comparison(robustness).

- [10] D. Kundur, D. Hatzinakos, "Digital Watermarking Using Multiresolution Wavelet Decomposition," Proc. of IEEE International Conference on Acoustics, Speech & Signal Processing, pp. 1647-1650, 1998.
- [11] D. Kundur, D. Hatzinakos, "Digital Watermarking Based on Multiresolution Wavelet Data Fusion," IEEE Int. Conf. on Image Processing, vol. 1, pp. 544-547, 1997.
- [12] S. Mallat, "Multi-Frequency Channel Decomposition of Images Wavelets Models," IEEE Trans. on Acoustic Speech and Signal Processing, vol. 37, no. 10, pp. 2091-2110, 1990.
- [13] M. Antonini, M. Barlaud, "Image Coding Using Wavelet Transform," IEEE Trans. on Image Processing, vol. 1, No. 2, pp. 205-220, 1992.
- [14] M. Vetterli and J. Kovacevic, Wavelets and Subband Coding, prentice hall, 1995.
- [15] A. B. Watson, G. Y. Yang, J. A. Solomon, and Villasenor, "Visibility of Wavelet Quantization Noise," IEEE Trans. on Image Processing, vol. 6, no. 8, pp. 1164-1175, 1997.
- [16] S. Mallat, S. Zhong, "Characterization of Signals from Multiscale Edges," IEEE Trans. on PAMI, vol. 14, no. 7, pp. 674-693, 1992.

 저 자 소 개



金 鐘 烈(正會員)

1997년 2월 한양대학교 전자계산학과 졸업(공학사). 1999년 2월 한양대학교 대학원 전자계산학과 졸업(공학석사). 1999년 3월~현재 한양대학교 대학원 전자계산학과 박사과정. 주관심 분야는 영상처리, 컴퓨터 비전, 멀티미디어 정보보호 등



文 泳 植(正會員)

1980년 2월 서울대학교 공과대학 전자공학과 졸업(학사). 1982년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1990년 University of California at Irvine Dept. of electrical and Computer Engr.(박사). 1982년~1985년 한국전자통신연구소 연구원. 1989년~1990 Inno Vision Medical 선임연구원. 1990년~1992년 생산기술연구원 선임연구원. 1992년~현재 한양대학교 전자계산학과 부교수 주관심 분야는 영상처리, 컴퓨터 비전, 패턴인식 등