

論文2001-38CI-5-7

## 주파수 기반 워터마킹 기법의 성능 비교

## Performance Comparison of Frequency-Based Watermarking Methods)

林 旻 辰 \* , 崔 太 永 \*

(Kyoung Jin Yim and Tae Young Choi)

## 요 약

본 논문에서는 디지털 영상 데이터의 불법 복사에 대해 저작권 보호를 위한 주파수 영역 기반 디지털 워터마킹 방법에 대해 비교 평가한다. 웨이블릿 변환, 이산 여현 변환, 블록 기반 이산 여현 변환을 이용하여 영상을 각각의 주파수 영역으로 변환하고, 동일한 워터마크 신호에 대해 견고함을 측정한다. 실험 결과 동일한 워터마크 삽입시 전체적으로 이산 여현 변환 기반의 워터마킹 방법이 웨이블릿 변환 기반의 워터마킹 방법보다 더 견고함을 보였다. 특히, JPEG 손실압축과 샤프닝에서는 8×8 블록 기반 이산 여현 변환이, 저역 필터링과 크기변화에서는 이산 여현 변환이 상대적으로 견고함을 보였다. 또한 블록 기반 이산 여현 변환 기반 방식에서 블록 크기가 커질수록 일반적인 영상처리에 대해 견고함이 떨어졌다.

## Abstract

In this paper, performance of frequency-based watermarking methods is compared, which are used to protect copyright of image data. For performance comparison of each transform method, a test image is transformed into frequency domain by a full- and block-discrete cosine transforms and wavelet transform, and after general image processing, robustness of each transform is evaluated with using the same watermark signals. Simulation results show that the watermarking method based on DCTs are more robust than WT. Especially, 8x8 BDCT is most robust for JPEG lossy compression and sharpening, while 8x8 FDCT is best for smoothing and scaling. In addition, watermarking based on BDCT shows decreasing robustness for a larger block size, compared with general image processing.

## I. 서 론

최근 인터넷 등과 같은 디지털 통신망의 급속한 발전과 영상 처리 기술의 향상으로 디지털 데이터의 불법 복제, 배포 및 변형이 용이해져 가고 있어, 이와 같은 불법적인 데이터 사용에 대해 디지털 데이터의 저

작권을 보호 할 수 있는 안정적인 기술이 필요하게 되었다.

지금까지의 연구되거나 사용되고 있는 저작권 보호 방법은 크게 암호화에 의한 방법과 워터마킹 기술을 사용한 방법이 사용되어 왔다. 첫 번째로 제시된 암호화 방법은 영상 데이터를 직접 암호화하여 임의의 사용자에게 대해 영상의 접근을 제어하는 구조로, 암호화된 상태로 영상을 전송 및 저장하는 방법이다. 그러나 이 방법은 영상의 사용 권한을 가진 임의의 사용자에게 의해 암호화가 풀리게 되며, 일단 암호화가 풀린 영상은 접근이 허가된 사용자에게 의해서 불법적으로 복사되고

\* 正會員, 亞洲大學校 電子工學部

(Division of Electronics Engineering, Ajou University)

接受日字:2000年1月3日, 수정완료일:2001年6月13日

전송될 수 있다. 이와 같이 허가된 사용자에게 의해 불법 배포됐을 경우, 어떤 사용자가 불법적으로 영상을 배포, 사용했는지 판별하는 것은 사실상 불가능하다. 게다가 인터넷상의 월드 와이드 웹 브라우저로 JPEG 손실 압축과 같은 방식으로 인코딩된 영상을 표시하기 위해 사용하는 경우에는 암호화를 통한 접근 제어가 불가능하여, 그와 같은 데이터는 복제에 대한 제약에서 자유롭게 된다. 두 번째 제시된 방법은 암호화가 풀린 상태의 멀티미디어 영상 데이터에서도 저작권을 보호할 수 있게 영상 자체에 사인이나 소유권 정보를 임의의 사용자가 구분할 수 없게 삽입하는 방법인 워터마킹 방법이다. 워터마킹 방법은 소유권에 대한 특별한 정보를 콘텐츠(content)에 삽입하여 저작권을 보호하는 기술로서 감각적으로 잘 식별되지 않는 정보를 콘텐츠에 삽입하여 소유권과 저작권을 보호하는 기술이다. 소유권자와 저작권자의 동의 없이 저작물의 불법 복제, 배포 및 변형시에도 저작자의 소유 권한을 확인할 수 있도록 하는 기술로 소유권과 관련된 문제 발생시 이를 해결하는 멀티미디어 데이터 보호 시스템으로 디지털 멀티미디어 데이터 저장 장치의 복사 방지를 위한 시스템에 적용될 수 있는 연구가 필요하다<sup>[1]</sup>.

기존의 영상 워터마킹 기술은 지폐와 같은 곳에 인간의 시각으로는 보이나 복제할 수 없는 임의의 표시를 삽입하는 기술을 의미하고 있지만, 최근에는 시각적으로 볼 수 없고, 복제시 삽입된 표시도 같이 복제가 이루어져 추후 저작권 확인을 위해 사용되는 기술을 의미하고 있다.

연구되어져 온 워터마킹 기술의 특징은 기본적으로 가시성, 견고성, 명확성, 보안성, 보편성의 특징을 가지는 알고리즘 구현에 목적을 두고, 이 구현 목적에 따라 여러 가지 특징을 가지고 있고<sup>[2]</sup>, 목적에 따라 영상의 왜곡에 따른 가시적인 측면과 삽입된 워터마크 신호열의 견고성과 명확성, 임의의 사용자에게 의해 워터마크 신호가 발견되지 않을 보안성, 음성, 동영상, 정지 영상에 보편적으로 사용할 수 있는 보편성과 같은 특징을 가지는 워터마킹 방법의 구현에 대해 고려해야 한다.

위의 특징을 갖는 영상의 워터마킹 방법은 크게 공간적 영역에서 워터마크를 삽입하는 방법과 주파수 영역에서 신호를 삽입하는 방법으로 나눌 수 있다. 공간적 영역에서 워터마킹 방법으로 Bender등에 의해 제시된 "Patchwork" 라고 불리는 확률적인 라벨링 방법<sup>[3]</sup>, Pitas에 의해 제시된 영상을 크기가 같은 두 집합으로

나누고 한 집합의 화소 값들을 일정한 상수만큼씩 일정하게 더한 후 집합의 평균차를 이용하여 검출하는 방법<sup>[4]</sup>, 랜덤 신호를 임의의 위치의 화소 값에 삽입하는 방법<sup>[5]</sup> 등이 제시되었다. 이러한 공간영역에서 워터마킹하는 방법은 공간영역에서 임의의 위치나 전체 영역을 대상으로 직접적으로 워터마크 신호열을 더하는 방법이므로, 워터마크 신호열을 빠르게 삽입 및 추출할 수 있는 장점을 가지고 있다. 하지만, 이러한 방법들은 삽입 알고리즘에 의해 워터마크 신호를 영상의 공간적인 값에 더한 효과를 나타내므로 영상 왜곡에 직접적으로 영향을 주게 되어 결과적으로 영상의 가시적인 면에서 품질을 보증할 수 없게 된다. 가시적인 면을 고려하고 영상의 왜곡을 최소화하기 위해 워터마크 신호가 공간적 영역에서 화소 값의 LSB 영역에 삽입되게 되는데, 이와 같은 방법은 임의의 사용자가 워터마크 신호열을 쉽게 찾아내지는 못해도, 쉽게 지울 수가 있게 된다. 그리고 잡음에 직접적으로 영향을 받게 되어 잡음 등에 약하고, 영상 왜곡을 최소화하기 위해 화소 값의 LSB 영역에 신호가 삽입될 지라도 영상의 전반적인 특성을 잘 고려하지 못해 시각적인 품질을 보장할 수 없는 단점이 있다. 또한 JPEG 손실 압축과 같은 영상처리에 매우 약하다. JPEG 손실 압축에 강한 새로운 워터마킹 방법이 제안되었는데<sup>[6]</sup>, 워터마크를 이산 여현 변환시 발생 할 수 있는 고주파 성분이 감소하도록 워터마크의 내장 위치와 크기를 결정하여 삽입하였다. 그러나 이 방법 또한 영상의 전체적인 특성을 고려하지 않기 때문에 워터마크가 보일 수 있는 문제점을 가지고 있다. 그리고 일반적으로 주파수 영역 기반 변환 방식이 공간적 영역 기반 방식에 비해 효율적인 것으로 알려져 있다<sup>[7]</sup>.

주파수 영역을 기반으로 하는 워터마킹 방법으로 영상의 전체 영역을 이산 여현 변환하는 방법을 이용하여 영상에서 DC성분을 제외한 영역에서 에너지 크기 값에 비례하는 랜덤 잡음을 워터마크 신호로 임의의 개수만큼 삽입하는 방법이 Cox에 의해 제안되었다<sup>[7]</sup>. 이 방법은 원 영상과의 차 영상에서 신호열을 추출한 후 상관 관계를 구해서 워터마크의 존재여부를 구하는데, 영상의 크기 변화, 잡음, 손실 JPEG 손실 압축 등에 강한 특성을 보인다. 블록 기반 이산 여현 변환을 기반으로 하는 방법으로는 중간 대역에 특별한 정보를 삽입하는 방법<sup>[8]</sup>, LUT(look-up table)을 사용하여 이진 값의 정보를 삽입하는 방법<sup>[9]</sup>이 제시되었다. 이러한 블

록 기반 이산 여현 변환 기반 방법들은 JPEG 손실 압축 알고리즘에 기반을 두고 손실 압축에서 견고함을 갖게 하는데 목적을 두고 있다. 또, Watson의 인간의 시각 시스템 모델(HVS)을 사용하여 주파수 영역에서의 계수 값에 대해 JND(Just Noticeable Difference) 값을 구한 후, 그 값을 기준으로 워터마크 삽입 여부를 결정하여 JND를 곱한 값을 워터마크 신호로 삽입하는 방법도 제시되었다<sup>[10]</sup>. 이 방법은 블록 기반 이산 여현 변환, 웨이블릿 변환 기반으로 하여 비교되었다. 웨이블릿 변환을 기반으로 하는 방법에는 제일 낮은 저주파 영역을 제외한 모든 고주파 영역에 각 대역별로 길이가 서로 다른 워터마크 신호를 삽입하는 방법<sup>[11,12]</sup>와 HVS를 고려하여 스케일링 상수를 계산한 후 큰 값의 계수에 계산된 상수 값을 곱하여 삽입하는 방법<sup>[13]</sup> 등 시각적 특성을 고려한 다양한 주파수 기반 워터마크 방법들이 연구되어 왔다.

하지만, 이러한 방법들은 계수 값의 크기에 따라 서로 다른 가중치를 곱한 랜덤 잡음을 워터마크 신호로 삽입하는 방식으로 영상의 지역적 또는 전체적인 특성이나 변환방식에 따라 서로 다른 에너지 분포를 갖는 워터마크 신호가 삽입되기 때문에 각 변환별 객관적인 성능 평가가 어려웠다. 즉, 주파수 영역 기반 워터마크 방법의 보다 객관적인 평가를 위해서는 영상의 특징에 의존하지 않는 동일한 워터마크 신호 삽입이 필요하다.

본 논문에서는 주파수 기반 워터마크 방법의 객관적 성능평가를 위해 서로 다른 3가지 unitary 변환(이산 여현 변환, 블록 기반 이산 여현 변환, 웨이블릿 변환) 방식을 이용하여 주파수 영역으로 변환하고 동일한 워터마크 신호를 삽입한 방법에 대해 다양한 영상처리(JPEG 손실 압축, 저역 필터링, 샤프닝, 크기변화)를 통해 성능을 비교, 평가해 본다.

2장에서는 사용된 unitary 변환의 특징과 주파수 기반 방식에 사용되는 각각의 변환 방식과 특징을 알아본다. 3장에서는 영상의 주파수 기반 워터마크 알고리즘에 대해 알아보고, unitary 변환 된 후에 주파수 영역에서 삽입되는 워터마크 신호의 삽입 방법 및 추출 방법에 대해 알아본다. 4장에서는 실험결과를 제시하고, 5장에서는 실험 결과에 따른 비교, 평가에 대한 결론을 맺는다.

## II. 주파수 변환

주파수 변환 방식을 사용하는 주파수 기반 워터마크

방법을 좀 더 이해하기 위해, 확장 스펙트럼 통신<sup>[17]</sup>의 예를 들어 주파수 기반 워터마크 방법을 설명 할 수 있다. 넓은 주파수 대역을 가지는 채널에서 임펄스 신호와 같은 협대역 신호가 삽입되게 되면, 이 신호의 에너지는 협대역 또는 하나의 주파수 영역에 작은 에너지가 존재하는데, 이럴 경우 영상에서는 이러한 작은 에너지의 삽입으로 인해 시각적인 영향을 거의 주지 않고, 넓은 주파수 대역에서 이 작은 신호를 찾아 낼 수 없다. 주파수 기반 워터마크 방법도 이와 같은 방법으로 작은 에너지를 갖는 워터마크 신호열을 주파수 영역의 곳곳에 삽입하는 방법이다.

이와 같은 방법으로 변환 영역에서 워터마크 신호열을 삽입할 때 고려되어야 할 중요한 요소인 어느 곳에, 어떤 삽입 알고리즘을 사용하는지에 따라 워터마크 신호열의 영상에 대한 시각적인 왜곡(가시성)과 견고함을 결정 짓게 된다. 일반적인 영상 신호 처리 방법은 시각적인 측면을 고려하여 불필요한 부분이 제거된다. 즉, 영상의 공간적인 위치나 또는 영상의 스펙트럼에서 시각적으로 중요하지 않은 영역이 제거되기 때문에 이러한 위치에는 워터마크 신호열이 삽입 될 경우 견고함을 가지지 못한다. 예를 들면, 워터마크 신호열이 고주파 영역을 위주로 삽입되었을 때, 평균 여파기를 통과 시키면 영상의 시각적인 감쇠 현상을 줄이면서 워터마크 신호열이 제거 될 수 있다. 이와 같이 동일한 워터마크 신호열을 사용할지라도 삽입 대역에 따라 견고함에 많은 영향을 줄 수 있다.

지금까지 많은 워터마크 방법들이 제안되었지만, 기본적인 워터마크 삽입 및 추출 구조는 그림 1, 2와 같은 형태로 나타난다. 기본적인 워터마크 방법은 임의의 대상 영상 데이터에 시각적인 왜곡을 많이 주지 않고, 보안성이 있는 워터마크 신호열을 더하여 영상을 왜곡시키는 목적을 가지고, 보안성을 위한 워터마크 신호열에 대한 암호화 함수, 견고함을 가지게 하기 위한 신호열의 삽입 및 추출 함수, 추출된 워터마크 신호열에 대해 소유권을 확인하는 함수에 의해 구성된다<sup>[18]</sup>. 이 구조에서 워터마크 신호열의 삽입 및 추출 방법에서 사용되는 영상의 주파수 기반 워터마크 알고리즘은 이미 여러 가지 방법이 제안되었고, 사용되는 변환도 여러 가지 특징과 종류가 있지만, 본 논문에서 동일한 삽입 및 추출 알고리즘을 이용하여, 주파수 영역으로의 변환에 사용하고 있는 unitary 변환의 특성을 살펴보고, 영상의 상관관계를 제거하기 위해 사용되는 변환 중 이

산 여현 변환, 웨이블릿 변환의 변환 방식에 대해 알아본다.

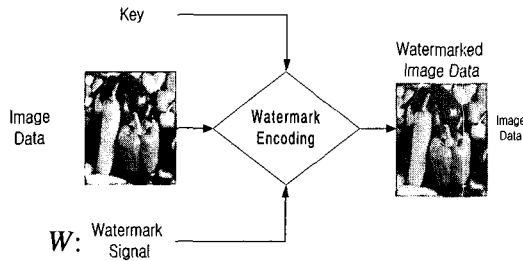


그림 1. 일반적인 워터마크 삽입 구조  
Fig. 1. Generic digital watermarking scheme.

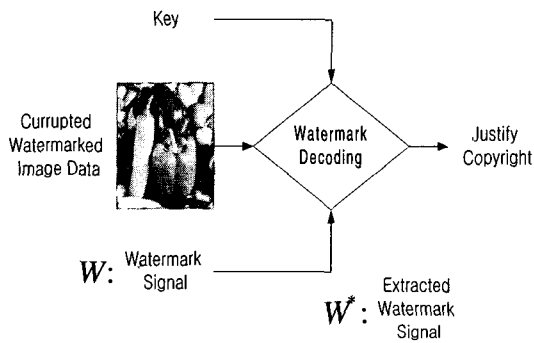


그림 2. 일반적인 워터마크 추출 구조  
Fig. 2. Generic watermark recovery scheme.

### 1. Unitary 변환

주어진 입력 신호  $x$ (길이가  $M$ 인 벡터)를 unitary 변환한 결과 값을  $y$ 라고 하면, 다음 수식과 같이 표현된다. 수식의 간단하게 표현하기 위해 이번 절에서 굵은 글씨를 사용하여 벡터 열을 표시한다.

$$\mathbf{y} = \Omega(\mathbf{x}) \quad (1)$$

여기서  $\Omega(\cdot)$ 는 unitary 변환이다.

변환 영역에서  $N(0, \sigma^2)$ 인 임의의 랜덤 잡음  $g$ 를 부과하면 그 결과 값은  $\hat{y}$ 으로 나타난다.

$$\hat{\mathbf{y}} = \mathbf{y} + \mathbf{g} \quad (2)$$

랜덤 잡음이 부과된  $\hat{y}$ 을 역 변환하여 재구성하였을 때, 그 결과 값을  $\hat{x}$ 이라고 하면, 결과 값은 다음과 같다.

$$\hat{\mathbf{x}} = \Omega^{-1}(\hat{\mathbf{y}}) \quad (3)$$

이때 unitary 변환의 특징인 입력 함수의 에너지는 변환된 주파수 영역에서 계수의 에너지와 같다는 성질을 갖는다. 이 특징에 의해 복원된 신호  $\hat{x}$ 와 원 신호  $x$ 의 차인 잡음의 에너지는 변환 영역에서 부과된 잡음  $g$ 의 에너지와 동일하다. 즉, 변환에 의한 에너지 손실이 발생하지 않게 된다.

$$\|\hat{\mathbf{x}} - \mathbf{x}\|^2 = \|\hat{\mathbf{y}} - \mathbf{y}\|^2 = \|\mathbf{g}\|^2 \quad (4)$$

### 2. 주파수 변환

주파수 기반 워터마킹 방법에서 사용하는 변환은 여러 가지가 있지만, 이산 여현 변환, 블록 기반 이산 여현 변환, 웨이블릿 변환을 기본적으로 사용하고 있고, 최근에는 웨이블릿 변환을 기본으로 하는 방법이 많이 제안되고 있다. 이러한 변환은 동일한 넓은 대역을 가지는 영상을 각각의 변환 특성에 따라 영상을 주파수 영역으로 변환한다.

지금까지 영상의 상관관계를 제거하기 위해 사용되는 이산 여현 변환은 변환의 특성과 여러 가지 장점 때문에 공간적 블록화를 통한 변환이 영상의 압축 표준으로 사용된다. 이론적으로 이산 여현 변환은 영상의 상관성 제거(de-correlation)에 좋은 결과를 제공하는 변환인 KLT(Karhunen-Loeve Transform)의 최적화된 결과에 매우 근사한 결과를 갖는다<sup>[4]</sup>. KLT는 unitary 변환 중 에너지 밀집도(compaction)면에서 최적화 되어 있지만, 입력 신호에 대한 의존성 때문에, 결과 값의 계산과 구현이 복잡해진다. DCT는 이러한 단점을 가진 KLT에 근접한 결과를 가지며, 입력 신호에 독립되어 있고, 선형 위상(linear phase)을 가지고, 실수의 계수 값을 가진다. 그리고, 빠른 처리를 위한 알고리즘이 있다. 위와 같은 특징을 가질 수 있어 이산 여현 변환은 실제적인 구성 및 설계 시 좋은 결과를 기대할 수 있어 현재까지 국제적인 영상압축 표준으로 사용되고 있고<sup>[15]</sup>, 주파수 기반 워터마킹 방법에서 이러한 부호화 방법과 같은 변환을 이용함으로써 워터마크 삽입 및 추출을 위해 변환 필터를 재 설계의 필요성이 없는 장점을 가지게 된다. 그래서 지금까지 영상을 공간적인 블록으로 나누어 사용하는 블록 기반 이산 여현 변환이 많이 연구되어져 왔다.

이산 여현 변환과 블록 기반 이산 여현 변환에 사용되는 unitary 변환은 다음과 같이 표현된다.

$$\Phi(r, n) = \Phi_r(n) = \frac{1}{c_r} \cos \frac{(2n+1)r\pi}{2N}, \quad 0 \leq n, r \leq N-1 \quad (5)$$

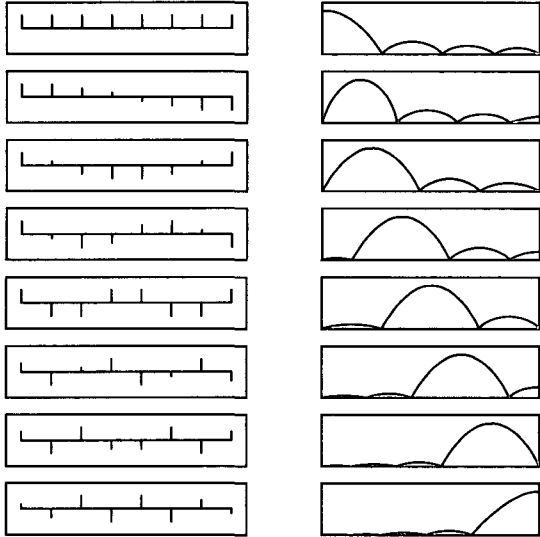


그림 3. N=8에 대한 시간영역의 계수값과 주파수 영역에서 변환 특성  
Fig. 3. Discrete cosine transform bases in time and frequency domains for N = 8.

$$c_r = \begin{cases} \sqrt{N}, & r=0 \\ \sqrt{N/2}, & r \neq 0 \end{cases}$$

그리고,

$$\Phi = (\Phi(r, n)), \quad \Phi^{-1} = \Phi^T \quad (6)$$

식 (5), (6)은 입력 신호의 이산 여현 변환과 블록 기반 이산 여현의 기본 수식으로 사용되고, 행렬의 unitary한 특성을 보여주고 있다. 여기서 N은 변환을 위한 입력 영상의 범위를 나타내는 것으로 이산 여현 변환에서 입력 영상의 가로 및 세로 크기를 의미하고, 블록 기반 이산 여현 변환에서는 공간적인 블록으로서 각각의 공간 블록의 크기를 의미한다.(그림 3. 8×8 블록 기반 이산 여현 변환의 계수 특성)

시간과 주파수 영역에서 국부성(locality)을 가지는 웨이블릿 변환은 좋은 에너지 밀집도와 빠른 처리 알고리즘 등의 장점을 가지고 JPEG 2000의 변환 방식의 한 부분으로 채택되었다<sup>[24]</sup>. 이 웨이블릿 변환 방식은 하나의 고정된 함수인 모 웨이블릿(mother wavelet)의

천이와 스케일링을 이용하여 생성된 기저함수  $\psi_{a,b}(t)$ 을 사용하여 표현하는데, 다음 식 (7)과 같이 나타낸다. a는 스케일링을 나타내는 양의 실수, b는 시간 천이를 나타내는 실수이다.

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (7)$$

$$a \in R^+, \quad b \in R$$

식 (8)은 입력 신호  $x(t)$ 에 대한 시 연속 웨이블릿 변환을 보여주고 있다<sup>[16]</sup>.

$$X(a, b) = \frac{1}{a} \int_{-\infty}^{\infty} \psi_{a,b}(t)x(t)dt \quad (8)$$

여기서  $j, k, l \in Z$ 이다.

위의 수식을 사용하여 입력 영상의 대역을 나누게 되는데, 기본적인 직교 웨이블릿 변환은 2 채널 PR(perfect reconstruction) 필터 뱅크의 반복 구조를 사용하여 구성하게 된다(그림 4, 5).

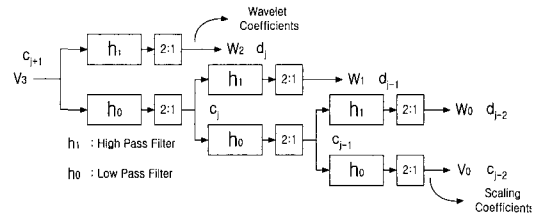


그림 4. 2채널 3레벨 분해 필터 뱅크  
Fig. 4. 2-channel, 3-level analysis filter bank.

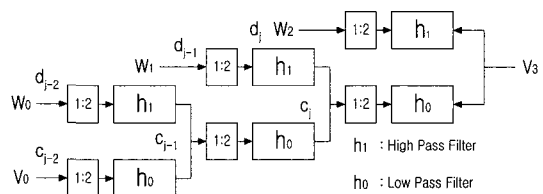


그림 5. 2채널 3레벨 합성 필터 뱅크  
Fig. 5. 2-channel, 3-level synthesis filter bank.

### III. 워터마크 삽입 및 추출

영상에서 중요한 부분에 워터마크 신호열을 삽입하는데, 이 중요도에 대한 판단은 점진적인 영상 전송 구조에서의 MSE(mean square error)를 사용하여 설명할 수 있다<sup>[19]</sup>. MSE는 계수의 제곱 값을 영상의 화소수로

나는 값에 따라 감소한다. 즉 변환 영역에서 큰 계수는 큰 정보량을 갖는다. 따라서 워터마크 신호열을 삽입하기 위해서는 위와 같이 큰 정보량을 가지는 계수 값의 순서에 의해 임의의 개수만큼 삽입되어야 일반적으로 임의의 영상 변형에 대해 쉽게 제거되지 않는다. 그리고 선택된 변환 영역에서의 임의의 계수에 워터마크 신호열을 삽입하는 수식은 다음과 같은 수식을 사용하고 있다<sup>[7]</sup>.

$$v_i' = v_i + \alpha w_i \quad (9)$$

$$v_i' = v_i(1 + \alpha w_i) \quad (10)$$

$$v_i' = v_i(e^{\alpha w_i}) \quad (11)$$

여기서  $v_i$ 는 주파수 영역에서 워터마크가 삽입되기 위해 선택된 계수이고,  $w_i$ 는 삽입될 워터마크 신호 집합  $W$ 에서  $i$ 에 대한 신호 값이고,  $v_i'$ 은 워터마크가 삽입된 신호 값이다. 그리고  $\alpha$ 는 스케일링 상수이다. 앞의 식 (9)은  $v_i$  값에 상관없이 항상 복원 가능하고, 식 (10), (11)은  $v_i \neq 0$ 이면 복원 가능하다. 식 (9)의 경우  $v_i$ 가 매우 큰 값일 경우 적당하지 않다. 수 (10), (11)은 워터마크 에너지가 변화된 후 삽입된다. 즉, 영상의 특성에 따라 다른 에너지를 갖는 워터마크가 삽입된다. 영상에 독립된 일정한 에너지를 갖는 신호를 워터마크로 사용할 때는 수 (9)를 사용하여 원래의 계수 값을 대체하고, 인간의 시각특성을 고려하는 것과 같은 영상에 적응적인 방법으로 사용할 때는 수 (10), (11)을 사용한다.

워터마크 신호 추출 후 소유권 확인을 위해 사용되는 알고리즘은 랜덤 신호를 워터마크 신호열로 사용하였을 때, 일반적으로 다음과 같은 정규화 된 유사도 측정 수식을 이용하여 워터마크 신호열의 견고함의 정도를 표시하고 있다.

$$\text{sim}(W, W^*) = \frac{\sum w_i w_i^*}{\sqrt{\sum w_i^2 \sum w_i^{*2}}} \quad (12)$$

여기서  $w_i^*$ 는 추출될 워터마크 신호열의 집합  $W^*$ 에서  $i$ 번째 신호 값이다.

그 외 다양한 유사도 측정 방법 및 수식이 있지만, 위의 수식은 추출된 워터마크 신호열과 삽입된 워터마크 신호열은 독립적이고, 추출된 워터마크 신호열 자체의 특별한 특징을 가지지 않는다. 그래서 추출된 워터

마크 신호열을 전처리 할 수 있는 유연성을 가질 수 있다. 즉, 임의의 처리로 변형 된 후 추출된 워터마크 신호의 유사성 측정의 향상을 도모할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그리고 위 수식은 정규화 되어 있어 추출된 워터마크 신호열과 삽입된 워터마크 신호열이 같은 경우 1이 된다. 일반적으로 유사도 측정 방법의 측정된 결과에 대해 소유권을 판명하기 위해서 판단 임계값  $T$ 을 사용하여  $\text{sim}(w, w^*) > T$ 인 경우를 찾아낸다.

본 논문에서는 변환 영역에서 계수의 크기 순서에 의해 삽입될 위치를 결정하고, 식 (9)을 사용하여 원래 계수를 대체한다. 여러 가지 영상 처리 후 식 (12)을 사용하여 각 변환별 워터마크의 견고함을 측정하고, 비교하였다. 유사도 측정에서는 상대적인 견고함을 비교하기 위해 임계값은 사용하지 않고, 상대적인 수치 결과 값을 위주로 하였다.

### 1. 워터마크 삽입 및 추출

주파수 기반 워터마킹 방법에서 사용하는 워터마크 신호열의 삽입 함수의 알고리즘에 대해 설명한다. 입력 영상을 주파수 영역으로 변환하기 위하여 비교될 세 가지 unitary 변환인 이산 여현 변환, 블록 기반 이산 여현 변환, 웨이블릿 변환을 기본으로 사용한다. 블록 기반 이산 여현 변환은 블록 크기에 따른 이산 여현 변환을 사용한다. 웨이블릿 변환은 6-tap Binomial QMF 웨이블릿 필터<sup>[20]</sup>, p.256)를 기본으로 사용하고, Haar 웨이블릿 변환을 사용하여 각각의 변환에 대해 동일한 워터마크 신호열을 생성하여 삽입하였다. 사용된 워터마크 신호열  $w = w_1, w_2, \dots, w_R$ ,는  $N(0, \sigma^2)$ 인 랜덤 잡음으로, 여기서  $R$ 은 워터마크 신호열의 길이이다. 워터마크 삽입 과정은 다음과 같다(그림 6).

1.  $N \times N$  입력 영상  $X$ 에 대하여 각각 unitary 변환을 수행한다.

2.  $Y$ 에서 저주파 영역을 제외한 나머지 주파수 대역을 계수 크기순으로  $R$ 개를 선택한다. 이때, 워터마크 삽입을 위해 선택된 계수의 집합을  $v = \{v_1, v_2, \dots, v_R\}$ 라고 하고, 집합  $v$ 의  $Y$ 에서의 위치 테이블을 만든다.

3. 선택된  $v$ 에 발생된 워터마크  $w$ 를 더한  $\hat{v}$ 를 발생시킨다.

4. 생성된  $\hat{v}$ 을 위치 테이블에 맞춰 대체시킴으로서

$\hat{Y}$ 을 발생시킨다.

5.  $\hat{Y}$ 을 역 변환하여 워터마킹 된 영상  $\hat{X}$ 을 만든다.

워터마킹 된 영상  $\hat{X}$ 이 각종 영상 신호처리에 의해 왜곡된 영상을  $X^*$ 라고 하고,  $X^*$ 으로부터 원 영상을 가지고 워터 마크 신호를 추출하는 과정은 다음과 같다(그림 6).

1.  $X^*$ 과 원 영상  $X$ 를 워터마크 삽입 때 사용된 동일한 unitary 변환을 수행하여  $Y^*$ 와  $Y$ 를 구한다.
2. 워터마크 삽입 시 생성한 위치 테이블을 참조하여  $Y^*$ 와  $Y$ 로부터 각각  $v^*$ 와  $v$ 를 추출한다.
3. 왜곡된 워터마크 신호  $w^*$ 를 구하기 위해  $v^*$ 와  $v$ 의 차를 구한다. 만약 이때  $w^* = w$ 라면,  $X^* = \hat{X}$

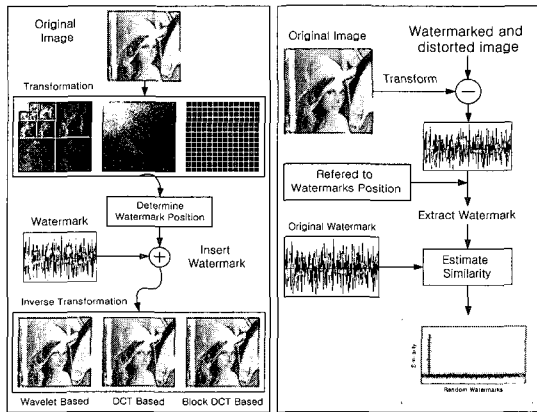


그림 6. 워터마크 삽입(좌) 및 추출(우)  
Fig. 6. Watermark embedding(left) and extraction (right).



그림 7. 워터마킹 된 LENA 영상과 삽입된 워터마크 신호, 8x8 블록 기반 이산 여현 변환(좌), 이산 여현 변환(중), 웨이블릿 변환(우)  
Fig. 7. Watermarked image lena, and corresponding watermarks for 8x8 BDCT(left), FDCT (center), WT(right).

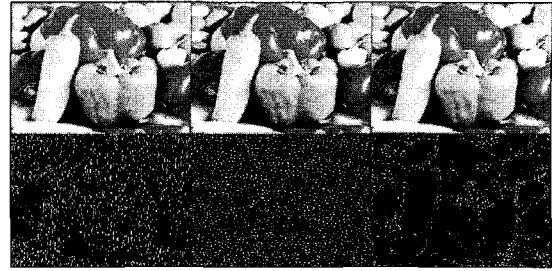


그림 8. 워터마킹 된 PEPPERS 영상과 삽입된 워터마크 신호, 8x8 블록 기반 이산 여현 변환(좌), 이산 여현 변환(중), 웨이블릿 변환(우)  
Fig. 8. Watermarked image peppers, and corresponding watermarks for 8x8 BDCT(left), FDCT (center), WT(right).

이다.

$$w^*_i = v^*_i - v_i \quad (13)$$

4. 임의의 영상처리 후 추출된 워터마크 신호  $w^*$ 와 사용한 워터마크 신호  $w$ 의 유사도를  $sim(w, w^*)$ 을 이용해 두 신호의 유사도를 측정한다.

임의의 영상처리에 의해 왜곡이 발생하지 않은 영상의 경우 유사도  $sim(w, w^*) = 1$  이 된다.

#### IV. 실험 결과 및 분석

세 가지 unitary 변환의 성능을 평가하기 위해 8-bit 512x512 lena, peppers 영상을 사용하였고, 길이가 10000인 1000개의  $N(0, \sigma^2)$  랜덤 신호를 발생시켜 워터마크 신호로 사용하였다. 변환 방법은 서로 다르더라도 동일한 대역을 갖는 영상을 일정한 상관관계 제거 변환 방식에 의해 변환되었기 때문에, 발생된 워터마크 신호는 각각의 변환 방식에서 동일한 저주파 영역을 제외한 나머지 영역에 삽입함으로써 객관적인 성능 평가를 할 수 있도록 하였다. 즉, 이산 여현 변환의 64x64 영역, 블록 기반 이산 여현 변환은 각 블록 크기의 1/8의 영역에, 그리고 3-레벨 웨이블릿 변환의 최저주파 영역(64x64)을 제외한 나머지 영역에 삽입 알고리즘에 의해 삽입하였다. 그리고 워터마크 신호는 주관적인 판단으로  $\sigma=30$  정도 이상인 경우에 육안으로 영상의 왜곡을 판단할 수 있어, 이보다 큰 워터 마크 신호는 비교 대상에서 제외시켰다. 그림 7, 8은 워터마크가 삽입된 후 임의의 변형방법에 의해 왜곡되지 않은 영

상으로, 워터마크 신호가 각 변환 방식에 따라 삽입된 후 영상의 왜곡에 대해 보여주는 그림으로서, 워터마크 신호를 삽입한 후 워터마킹 된 영상(위)과 원 영상과의 차 영상(아래)이다. 차 영상은 크기 값을 증가시킨 것으로 블록 기반 이산 여현 변환(좌), 이산 여현 변환(중), 웨이블릿 변환(우)에서 워터마크 신호의 삽입에 따른 영상의 왜곡이 발생하는 영역을 보여주고 있다.

측정 결과로 사용되는 유사도 측정값은 식 (12)을 사용하여 원 워터마크 신호와 추출된 워터마크 신호가 어느 정도 유사한지를 정량적으로 표현하는 것으로 왜곡이 발생되지 않은 영상에서 추출된 워터마크 신호열과의 유사도는 1이 되고, 서로 다른 워터마크 신호열과의 유사도는 0에 가까운 결과를 가진다. 사용된 워터마크 신호열도 자기 유사도는 1에 매우 가깝고, 서로 다른 신호열에 대해서는 0에 매우 가까운 신호열임을 확인하여 사용하였다.

본 실험에서 사용된 변환 방식은 unitary하기 때문에 워터마킹 된 영상은 2.1절에서 설명한 바와 같이 동일한 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)을 갖는다(표 1. PSNR은  $M(0, \sigma^2)$ 인 랜덤 잡음일 워터마크로 사용되었을 때 각 변환 방식에 따른 PSNR을 비교한 것이다).

표 1. PSNR

Table 1. PSNR.

	Wavelet Transform	Block DCT	Full DCT
PSNR(dB)	49.604294	49.333459	49.871922

$\sigma$ 가 20이상의 경우에 워터마킹 된 영상의 화질 열화가 조금씩 나타나기 시작한다. 그리고 비슷한 PSNR을 가질지라도 주관적인 판단으로는 웨이블릿 변환을 기반으로 하여 워터 마크가 삽입된 영상이 상대적으로

표 2. 샤프닝 마스크

Table 2. Sharpening mask.

-1	-1	-1
-1	9	-1
-1	-1	-1

열화가 작게 나타났다. 그림 7, 8에서 워터마킹 된 영상은  $\sigma=30$ 인 경우를 보인 것으로서 이산 여현 변환, 블록 기반 이산 여현 변환은 화질 열화가 전반적으로 퍼져있고, 또한 블록 기반 이산 여현 변환은 블록 현상을 육안으로 확인할 수 있다. 웨이블릿 변환은 변환 특성상 경계선 부분이 열화 됨을 볼 수 있다.

영상을 왜곡시키기 위한 영상처리 방법으로 JPEG 손실 압축, 저역 필터링, 샤프닝, 크기변화를 사용하여 영상을 왜곡시켰다. 저역 필터링은 3×3 평균 필터를 사용하였고, 샤프닝 마스크는 표 2와 같은 3×3 필터를 사용하였다. 그리고 크기변화는 공간 영역의 크기를 1/4로 줄인 영상을 사용하였다.

표 3은 동일한 PSNR을 가질 때,  $\sigma$  값에 따른 서로 다른 1000개의 워터마크 신호와 유사도를 측정한 결과이다. 표의 결과는 제일 크기가 큰 값과 두 번째로 크기가 큰 값을 나타냄으로서 서로 다른 워터마크 신호에 대해 명확함의 정도를 나타내고 있다. 8×8 블록 기반 이산 여현 변환이 서로 다른 워터마크에 대해 제일 좋은 명확성을 보이고 있고, 블록 크기가 커질수록 명확성이 떨어지고 있다. 하지만  $\sigma$  값이 커질수록 이산 여현 변환과 블록 기반 이산 여현 변환의 유사도가 비슷해짐을 알 수 있다.

표 3. 워터마킹 된 영상의 유사도 측정치 최대 값과 두 번째 크기가 큰 값. (JPEG 손실 압축 Q 요소가 20일 때)

Table 3. First and Second Peak Value of similarity for the JPEG compressed watermarking image at compression quality factor 20.

		8x8 DCT	16x16 DCT	32x32 DCT	64x64 DCT	Full DCT	Wavelet Transform	haar WT
$\sigma=5$	1st Peak	0.351454	0.286165	0.258869	0.276342	0.308005	0.200795	0.181037
	2nd Peak	0.034608	-0.03213	-0.03091	0.030729	0.032537	-0.034460	0.030242
$\sigma=10$	1st Peak	0.625079	0.524674	0.488554	0.505513	0.567993	0.405801	0.339707
	2nd Peak	0.031860	-0.03441	0.033167	-0.03646	0.029955	-0.033180	0.037282
$\sigma=20$	1st Peak	0.658044	0.760282	0.732274	0.75143	0.832800	0.668765	0.587840
	2nd Peak	0.028669	0.03229	0.034595	-0.03973	-0.034030	0.031582	0.032643
$\sigma=30$	1st Peak	0.926974	0.845301	0.83089	0.851009	0.915638	0.787311	0.727980
	2nd Peak	-0.028850	0.030192	-0.03599	0.031331	-0.030490	-0.030400	0.033601

그림 9, 10은  $\sigma=10$ 인 워터마크를 삽입한 경우 JPEG 손실 압축 후 추출한 워터마크 신호의 유사도를 PSNR에 따라 변환별, 블록 크기별 견고함을 나타낸 그래프로서, 8×8 블록 기반 이산 여현 변환이 제일 견



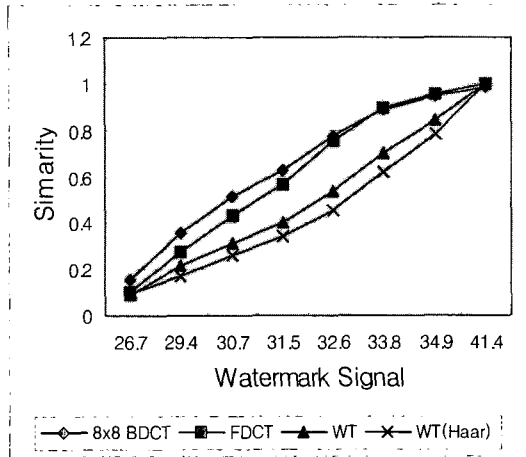


그림 9. PSNR에 따른 변환별 견고함 비교  
Fig. 9. Robustness comparison of each transform in PSNR.

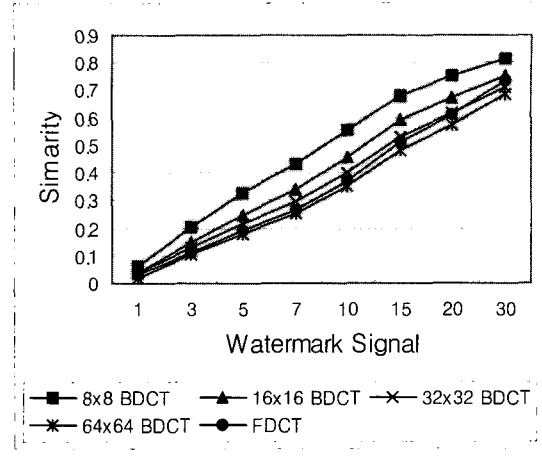


그림 12. 샤프닝에 대해 블록 크기별 견고함 비교  
Fig. 12. Similarity of each block size for sharpening.

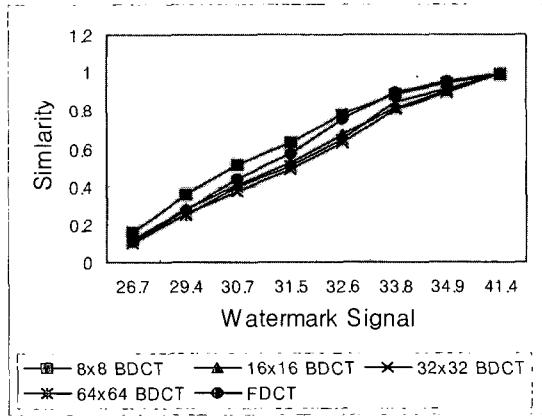


그림 10. PSNR에 따른 블록 크기별 견고함 비교  
Fig. 10. Robustness comparison of each block size in PSNR.

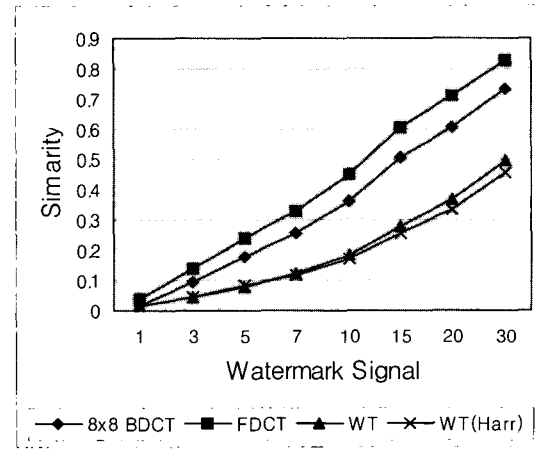


그림 13. 저역 필터링에 대해 변환별 견고함 비교  
Fig. 13. Similarity of each transform for Smoothing.

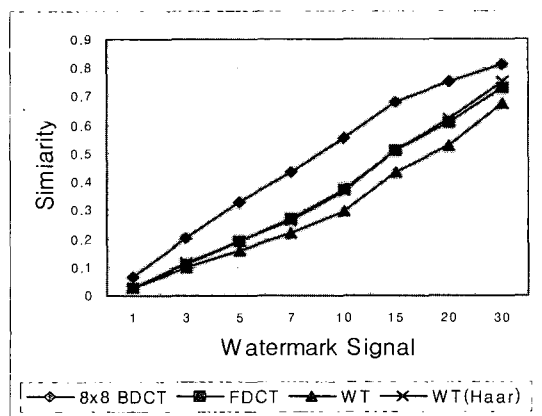


그림 11. 샤프닝에 대해 변환별 견고함 비교  
Fig. 11. Similarity of each transform for sharpening.

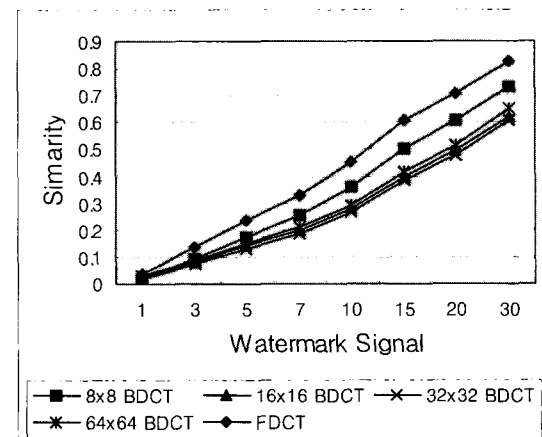


그림 14. 저역 필터링에 대해 블록 크기별 견고함 비교  
Fig. 14. Similarity of each block size for smoothing.

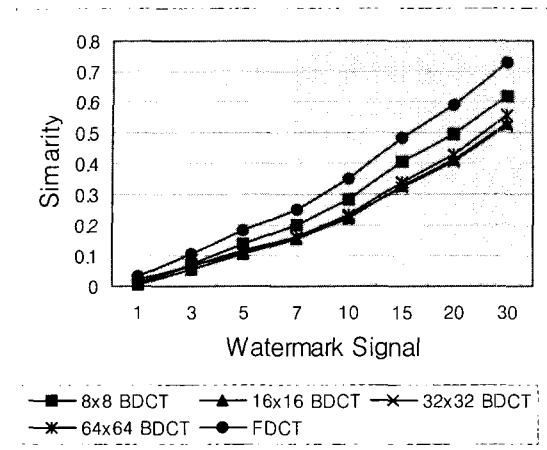


그림 15. 크기 변화에 대해 블록 크기별 견고함 비교  
Fig. 15. Similarity of each block size to rescaling.

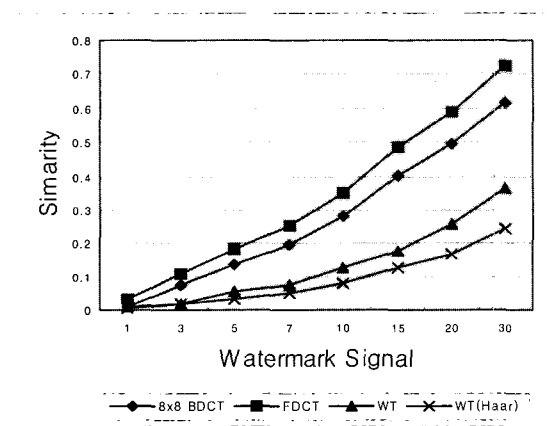


그림 16. 크기 변화에 대해 변환별 견고함 비교  
Fig. 16. Similarity of each transform to rescaling.

고함을 보이고, 또한 전반적으로 이산 여현 변환 기반 방식이 웨이블릿 변환 기반 방식에 비해 상대적으로 JPEG 손실 압축에 견고함을 보이고 있다. 그림 13에서 블록 크기가 커질수록 이산 여현 변환의 결과에 비해 견고함이 조금 낮아지고 있다. 또한 이 결과는  $\sigma$ 가 다른 경우에서도 비슷한 형태의 결과를 나타내었다.

그림 11, 12는 샤프닝의 견고함의 정량적인 결과를 나타낸 것으로서 작은  $\sigma$ 에서는 블록 기반 이산 여현 변환이 상대적으로 견고하지만  $\sigma$ 값이 커질수록 세 가지 변환 모두 비슷한 견고함을 보였다. 그림 13, 14는 각각의 변환별, 블록 크기별 저역 필터링의 견고함의 정량적인 결과를 나타내고 있다. 그림 15, 16 변환별, 블록 크기별 크기변화의 견고함을 나타내는 그림이다. 저역 필터링과 크기 변화는 비슷한 결과를 갖는데 크

기 변화는 워터마크 추출 시 영상 복원을 위해 주변화 소 값을 이용함으로써 평균화와 비슷한 결과를 가져오며, 상대적으로 이산 여현 변환이 견고함을 보였다

## V. 결 론

주파수 영역을 기반으로 하는 워터마킹 방법에서 변환방식에 따른 워터마킹 방법의 성능을 객관적으로 평가하기 위해 세 가지 unitary 변환(이산 여현 변환, 블록 기반 이산 여현 변환, 웨이블릿 변환)에 동일한 워터마크 신호를 삽입하여 여러 가지 영상 처리에서 견고함에 대해 실험하였다.

실험 결과 이산 여현 변환기반의 워터마킹 방법이 웨이블릿 변환 기반의 워터마킹 방법보다 더 효율적임을 알 수 있었다. 특히, JPEG 손실압축과 샤프닝에서는 블록 기반 이산 여현 변환, 저역 필터링과 크기변화에서는 이산 여현 변환의 상대적으로 견고함을 보였다. 하지만, 영상 정보의 경우 시각적인 측면이 많이 고려되어야 한다. 그림 7, 8에서 볼 수 있듯이 워터마크 신호가 공간 영역으로 변환 됐을 때, 웨이블릿 변환의 경우 영상의 고주파 성분이 많은 경계선 부근에 워터마크 신호의 에너지가 집중되어 분포하고 있어 주관적인 화질 평가에서는 웨이블릿 변환이 이산 여현 변환 기반 방식보다 우수하였다. 블록 기반 이산 여현 변환도 영상의 경계선 부근에 신호의 에너지가 분포하지만, 영상에 동일한 에너지를 가지는 워터마크 신호열을 삽입하였을 때 블록화 현상에 의해 비슷한 PSNR을 가질지라도 주관적인 화질 평가에서는 웨이블릿 변환에 비해 더 나쁘게 나타났다.

최근에 영상의 새로운 압축방법에서는 웨이블릿 변환 기반으로 영상을 압축하고, 임베디드 전송 방식 [21,22,23,24]를 지원하고 있다. 영상 전송 시 임의의 요구에 의해 영상 전송이 중단될 때도 삽입된 워터마크 신호가 견고함을 가질 수 있는 방법에 대해 많은 연구가 필요하다.

## 참 고 문 헌

- [1] F. M. Boland, J. J. K. O Ruanaidh and C. Dautzenberg, "Watermarking Digital Images for Copyright Protection," Image Processing And its Application, pp. 326~330, July 1995.

- [2] F. Mintzer, G. W. Braudaway and M. Yeung, "Effective and Ineffective Digital Watermarks," *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. 3, pp.9~12, Oct. 1997.
- [3] W. Bender, D. Gruhl, N. Morimoto, "Techniques for Data Hiding," *Proc. of SPIE*, pp.2420~2440, Feb. 1995.
- [4] I. Pitas, "A Method for Signature Casting on Digital Image," *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, pp. 215~218, Feb. 1995.
- [5] G. B. Rhoads, "Method and Apparatus Responsive to a Code Signal Conveyed through a Graphic Image," US Patent 5,710,834, Issued January 20, 1998.
- [6] Nikos Nikolaidas, I. Pitas, "Copyright Protection of Images Using Robust Digital Signature," *IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech & Signal Processing*, pp. 2168~2171, 1996.
- [7] Ingemar J. Cox, J. Killian, F. Thomson Leighton, and Talal Shamoan, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 6, no. 12, pp. 1673~1687, Dec. 1997.
- [8] Chiou-Ting Hsu and Ja-Ling Wu, "Hidden Signatures in Images," *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. 3, pp. 743~746, Sep. 1996.
- [9] M. Wu and B. Liu, "Watermarking for Image Authentication," *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, Oct. 1999.
- [10] Christine I. Podilchuk, Wenjun Zeng, "Image-Adaptive Watermarking Using Visual Models," *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, vol. 16, no. 4, May 1998
- [11] Wenwu Zhu, Ziziang Xiong, and Ya-Qin Zhang, "Multiresolution Watermarking for Images and Video," *IEEE Trans. on Circuits and System for Video Technology*, vol. 9, no. 4, June 1999.
- [12] Xiang-Gen Xia, Charles G. Boncelet, Gonzalo R. Arce, "A Multiresolution watermark for digital images," *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, Oct. 1997, vol. 1, pp. 548~551.
- [13] Young-Sik Kim, O-Hyung Kwon and Rae-Hong Park, "Hidden Wavelet based watermarking method for digital images using the human visual system," *IEEE trans. Electronics Letters*, vol. 35. no. 6, March 1999.
- [14] K. R. Rao and P. Yip, *Discrete Cosine Transform : Algorithm, Advantages, Applications*, New York, NY, Academic Press, 1990.
- [15] ISO/IEC 10918-1 : "Digital Compression and Coding of Continuous-Tone Still Images," Part 1 : Requirements and Guidelines, 1993.
- [16] C. Sidney Burrus, Ramesh A. Gopinath and Haitao Gupo, *Introduction to Wavelets and Wavelet Transforms*, Prentice-Hall, 1998.
- [17] R. L. Pickholtz, D. L. Schilling, and L. B. Millstein, "Theory of Spread Spectrum Communications-A Tutorial," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COMM-30, pp. 855~884, 1982
- [18] F. Hartung and M. Kutter, "Multimedia Watermarking Techniques," *Proceedings of IEEE : Special Issue on Identification and Protection of Multimedia Protection*, pp. 1079~1107, July, 1999.
- [19] R. A. DeVore, B. Jawerth, and B. J. Lucier, "Image Compression through Wavelet Transform Coding," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 38, pp.719~746, Mar. 1992.
- [20] Ali N. Akansu, Richard A. Haddad, *Multiresolution Signal Decomposition*, Academic Press, Inc. 1992.
- [21] Jerome M. Shapiro, "Embedded Image Coding Using Zerotrees of Wavelet Coefficients," *IEEE Trans. Signal Processing*. vol. 41, no. 12, Dec 1993.
- [22] Amir Said, William A. Pearlman, "A New, Fast, and Efficient Image Codec Based on Set Partitioning in Hierarchical Trees," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 6, no. 3, June 1996.
- [23] Amir Said, William A. Pearlman, "Image Compression Using the Spatial-Orientation Tree," *IEEE Int. Conf. on Image Processing*,

1993.  
 [24] C. Christopoulos(editor), "JPEG2000 Verification

Model 5.0(Technical description)", ISO/IEC  
 JTCl/SC29/WG1 N1420. Aug. 1999.

---

저 자 소 개

---



林 炘 辰(正會員)  
 1998년 2월 :아주대학교 전자공학  
 과 졸업(공학사). 2000년 2월 :아  
 주대학교 전기전자공학부 대학원  
 졸업(공학석사). 2000년~현재 :  
 (주)이트로닉스 전자연구소 근무.  
 <관심분야> 분야는 영상처리 시

崔 太 永(正會員) 第 38卷 SP編 第 3號 參照

스텝임