

# 디지털 워터마크의 삽입용량 최적화를 위한 임계값 선택방법

## Threshold Selection Method for Capacity Optimization of the Digital Watermark Insertion

이강승\*, 박기범\*\*

Kang-Seung Lee\*, Ki-Bum Park\*\*

### 요약

본 논문은 웨이블릿 영역에서 인간시각시스템 특성, 적응 스케일(Scale) 계수와 가중치 함수를 이용하고 실험적 임계값을 적용하여 디지털 워터마크의 삽입용량 최적화를 위한 디지털 워터마크 알고리즘을 제안하였다. 실험적 임계값을 기초로 하여 웨이블릿 영역에서 중요 계수를 찾아 디지털 워터마크의 삽입용량 최적화를 위한 워터마크를 삽입하였다. 원본영상을 3-레벨(Level)로 웨이블릿 변환하여, 저주파에 해당하는 기저대역을 제외한 나머지 모든 부대역에 워터마크 정보를 삽입하였다. 디지털 워터마크의 삽입용량 최적화를 위하여 인간시각시스템 특성을 근거로 한 적응 스케일 계수와 가중치 함수는 고려되었으며, 이 적응 스케일 계수와 가중치 함수는 강인성과 비가시성의 향상을 도모하였다. 워터마크는 가우시안 랜덤 시퀀스로 구성되어 있고 워터마크의 검출은 상관도를 이용하여 워터마크의 삽입 여부를 판단한다. 본 논문에서 제안한 방법으로 모의 실험한 결과 비교적 우수한 화질에서 JPEG 손실 압축, 잡음 첨가, 잘라내기, 흐림, 예리화, 그리고 선형 및 비선형 필터링 등의 공격에 강인함을 알 수 있었다.

### Abstract

In this paper a watermarking algorithm is proposed to optimize the capacity of the digital watermark insertion in an experimental threshold using the characteristics of human visual system(HVS), adaptive scale factors, and weight functions based on discrete wavelet transform. After the original image is decomposed by a 3-level discrete wavelet transform, the watermarks for capacity optimization are inserted into all subbands except the baseband, by applying the important coefficients from the experimental threshold in the wavelet region. The adaptive scale factors and weight functions based on HVS are considered for the capacity optimization of the digital watermark insertion in order to enhance the robustness and invisibility. The watermarks are consisted of gaussian random sequences and detected by correlation. The experimental results showed that this algorithm can preserve a fine image quality against various attacks such as the JPEG lossy compression, noise addition, cropping, blurring, sharpening, linear and non-linear filtering, etc.

**Keywords** : Image Signal Processing, Digital Watermark, Threshold Selection, Copyright Protection

### 1. 서론

최근 인터넷을 중심으로 한 컴퓨터통신, 네트워크의 급속한 발전과 성능향상 및 폭발적인 인터넷의 보급으로 인해 디지털화 된 음성이나 정지영상, 동영상 등의 멀티미디어

데이터의 활용이 크게 증가하고 있다. 이와 같이 멀티미디어가 디지털화되면서 데이터의 저장, 접근, 이용 등을 효율적으로 할 수 있게 되었다. 디지털 데이터는 전송 및 저장 시 생길 수 있는 예러에 강하며 데이터의 편집 등이 용이하다는 특징 등을 가지고 있어서 대부분의 미디어가 디지털화되어 가고 있다. 그러나 멀티미디어 디지털 데이터는 원본과 동일한 복사본을 쉽게 만들 수 있을 뿐만 아니라 인터넷 등을 통한 배포가 쉬워 정보를 디지털화하여 표현함으로써 원본과 복사본의 구별이 불가능해 진다는 문제점이 있다. 따라서 불법복제 및 지적소유권보호 문제가 크게 부각되고 있으며, 이와 같이 소유권자의 동의가 없는 불법

\* 동의대학교 공과대학 컴퓨터공학과

\*\* (주) 메타라이즈

접수일자 : 2008. 6. 17 수정 완료 : 2009. 1. 24

게재확정일자 : 2009. 1. 28

※ 본 연구는 2006학년도 동의대학교 자체 일반 연구과제(과제번호 2006AA162)의 지원으로 수행되었습니다.

적 복제를 방지하고 소유권을 효과적으로 보호하기 위한 저작권 보호기법의 기술이 요구된다. 디지털 데이터의 저작권 보호와 인증에 대한 문제는 명확한 해결책을 필요로 한다.

이러한 디지털 영상 데이터의 보호를 위해 적용할 수 있는 기법에는 데이터를 암호화하는 기법으로 원래의 데이터로 복구하기 위해서는 키(Key)를 알고 있어야 한다. 데이터의 암호화의 경우 데이터 내용의 보호에는 안전하지만 키에 의해 원래의 데이터로 복구된 데이터가 불법으로 복제되어 배포되는 것을 막을 수 없다는 단점이 있다. 또 다른 기법으로 지적재산권 및 저작권을 보호하고, 소유권을 주장할 수 있는 근거를 제시할 수 있도록 하는 디지털 워터마킹(Digital Watermarking) 기법이 있다[1-9]. 기존의 암호화 기법이 키에 의해 원래의 데이터로 복구되지 않으면 데이터의 내용을 볼 수 없고 일단 한 번 원래의 데이터로 복구되면 원본과 차이가 없다는 것과는 달리 디지털 워터마킹 기법은 워터마크가 삽입된 후에도 원본 데이터와 거의 차이가 없으며 삽입된 워터마크는 데이터에 변형을 가해도 쉽게 없어지지 않는 장점이 있다. 디지털 워터마킹 기법은 데이터의 저작권에 따른 정보, 배포자에 대한 정보, 데이터 사용자에게 대한 정보 등을 삽입해서 데이터에 대한 불법적인 복제, 소유권에 대한 분쟁 등이 발생했을 때 해결책으로 제시할 수 있다.

최근 많은 관심을 받고 있는 웨이블릿 변환은 다해상도(Multi-resolution) 해석이 가능하고 시간, 공간 주파수 영역에서 국부적인 특성을 갖고 있어 신호처리 및 영상 해석에 여러 가지 응용이 이뤄지고 있다. 최근 들어 워터마크로 문자정보가 아닌 도장영상, 의장문자(Logo) 등을 워터마크로 삽입하는 방법이 제안되었다[10,12]. 그러나 영상을 워터마크로 삽입할 때 단순히 정보가 표시된 곳과 그렇지 않은 곳으로 간주하여 삽입함으로써 정교한 영상을 삽입, 검출하는 것은 부적절하다.

본 논문은 웨이블릿 영역에서 인간시각시스템 특성, 적응스케일(Scale) 계수와 가중치 함수를 이용하고 실험적 임계값을 적용하여 디지털 워터마크의 삽입용량 최적화를 위한 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 워터마크 정보는 기존 방법[10]의 단점을 고려하여 유일한 키로 생성한 가우시안(Gaussian) 잡음 형태의 벡터를 워터마크로 사용한다. 이산 웨이블릿 변환 계수에 워터마크를 삽입하는 방법은 인간의 시각 특성을 쉽게 적용할 수 있을 뿐 아니라 이산 웨이블릿 변환을 기반으로 하는 압축 기법인 EZW, SPIHT[12] 및 JPEG 2000의 압축 기법에도 적용이 용이하다. 제안한 방법은 기존의 임계값을 이용한 디지털 워터마킹 기법[13,14,15]과 이산 웨이블릿 변환 계수의 상관관계를 이용한 디지털 워터마킹 기법[11]을 연구 분석후, 디지털 워터마킹의 요구조건들을 고려하여 워터마크 정보의 삽입용량과 화질 열화, 소유권 증명, 검출 상관도(Correlation) 등의 관계를 최적화한다. 또한 인간시각시스템을 이용하여 원본영상의 화질열화 및 다양한 영상의 특성에 따라 적응적으로 워터마크를 삽입하여 기존 워터마킹 기법의 단점을 개선한다.

워터마크의 검출은 원본영상이 필요하지 않는 블라인드(Blind) 워터마킹 기법이며 삽입할 때 사용한 워터마크 키만으로 소유권을 증명한다.

본 논문의 구성은 I장 서론에 이어, II장은 본 논문에서 제안한 디지털 워터마킹 기법과 관련된 주요 연구를 알아보고, III장은 본 논문에서 제안한 워터마크의 삽입용량 최적화를 위한 워터마킹 알고리즘에 대하여 기술한다. IV장은 제안한 워터마킹 알고리즘의 실험 결과 및 성능을 평가하고, 마지막 V장은 결론을 맺는다.

## II. 워터마크 정보의 삽입용량과 알고리즘

### 2.1 워터마킹 요구조건들 간의 관계

워터마크 정보의 양을 고정할 것인지 적응적으로 랜덤하게 할 것인지는 매우 중요한 문제이다. 워터마크 정보의 양을 고정적으로 삽입한다면 워터마킹의 나머지 기본적인 조건들을 최적으로 설계할 수 있다. 하지만 적응적으로 랜덤하게 워터마크 정보의 양을 결정한다면 화질열화, 강인성 등의 기본적인 조건들 사이의 상호 보완(Trade-off) 관계를 충분히 고려하여 알고리즘을 설계하여야 한다. 기본적인 워터마킹 모델에는 공격의 강도에 따른 강인성의 관계와 공격의 강도에 따른 화질열화의 관계, 강인성과 화질열화의 관계 등을 워터마크 정보의 삽입 양과 충분히 고려하여야 한다[16,17,18]. 또한, 원본 영상 없이 워터 마킹된 영상만으로 워터마크를 검출하여야하는 블라인드(Blindness)의 조건이 있다. 이상에서 언급한바와 같이 워터마크가 갖춰야할 기본적인 조건들은 그림 1과 같이 각 조건들 사이에 서로 밀접한 관계가 있다. 예를 들어 다양한 형태로 신호가 왜곡되어도 워터마크를 검출할 수 있도록 워터마크의 강인성을 강조해서 워터마크를 삽입하게 되면 삽입된 워터마크가 인지되며 그만큼 워터마크가 삽입된 영상의 화질은 원본 영상에 비하여 나빠지게 된다. 또한 워터마크로 삽입될 데이터의 양이 많아지게 되면 역시 그만큼 영상의 화질이 손상된다. 워터마크 시스템을 설계할 때 이러한 각 조건들의 상관관계를 고려하여야 한다.

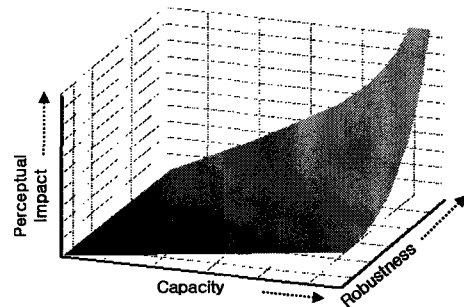


그림 1. 워터마킹 요구조건들 사이의 상관관계.  
Fig. 1. Correlation between the requirements of a watermarked image.

2.2 임계값을 이용한 워터마킹 기법

영상과 같은 2차원 신호는 그림 2와 같이 웨이블릿 분해 과정을 거치게 된다. 먼저 영상을 행 방향으로 웨이블릿 변환을 하고 하향 표본화한 후, 그 결과를 열 방향으로 한 번 더 웨이블릿 변환을 수행하고 다시 하향 표본화하여 분해하게 된다. 이를 통해서 서로 다른 레벨의 다해상도 부대역 영상을 얻을 수 있다.

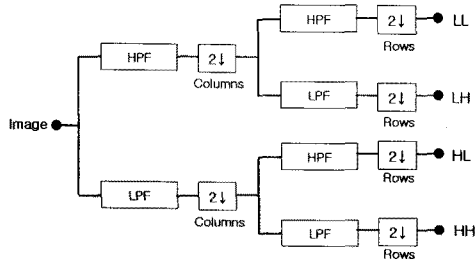


그림 2. 영상의 1-레벨 웨이블릿 분해 과정.  
Fig. 2. The 1-level wavelet decomposition process of an image.

그림 2에서 LL 대역은 원본영상에 비하여 해상도가 반으로 줄어든 저주파 성분이고, LH, HL, HH 대역은 각각 수직, 수평, 대각 방향의 에지 성분을 가지는 고주파 성분이다. 저주파 성분인 LL 부대역을 다시 한 번 같은 방법으로 웨이블릿 분해하고, 계속해서 LL 부대역을 필요한 수준으로 분해를 할 수 있다.

실험적으로 계산되어진 특정 임계값을 사용하여 워터마크를 삽입하는 대표적인 방법[13,19]으로 Dugad[13] 등이 제안한 워터마킹 기법이 있다. Dugad[13] 등은 Daubechies 8-탭(tap) 필터를 사용하여 원본영상을 3-레벨 이산 웨이블릿 변환한 후, 저주파 대역인 LL 부대역을 제외한 모든 부대역에 특정 임계값을 사용하여 워터마크를 삽입하였다. 실험적으로 계산되어진 삽입 임계값 T1은 상수 40을 사용하였고, 검출 임계값 T2는 삽입 임계값보다 큰 상수 값 50을 사용하였다[13]. 이산 웨이블릿 변환된 계수와 비교하여 계수의 값이 삽입 임계값 T1보다 클 때만 워터마크를 삽입하였다. 워터마크를 검출할 때는 검출 임계값 T2보다 큰 계수들을 대상으로 워터마크를 검출하였다. 영상 전체의 상관도와 임계값을 계산하여 상관도가 임계값보다 크면 소유권을 증명할 수 있다. Dugad[13]의 전체적인 워터마킹 알고리즘은 그림 3과 같다.

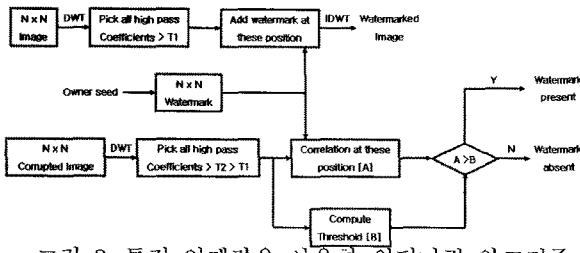


그림 3. 특정 임계값을 사용한 워터마킹 알고리즘.  
Fig. 3. The watermarking algorithm using a specific threshold.

2.3 인간시각시스템[20]

원본영상에 삽입된 워터마크가 시각적으로 보이지 않으면서 보다 강한 워터마크를 삽입하기 위하여 워터마크를 삽입할 경우 사용되는 워터마크의 강도가 인간 시각에 미치는 영향을 고려해야 한다. Lewis와 Knowles[20]는 인간 시각의 특성에 따라 계수의 양자화 레벨을 적응적으로 변경시켜 압축에 활용하였다. Lewis와 Knowles[20]가 고안한 인간시각시스템은 다음과 같은 인간의 시각적인 특성을 고려하였다.

- ① 인간의 눈은 높은 해상도 대역과 45° 방향의 대역에서 잡음에 대하여 덜 민감하다.
- ② 인간의 눈은 영상의 밝기나 어두운 곳에서 잡음에 대하여 덜 민감하다.
- ③ 인간의 눈은 높은 텍스처(Texture) 지역의 잡음에 대하여 덜 민감하나, 윤곽선 근처의 지역의 잡음에 대해서는 더욱 민감하다.

이러한 특성을 기반으로 하여, 식 (1)과 같이 3개 수식의 곱으로써 각각의 계수에 대한 양자화 과정  $q^{\theta}_l(i, j)$  를 계산한다.

$$q^{\theta}_l(i, j) = \theta(l, \theta) L(l, i, j) \Xi(l, i, j)^{0.034} \quad (1)$$

식 (1)의  $\theta(l, \theta)$  는 인간의 시각 특성중 고해상도 대역과 45° 방향의 대역에서 인간의 눈이 잡음에 덜 민감한 특성을 나타내며 식 (2)와 같이 주어진다.

$$\theta(l, \theta) = \begin{cases} \sqrt{2}, & \text{if } \theta=1 \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \cdot \begin{cases} 1.00, & \text{if } l=0 \\ 0.32, & \text{if } l=1 \\ 0.16, & \text{if } l=2 \\ 0.10, & \text{if } l=3 \end{cases} \quad (2)$$

식 (1)의  $L(l, i, j)$  는 영상의 저주파 대역의 그레이(Gray) 레벨값을 기초로 지역적인 밝기를 고려한 항이다. 인간의 눈은 아주 밝은 지역에서 민감도가 덜 하다고 가정하면 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$L(l, i, j) = 3 + \frac{1}{256} \sum_{x=1}^2 \sum_{y=1}^2 F^3_l(x + \lfloor \frac{i}{2^{3-l}} \rfloor, y + \lfloor \frac{j}{2^{3-l}} \rfloor) \quad (3)$$

인간의 눈은 매우 어두운 곳에서도 어떤 변화에 대하여 덜 민감하기 때문에 식 (3)은 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$L'(l, i, j) = \begin{cases} 1 - L(l, i, j), & \text{if } L(l, i, j) < 0.5 \\ L(l, i, j), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

마지막으로 식 (1)의  $\Xi(l, i, j)$  는 영상의 그물짜기(Texture) 지역과 윤곽선 지역에서 민감도를 고려한 항으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Xi(l, i, j) = \sum_{x=0}^{3-l} \frac{1}{16^k} \sum_{s=0}^2 \sum_{x=0}^1 \sum_{y=0}^1 \left[ F^3_{k+l}(\lfloor y + \frac{i}{2^k} \rfloor, \lfloor x + \frac{j}{2^k} \rfloor) \right]^2 \sigma \left\{ F^3_l(1 + y + \lfloor \frac{i}{2^{3-l}} \rfloor, 1 + x + \lfloor \frac{j}{2^{3-l}} \rfloor) \right\} \quad (5)$$

이와 같은 인간의 시각적 특성을 바탕으로 워터마크가 인

간 시각에 덜 민감한 영역에서 더 큰 가중치를 가지고 삽입됨에 따라, 인간 시각으로 감지되지 않으므로 보다 강한 워터마크가 될 수 있다. 워터마크를 삽입할 때 이러한 가중치를 활용하기 위해서는 워터마크를 삽입하기 전에 각각 계수의 위치와 크기에 따라 미리 가중치를 구해 두어야 한다. 이렇게 하기 위해서, 먼저 원본영상을 웨이블릿 변환을 하고 각 레벨과 대역에서 평균값을 구한 후, 크기가 작은 상위 레벨부터 하위 레벨 순으로 평균값보다 큰 값을 중요 계수로 정의한다. 웨이블릿의 트리 구조 특성에 따라 상위 레벨에서 중요계수가 발견되었다면 하위 레벨에서도 중요 계수가 될 가능성이 높다. 따라서 상위 레벨에서 중요계수로 선택되었다면 하위 레벨의 자손들도 중요 계수로 판단 하여 같은 가중치를 주게 된다. 하위 레벨에서도 동일한 방법으로 가중치를 부여하게 되므로, 상위 레벨에서 먼저 평균값보다 큰 중요계수로 판단되어 가중치를 부여받은 하위 레벨의 계수가 하위 레벨에서도 역시 중요 계수로 판단되었다면 가중치는 두 배가 된다. 하위 레벨로 갈수록 가중치가 누적되어 더 큰 값의 가중치를 가지게 된다. 이것은 고주파 대역에서의 손상에 덜 민감하다는 인간의 시각적 특성을 이용한 것이다.

### III. 워터마크의 삽입용량 최적화를 위한 워터마킹 알고리즘

본 논문에서 제안한 워터마킹 알고리즘은 이산 웨이블릿 변환을 이용하여 원본영상을 그림 4와 같다.

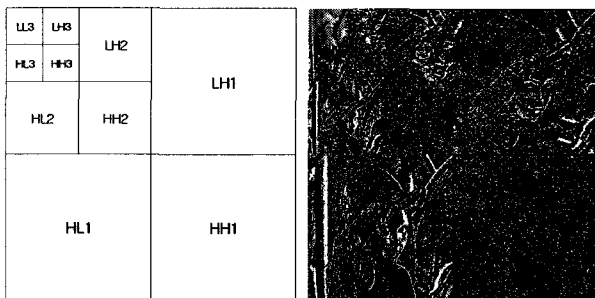


그림 4. 영상의 3-레벨 이산 웨이블릿 분해.

Fig. 4. The 3-level discrete wavelet decomposition of an image.

다해상도의 LL3, LH3, HL3, HH3, LH2, HL2, HH2, LH1, HL1, HH1 부대역으로 분해한 후, 저주파 성분인 LL3 대역을 제외한 나머지 부대역들에 대해 유일한 사용자 키로 생성된 가우시안 랜덤 벡터를 워터마크로 삽입한다. 워터마크 삽입할 때 워터마크 정보의 삽입용량과 원본영상의 화질, 소유권 증명 강도 및 영상의 특성 등을 고려하여 최적의 임계값을 이용하여 워터마크를 삽입한다. 또한 인간 시각시스템을 이용하여 적응 스케일 계수와 가중치를 계산하여 워터마크를 삽입함으로써 워터마크 정보의 삽입용량에 따른 원본영상의 손실 정도를 최소화하고 다양한 영상

처리에 강인하도록 한다. 제안한 워터마킹 알고리즘의 성능 평가를 위해서 JPEG 손실압축, 선형 필터링, 비선형 필터링, 잡음첨가 그리고 잘라내기 등의 영상 처리를 실험한 결과 높은 상관도와 강인함을 나타내었고 비가시도 측면에서도 시각적으로 인지할 수 없을 만큼 측정되었다.

#### 3.1 최적 임계값과 중요 계수 선택

임계값 설정은 워터마크 삽입할 때 영상의 손실과 워터마크가 삽입되는 정보의 양에 큰 영향을 미친다. 따라서 본 논문에서는 삽입되는 워터마크 정보의 양을 최대화하는 반면에 영상의 손실을 최소화하기 위해 초기 임계값보다 높은 임계값을 실험을 통하여 영상에 따라 적응적으로 조절한다. 그림 5는 워터마크를 삽입할 때와 검출할 때에 임계값 설정에 따른 영상의 손실과 워터마크 삽입용량과의 관계 및 상관도와의 관계를 개념적으로 나타낸 것이다. 그림 5의  $\Delta T$ 를 실험적으로 설정하여 워터마킹의 요구조건들을 최대로 만족하면서 워터마크의 삽입용량을 최적화하는 임계값을 계산한다.

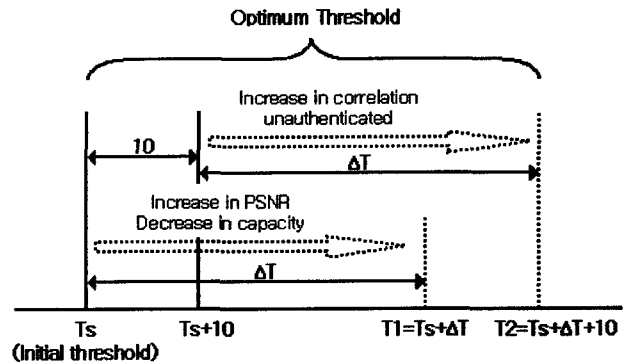


그림 5. 임계값 설정에 따른 상호 보완(Trade-off).

Fig. 5. Trade-off due to the threshold set.

그림 5에서  $T_1$ 은 삽입할 때 사용하는 삽입 임계값이고,  $T_2$ 는 검출할 때 사용되는 검출 임계값을 나타내며,  $\Delta T$ 에 의해서 계산된 최적 임계값은 워터마크의 삽입용량을 최대화하는 반면 영상의 손실을 최소화하는 범위 내에서 소유권을 증명한다. 워터마크 정보의 삽입용량을 최적으로 설정하기 위한 초기 임계값은 다양한 영상의 특성을 반영하여 계산한다. 영상의 특성을 반영하기 위해 각 부대역별로 분산과 최대값을 이용한다. 분산과 최대값이 큰 부대역에 대해서 임계값이 적응적 조정되도록 실험적으로 드리프트(Drift)를 설정하고 로그함수를 취함으로써, 부대역별 영상의 특성을 반영하면서도 계수값의 급격한 변화를 완충하도록 한다. 드리프트  $D_{sb(i,j)}$  및 부대역별 초기 임계값  $T_{e_s}$ 는 식 (6)과 같다.

$$D_{sb(i,j)} = \sigma_{sb(i,j)}^2 \times Max_{sb(i,j)} \quad ,$$

$$T_{e_s} = \gamma \quad , \quad \sigma_{sb(i,j)} < 1$$

$$T_{e_s} = \gamma - \log(D_{sb(i,j)}) \quad , \quad \sigma_{sb(i,j)} \geq 1 \quad (6)$$

식 (6)에서  $sb(i,j)$ 는 웨이블릿 분해된 영상의 부대역을 나

타내고,  $D_{sb(i,j)}$  는 분산  $\sigma_{sb(i,j)}^2$  과 최대값  $Max_{sb(i,j)}$  을 이용하여 계산되어진 각 부대역의 드리프트 값을 나타낸다. 상수  $\gamma$  는 실험적으로 초기 값 40을 설정하고,  $Te_s$  는 삽입할 때 사용될 초기 임계값을 나타낸다.

위터마크를 검출하기 위해서 사용될 검출 임계값  $T2$  의 초기 임계값  $Tu_s$  계산은 영상의 왜곡을 고려하여 완충값을 적용한다. 실험적으로 각 부대역별 초기 임계값은 표준편차가 1보다 작을 때 10만큼 값을 더하고, 표준편차가 1보다 같거나 클 때는 드리프트만큼 더한 값으로 재계산한다. 위터마크의 검출 알고리즘에서 검출 임계값  $T2$  계산을 위한 초기 임계값  $Tu_s$  은 식 (7)과 같다.

$$\begin{aligned} Tu_s &= Te_s + 10, \quad \sigma_{sb(i,j)} < 1 \\ Tu_s &= Te_s + D_{sb(i,j)}, \quad \sigma_{sb(i,j)} \geq 1 \end{aligned} \quad (7)$$

한편, 본 논문에서 제안한 삽입 임계값  $T1$  과 검출 임계값  $T2$  는 식 (8)과 같다.

$$T1 = Te_s + \Delta T, \quad T2 = Tu_s + \Delta T \quad (8)$$

식 (8)에서  $\Delta T$  는 그림 6의 임계값 설정에 따른 위터마크 요구조건들 사이의 상호 보완 관계를 고려하여 실험을 통하여 결정된다.

### 3.2 인간시각시스템에 따른 적응적 삽입 기법

인간의 시각 특성을 살펴보면 첫째, 사람의 눈은 고해상도 대역과 대각선 성분의 대역에서의 잡음에 대하여 둔감하다. 둘째, 사람의 눈은 휘도가 큰 영역에서의 잡음에 대하여 둔감하다. 이에 대한 착안으로 인간의 시각적 특성을 웨이블릿 계수에 대하여 적용하면 다음과 같다.

- ① DWT 계수들이 높은 주파수를 나타내는 부대역에 속하고, HH 부대역에 속할수록, 이 계수들에 대한 잡음은 사람의 눈에 둔감하다.
- ② DWT 계수들에 대응되는 기저 대역의 계수들의 크기 값이 클수록, 이 계수들에 대한 잡음은 사람의 눈에 둔감하다.

따라서 정성적인 웨이블릿 계수들의 인간 시각에 대한 특징을 정량화된 값으로 나타내면 식 (9)와 같이 표현할 수 있다.

$$\beta_{i,j} = I^{sb} \left( \frac{i}{2^{3-i}}, \frac{j}{2^{3-j}} \right) \quad (9)$$

식 (9)에서  $I$  는 영상의 그레이 레벨을 나타내고,  $i$  는 각각 고주파 부대역들의 레벨을 나타내며,  $i$  및  $j$  는 각각 계수들에 대한 세로 및 가로 방향으로의 위치를 나타낸다. 또한,  $sb$  는 인간시각시스템을 적용하기 위한 선택 대역을 나타내고,  $\beta_{i,j}$  는 각 고주파 부대역의 계수와 동일한 공간에 위치하는 기저대역의 계수값이 크면 큰 값을 갖는다. 즉 밝은

영역에 대한 잡음은 어두운 영역의 잡음보다 사람의 눈에 둔감하다는 것을 나타낸다. 이는 견고성과 비가시성을 높이기 위하여 선택한 대역에서의 인간시각시스템을 적용한 것이다. 이러한 웨이블릿 계수에 대해 인간시각시스템을 이용하여 위터마크를 삽입함으로써 견고성과 비가시성을 동시에 만족할 수 있으며, 식 (9)는 기저대역 LL3를 선택대역  $sb$  에 포함할 수 있으나 원본영상의 손실 정도를 고려하여 선택대역인  $sb$  중 기저대역 LL3을 제외하여 화질열화를 보완하고자 한다. 또한 그림 6에서 보는 바와 같이 웨이블릿 레벨별로 다른 스케일 계수를 사용함으로써 인간시각시스템에 맞는 화질 개선 및 견고성을 높이고 위터마크 정보를 최적으로 삽입할 수 있는 결과를 얻을 수 있다.

본 논문은 다해상도 부대역의 레벨별 적응 스케일 계수를 적용함과 동시에 영상에 지각할 수 없을 정도의 위터마크 정보를 최대로 삽입하기 위해서 가중치 함수를 사용한다. 가중치 함수는 인간시각시스템의 특성을 이용한 함수로서, 2.4절의 Lewis와 Knowles[20]가 제안한 인간의 시각 특성을 반영하여 계산한다.

LL3	LH3 0.1	LH2	LH1 0.3
HL3	HH3 0.1	0.2	
	HL2	HH2	
	0.2	0.2	
	HL1	HH1	
	0.3	0.3	

그림 6. 각 레벨에 따른 적응 스케일 계수.

Fig. 6. The adaptive scale factors of each level.

### 3.3 위터마크 삽입 알고리즘

본 논문에서 제안한 위터마크 삽입 알고리즘은 이산 웨이블릿 변환을 이용하여 원본영상을 다해상도의 부대역으로 분해한 후 저주파 성분인 LL3 대역을 제외한 나머지 부대역들에 대해 위터마크를 삽입한다.

<단계 1> 위터마크 생성

위터마크로 유일한 사용자 키로 생성된 가우시안 랜덤 벡터를 사용한다.

<단계 2> 이산 웨이블릿 변환

이산 웨이블릿 변환을 이용하여 원본영상을 3-레벨 다해상도의 부대역으로 분해하고 위터마크 삽입영역으로 저주파 성분인 LL3대역은 제외한다. 이산 웨이블릿 변환은 Antonini[21]가 제안한 9/7탭을 가지는 필터를 사용하며 표 1과 같은 필터계수를 갖는다.

표 1. 웨이블릿 필터 계수.

Table 1. Wavelet filter coefficients.

수직방향 분해 필터	수평방향 분해 필터
-6.4538883e-002	-3.7828456e-002
-4.0689418e-002	-2.3849465e-002
4.1809227e-001	1.1062440e-001
7.8848562e-001	3.7740286e-001
4.1809227e-001	-8.5269898e-001
-4.0689418e-002	3.7740286e-001
-6.4538883e-002	1.1062440e-001
	-2.3849465e-002
	-3.7828456e-002

<단계 3> 삽입 임계값 및 인간시각시스템

워터마크 삽입할 때 선택되는 중요계수는 3.1절의 식 (6)과 식 (7), (8)을 이용하여 계산한 삽입 임계값  $T_1$ 을 사용하여 워터마크가 삽입될 대역의 모든 계수  $C_{sb(i,j)}$ 와 삽입 임계값  $T_1$ 을 비교하여  $C_{sb(i,j)} > T_1$  이면 중요한 계수로 선택한다. 그리고 3.2절에서 언급한바와 같이, 본 논문은 인간시각시스템을 이용한 적응 스케일 계수와 가중치를 계산하고 워터마크를 삽입할 때 사용한다.

<단계 4> 워터마크 삽입

워터마크의 삽입 과정은 워터마크 정보의 삽입용량과 원본영상의 화질, 소유권 증명 강도 및 영상의 특성 등을 고려하여 최적의 임계값을 이용하여 식 (10)과 같이 워터마크를 삽입한다.

$$C'_{sb(i,j)} = C_{sb(i,j)} + \alpha^L |C_{sb(i,j)}| w_{sb(i,j)} x_k \quad (10)$$

식 (10)에서  $C_{sb(i,j)}$ 는 원본영상을 나타내고,  $C'_{sb(i,j)}$ 는 워터마크가 삽입된 영상을 나타낸다.  $\alpha^L$ 과  $w_{sb(i,j)}$ 는 각각 3.2절의 인간 시각 특성을 고려한 인간시각시스템을 이용하여 계산된 레벨  $L$ 별 적응 스케일 계수와 가중치를 나타내며,  $x_k$ 는 사용자 키로 생성된 워터마크를 나타낸다. 한편 본 논문은  $\alpha^L$ 을 그림 6과 같이 각 부대역의 레벨별 스케일 계수로 표현하고  $w_{sb(i,j)}$ 를 삽입할 때 사용하는 가중치로 표현한다.

<단계 5> 역 이산 웨이블릿 변환

<단계 2>에서 사용한 웨이블릿 변환 필터를 이용하여 역 이산 웨이블릿 변환을 하고 역 변환을 통하여 워터마크가 삽입된 영상을 얻는다.

본 논문은 기존의 임계값을 이용한 워터마크 삽입 기법을 개선하여, 최적의 임계값을 실험적으로 설정하여 워터마크 정보의 삽입용량을 최적화한다. 또한 인간시각시스템을 이용하여 워터마크 삽입용량에 따른 비가시성의 단점을 향상시키고 다양한 영상 처리에 견고하도록 한다. 그림 7과 그림 8은 식 (10)을 이용한 워터마크의 전체적인 삽입 절차와 검출 절차를 각각 나타낸 것이다.

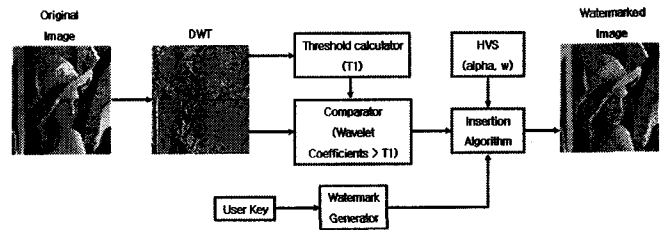


그림 7. 워터마크 삽입 절차.

Fig. 7. Watermark embedding procedure.

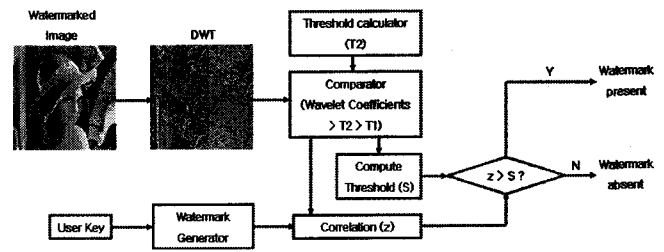


그림 8. 워터마크 검출 절차.

Fig. 8. Watermark extracting procedure.

3.4 워터마크 검출 알고리즘

워터마크의 검출 과정은 원본영상뿐만 아니라 어떠한 추가 정보도 요구하지 않는 블라인드 (Blind)방식으로 워터마크 삽입에 사용된 사용자 키만으로 워터마크 검출 알고리즘을 수행하여 삽입된 워터마크를 얻게 된다.

<단계 1> 이산 웨이블릿 변환

워터마크를 검출하기 위하여 워터마크가 삽입된 영상을 삽입 알고리즘에서 적용된 레벨과 동일한 레벨의 필터 계수로 이산 웨이블릿 변환하여 다해상도의 부대역 영상으로 분해한다.

<단계 2> 검출 임계값

워터마크 검출할 때 사용되는 검출 임계값  $T_2$ 는 식 (6)과 식 (7), (8)을 사용하여 계산되며, 워터마크가 삽입된 대역의 모든 계수  $C'_{sb(i,j)}$ 와 검출 임계값  $T_2$ 을 비교하여  $C'_{sb(i,j)} > T_2$ 를 만족하는 계수를 선택하여 원본 영상 없이 워터마크를 검출한다.

검출된 워터마크의 유사도 측정을 위해서 식 (11), (12)와 같이 영상 전체에 대한 상관도와 임계값을 계산하여 상관도  $z$ 가 임계값  $S$ 보다 크면 워터마크의 존재를 확인한다.

$$z = \frac{1}{M} \sum_i \hat{C}_i x_i \quad (11)$$

$$S = \frac{\alpha^L}{2M} \sum_i |\hat{C}_i| \quad (12)$$

식 (11)과 식 (12)에서  $\hat{C}_i$ 는 워터 마킹된 영상의 계수이고,  $x_i$ 는 워터마크를 나타내며,  $M$ 은 웨이블릿 계수  $> T_1 > T_2$ 을 만족하는 계수의 총수이다. 또한 스케일 계수  $\alpha^L$ 은 비가시도와 견고함을 고려하여 웨이블릿 부대역의 레벨별로

다른 스케일 계수를 적용하였다. 따라서 그림 6과 같이 워터 마킹된 영상의 계수  $\hat{C}_i$ 가 속한 부대역의 레벨에 따라 삽입할 때 사용한 적응 스케일 계수  $\alpha'$ 를 동일하게 적용하여 유사도를 측정한다. 그림 9는 제안한 디지털 워터마킹 시스템의 전체 흐름도를 나타낸 것이다.

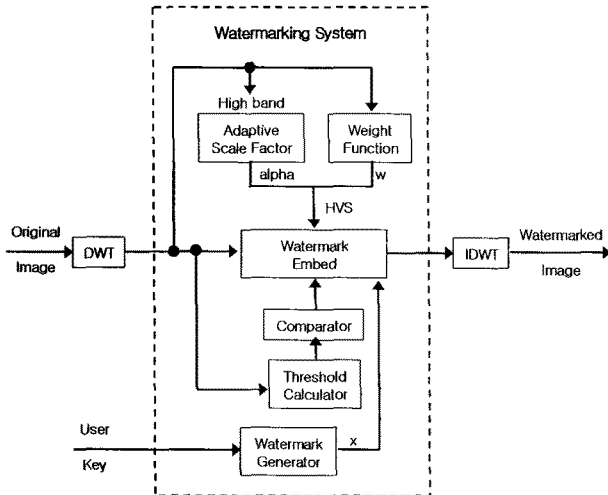


그림 9. 워터마킹 시스템 흐름도.

Fig. 9. The flow diagram of watermarking system.

#### IV. 실험 결과 및 성능 평가

##### 4.1 실험 환경

본 논문에서 제안한 워터마크 삽입 및 검출 알고리즘을 실험적으로 확인하기 위해 MATLAB 7.0.1로 프로그래밍하여 구현하였고, 시스템은 Windows XP professional 운영체제를 사용하였다. CPU는 Pentium IV 2.80GHz 이며 512MB의 메인 메모리가 장착된 컴퓨터에서 시스템을 구현하였다. 제안한 워터마킹 알고리즘을 이용하여 512×512 크기의 그레이 영상 Airplane, Baboon, Barbara, Girl, Lena, Pepper, Vase, 그리고 Boat에 대해 워터마크 키가 100으로 하는 1000개의 워터마크를 대상으로 실험을 수행하였다.

##### 4.2 제안한 워터마킹 알고리즘 실험 결과

###### 4.2.1 삽입 및 검출 알고리즘 실험 결과

본 논문에서 구현한 웨이블릿은 표 1의 9/7탭을 가지는 필터를 이용하여 영상 분해하였다. 제안한 워터마크 삽입 알고리즘에 사용되는 삽입 임계값, 적응 스케일 계수 그리고 가중치는 식 (6), (7), (8) 및 (9)에서 계산된 값을 사용하였으며, 삽입할 때 워터마크 키 값으로 100을 주었다. 원본영상의 웨이블릿 계수  $C_{sb(i,j)}$ 가  $C_{sb(i,j)} > T1$  을 만족하는 웨이블릿 계수들은 식 (10)에 따라 부대역의 레벨  $L=1$  일

때 스케일 계수  $\alpha$ 는 0.3, 부대역의 레벨  $L=2$ 일 때 스케일 계수  $\alpha$ 는 0.2, 부대역의 레벨  $L=3$ 일 때 스케일 계수  $\alpha$ 는 0.1을 각각 적용하여 워터마크를 삽입한다. 그림 10은 제안한 삽입 알고리즘의 결과를 나타낸다. 그림 10의 (a)는 원본 Lena영상, (b)는 워터마킹된 Lena영상, (c)는 원본 Lena영상과 워터마킹된 영상의 차영상을 나타낸다.



(a) 원본Lena영상. (b) 워터마킹된 Lena영상. (c) 차영상.

(a) Original Lena image. (b) Watermarked Lena Image.

(c) Difference Image.

그림 10. 워터마크 삽입 및 검출 결과.

Fig. 10. The results of watermark embedding and extracting.

제안한 워터마크 삽입 알고리즘으로 워터마크를 삽입한 후 원본영상과 워터 마킹된 영상을 비교한 결과 워터마크의 삽입 여부를 육안으로 감지할 수 없었으며, 영상의 화질을 거의 훼손시키지 않았다. 제안한 워터마크 검출 알고리즘에서 사용된 이산 웨이블릿 변환은 삽입할 때와 동일한 필터 및 레벨을 사용하였으며, 검출할 때 사용되는 검출 임계값은 삽입 임계값과 마찬가지로 식 (6), (7), (8) 및 (9)에서 계산된 값을 사용하였다. 워터 마킹된 영상의 웨이블릿 계수  $C'_{sb(i,j)}$ 가  $C'_{sb(i,j)} > T2$  를 만족하는 웨이블릿 계수들을 선택하여 워터마크를 검출한다. 그림 11은 공격이 없는 워터 마킹된 Lena 영상에 대한 워터마크 검출기 응답 결과를 나타낸다. 검출기 응답 결과 다른 워터마크 키에서는 검출이 없었으며, 실제 워터마크를 삽입할 때 사용한 100의 키 값에서 상관도가 검출 임계값 보다 높게 검출됨을 알 수 있었다. 또한 상관도는 40.597 정도로 나타남을 알 수 있었다.

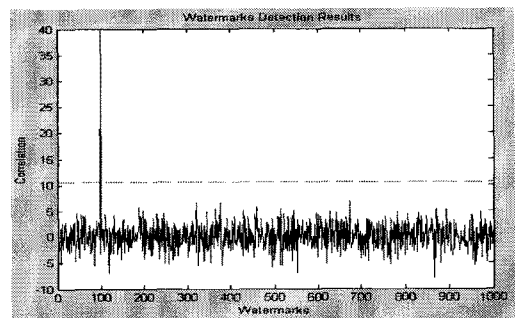


그림 11. 워터 마킹된 Lena 영상에 대한 워터마크 검출기 응답.

Fig. 11. The detector response to the watermarked Lena image.

4.2.2 워터마크 삽입 후 영상의 손실과 워터마크 삽입용량

표 2에 나타난 것과 같이 인간시각시스템을 이용한 워터마크 삽입 알고리즘을 다양한 실험영상에 대한 성능을 분석한 결과 시각적으로 영상의 손실을 알아볼 수 없었으며, 다양한 실험영상에 대한 평균 PSNR 측정값은 40[dB] 이상이었다.

표 2. 실험영상에 대한 성능.

Table 2. The performance of testing images.

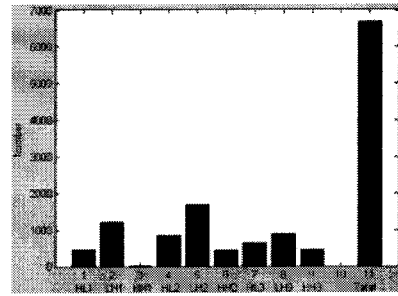
영상	크기	PSNR [dB]
Airplane	512×512	40.058
Baboon	512×512	38.034
Barbara	512×512	38.843
Girl	512×512	42.761
Lena	512×512	41.077
Pepper	512×512	40.758
Vase	512×512	38.114
Boat	512×512	40.518
평균		40.020

워터마크 정보의 삽입용량은 그림 5에서 보는 것과 같이 워터마킹 요구조건 사이의 상호 보완 관계를 충분히 감안하여야한다. 워터마크 정보의 삽입용량 최적화를 위해 제안한 삽입 임계값을 이용하여 워터마크를 삽입한 실험 영상들을 대상으로 삽입된 워터마크 정보의 양을 계산하였다. 워터마크 정보의 삽입용량을 계산한 결과 영상의 특성에 따라 적응적으로 삽입용량이 결정되었다. 그림 5처럼 삽입된 워터마크 정보의 양에 따라 워터마킹 요구조건들 사이의 상호 보완 관계를 감안할 때 워터마크 정보의 삽입용량에 따른 영상의 손실정도를 고려하여야한다. 그림 12는 Lena, Barbara, 그리고 Airplane 영상에 대한 워터마크 정보의 최적 삽입용량을 나타내며, 표 3은 전체 실험 영상에 대한 워터마크의 최적 삽입용량을 나타낸다.

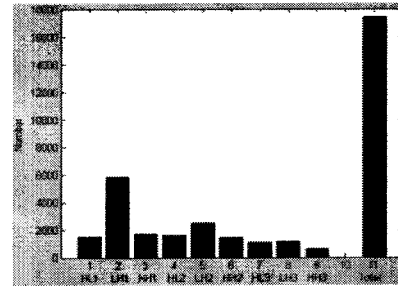
표 3. 실험 영상에 대한 워터마크의 최적 삽입용량.

Table 3. Optimum insertion capacity of the digital watermark of testing images.

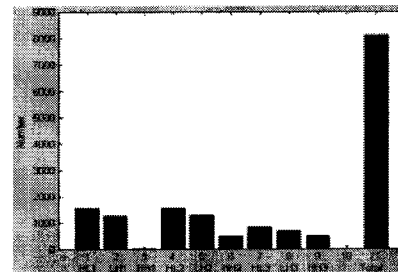
부대역 영상	부대역									전체
	LH1	HL1	HH1	LH2	HL2	HH2	LH3	HL3	HH3	
Airplane	1260	1542	2	1286	1533	477	676	836	479	8091
Baboon	3934	8222	1919	3105	3596	2218	1465	1347	1002	26908
Barbara	5794	1522	1707	2496	1594	1437	1145	1096	597	17388
Girl	745	471	36	881	622	187	746	618	279	4526
Lena	1226	453	15	1695	850	439	895	653	461	6687
Pepper	916	494	4	1303	926	235	897	897	369	6041
Vase	2571	1422	27	1680	1462	682	1118	935	499	10996
Boat	1003	328	9	1574	781	318	861	594	384	5852



(a) Lena



(b) Barbara



(c) Airplane

그림 12. 워터마크의 최적 삽입 용량.

Fig. 12. Optimum insertion capacity of the digital watermark.

4.3 임계값 설정에 따른 영향

본 논문은 인간시각시스템을 이용하여 웨이블릿 분해된 부대역의 레벨별로 적응적 스케일 계수를 계산하여 워터마크가 삽입되는 강도를 조절하였다. 또한 인간의 시각특성을 고려하여 가중치 함수를 적용함으로써 표 3과 같이 영상에 지각할 수 없을 정도의 워터마크를 최적으로 삽입하였다. 한편 삽입 강도와 워터마크의 삽입 용량의 최적화를 고려하였으며, 이 외에도 워터마킹 요구조건들 사이의 관계를 충분히 고려한 워터마킹 기법을 제안한다. 워터마크의 삽입 용량 최적화를 위한 최적의 임계값 설정은  $\Delta T$  값에 따라 현저한 차이를 보인다. 표 4는  $\Delta T$  값에 따른 워터마킹 요구조건들 사이의 상호 보완 관계와 인간시각시스템의 적용 결과이다. 워터마크의 삽입용량 최적화를 위해서 다양한 영상을 대상으로 실험하여 얻어진  $\Delta T$  값을 기초로 하여 실험값 5에서 40의 범위에 대해 영상의 손실 정도, 상관도, 그리고 워터마크의 판별 여부를 나타낸 것이다.



표 4. 임계값 설정에 따른 성능.

Table 4. The performance due to the threshold set.

$\Delta T$	Detector Response	Authentication (Yes/No)	Non-HVS PSNR[dB]	HVS PSNR[dB]
5	33	Y	38.281	39.438
10	35.275	Y	38.614	39.855
15	38.584	Y	38.975	40.514
20	41.138	Y	39.184	40.927
30	49.043	N	39.375	41.281
40	54.375	N	39.738	41.627

최적임계값을 위한  $\Delta T$  값에 따른 요구조건들 사이의 관계들이 그림 5와 같이 나타남을 알 수 있었다.  $\Delta T$  값이 커질수록 삽입할 때 사용한 100 키 값 이외의 다른 키 값에서도 워터마크가 검출됨으로서 소유권 인증에 문제가 있음을 알 수 있었다. 또한 각 부대역의 레벨별로 다른 적응적 스케일계수를 사용함으로써 인간시각시스템에 맞는 화질개선과 가중치에 따른 견고성을 높인 결과를 얻을 수 있었다.

4.4 제안한 워터마킹 알고리즘의 성능 평가

제안한 워터마킹 기법을 평균화 필터링, 가우시안 저역통과 필터링, 흐림, 예리화, 중앙값 필터링, 가우시안 잡음첨가, 중앙 잘라내기, JPEG 손실 압축 등의 다양한 공격에 대해 실험하였다.

성능 평가 1 : 흐림 공격에 대한 실험

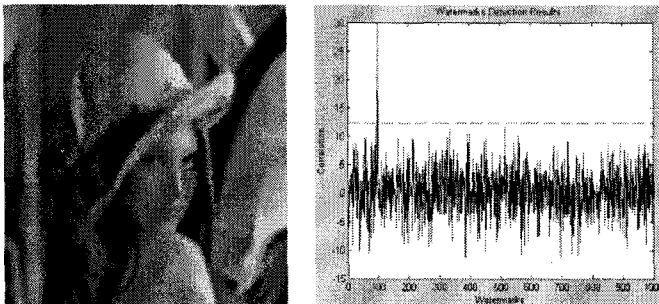


그림 13. 흐림 공격에 대한 워터마크 검출기 응답.  
Fig. 13. Watermarked image after blurring (Left), and the corresponding detector response (Right)

성능 평가 2 : 가우시안 잡음 첨가에 대한 실험

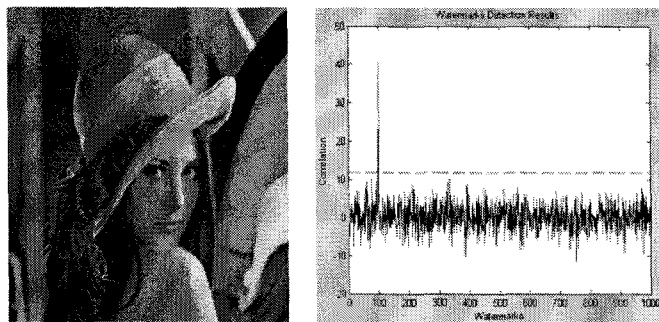


그림 14. 가우시안 잡음 첨가에 대한 워터마크 검출기 응답.  
Fig. 14. Gaussian noise added to watermarked image (Left), and the corresponding detector response (Right).

성능 평가 3 : 중앙 잘라내기에 대한 실험

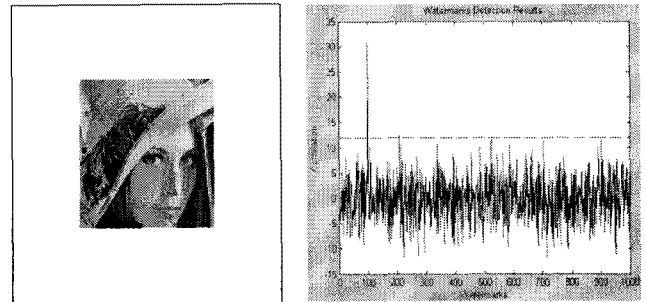


그림 15. 중앙 잘라내기에 대한 워터마크 검출기 응답.  
Fig. 15. Watermarked image after cropping equal to half size (Left), and the corresponding detector response (Right).

흐림 등은 삽입된 워터마크를 제거하려는 고의적인 공격과 컨텐츠를 수정할 경우에 생길 수 있는 방법들이다. 그리고 압축은 효율적인 저장이나 전송을 위하여 행해질 수 있으며, 이때 삽입된 워터마크의 손실을 줄 수 있다. 또한 전송 중 잡음 등이 부과될 수 있는데 이런 경우에도 소유권 증명을 위하여 삽입된 워터마크를 검출할 수 있어야 한다. 다음은 이러한 공격들에 대해서 삽입된 워터마크를 검출하여 소유권을 주장할 수 있는지에 대한 다양한 실험들의 결과를 나타낸다.

다양한 공격들에 대한 워터마크의 강인성 실험에서 살펴본 바와 같이 제안한 워터마킹 기법은 100의 키 값에서 확연히 검출되었고 상관도 역시 높은 값을 보였다. 그리고 다른 사용자의 키 값에 대해 검출이 되지 않아 사용자의 소유권 증명이 가능하였다. 표 5는 각종 공격들에 대한 검출기 응답의 상관도 값을 정량적으로 나타낸 것이다.

표 5. 각종 공격에 대한 워터마크 검출기 응답.  
Table 5. The detector response to watermarked Lena image for various attacks.

공격 종류	검출기 응답
평균 필터링(3×3)	21.708
가우시안 저역통과 필터링(3×3, $\sigma=0.5$ )	35.153
흐림	29.238
예리화( $\alpha=0.5$ )	48.614
중앙값 필터링(3×3)	27.683
가우시안 잡음첨가 ( $mean=0, \sigma^2=0.002, 20\%$ )	40.389
중앙 잘라내기(50%)	30.794
JPEG 손실 압축(Q: 9%)	34.742
JPEG 손실 압축(Q: 6%)	33.116
JPEG 손실 압축(Q: 4%)	27.761
JPEG 손실 압축(Q: 3%)	27.127

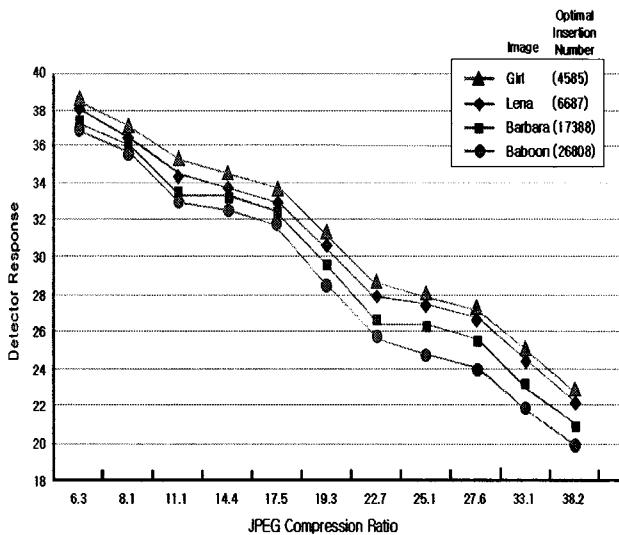


그림 16. JPEG 압축 비율에 따른 검출기 응답.

Fig. 16. The detector response to JPEG compressed version of the watermarked testing images.

그림 16은 JPEG 압축 비율에 따른 검출기 응답을 나타낸 것이다. JPEG 압축의 파라미터는 최소 6.3 : 1의 비율에서 최대 38.2 : 1의 비율을 사용하여 실험하였다. 또한 압축 비율에 따른 검출 상관도와 영상의 복잡도, 워터마크 정보의 최적 삽입용량 등을 고려하여 실험함으로써 본 논문에서 제안한 워터마크의 삽입용량 최적화를 위한 디지털 워터마크 알고리즘 연구의 실험적 결과를 나타낸 것이다.

## V. 결 론

본 논문은 이산 웨이블릿 변환을 기반으로 워터마크 정보의 삽입용량 최적화를 고려하여 다양한 영상에 대해서 적절한 임계값 적용을 위한 연구를 하였다. 원본영상을 3-레벨로 웨이블릿 변환하여 중간 주파수 부대역 및 고주파 부대역에 워터마크 정보를 삽입하였다. 제안한 워터마크 기법은 워터마크 정보의 삽입용량 최적화를 위한 임계값을 계산하여 중요한 웨이블릿 계수를 선택하며, 최적의 임계값 계산은 영상의 손실 정도와 검출 상관도 등 워터마크 요구조건들 사이의 상호 보완 관계를 충분히 고려하였다. 또한 인간의 눈이 고주파 영역에 둔감하다는 인간의 시각적 특성을 이용한 인간시각시스템을 적용하여 웨이블릿 부대역의 레벨별로 적응적 스케일 계수를 조정함으로써 영상의 화질을 개선하였고, 원본 영상에 사람이 지각할 수 없을 정도의 워터마크 정보를 최대로 삽입하기 위해 가중치 함수를 적용하였다. 최적의 임계값 선택에 따라 워터마크 정보의 삽입용량을 최대로 하고, 인간시각시스템에 따라 가중치 함수를 워터마크 삽입할 때 적용함으로써 워터마크 요구조건들 사이의 상호 보완 관계를 최대로 만족하며, 임계값과 삽입 강도를 조정하여 워터마크를 삽입하는 기존의

워터마크 기법들 보다 높은 강인성과 향상된 비가시도의 결과를 얻을 수 있었다. 제안한 워터마크 기법의 성능 평가를 위해 워터 마킹된 영상의 손실 정도를 측정하여 워터마크 정보의 삽입 양에 따른 비가시성과 강인성 및 화질열화 등을 실험하였다. 실험한 결과 각기 다른 다양한 영상에 대해 평균 PSNR 40[dB] 이상으로 시각적인 차이를 거의 느끼지 못하였다. 그리고 JPEG 손실 압축, 흐림, 예리화, 가우시안 잡음첨가, 중앙 잘라내기 등의 공격에 대해 강인함을 보였으며 그 밖의 선형 및 비선형 필터링 등 여러 공격에 대해서도 워터마크 검출 결과가 우수하게 측정되어 영상 처리 및 인위적인 공격에 강인함을 알 수 있었다. 본 논문에서 제안한 워터마크 알고리즘은 기존의 워터마크 기법들과 비교해 볼 때 알고리즘의 처리시간은 4.1절의 실험환경에서 MATLAB 7.0.1버전으로 실행할 때 10% 더 소요되지만 워터마크 정보의 삽입용량을 최적으로 하면서도 견고성과 비가시성을 동시에 만족함을 실험을 통하여 확인할 수 있었다.

## 참고 문헌

- [1] H. Berghel, "Protection Owner Ship Rights through Digital Watermarking," *IEEE Computer Magazine*, pp. 101-103, July 1996.
- [2] S. Katzenbeisser and F. Petitcolas, *Information Hiding Techniques for Steganography and Digital Watermarking*, Artech House, 2000.
- [3] I. Cox, M. Miller and J. Bloom, *Digital Watermarking*, Academic Press, 2002.
- [4] N. Johnson, Z. Duric and S. Jajodia, *Information Hiding: Steganography and Watermarking Attacks and Countermeasures*, Kluwer Academic Publishers, 2001.
- [5] X. Xiao, X. Sun and M. Chen, "Second-LSB-Dependent Robust Watermarking for Relational Database," *IEEE Third International Symposium on Information Assurance and Security 2007*, pp. 292-300, August 2007.
- [6] N. Agarwal and A. Goyal, "Robust Watermarking in Transform Domain using Edge Detection Technique," *IEEE International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications 2007*, pp. 59-63, December 2007.
- [7] E. First and X. Qi, "A Composite Approach for Blind Grayscale Logo Watermarking," *IEEE 2007 ICIP*, Vol. 3, pp. 265-268, September 2007.
- [8] A. Venkataramana and P. Raj, "Image Watermarking Using Krawtchouk Moments," *IEEE ICCTA '07*, pp. 676-680, March 2007.
- [9] Y. Lin, H. Huang, and W. Hsu, "An Embedded Watermark Technique in Video for Copyright Protection," *IEEE ICPR '06*, Vol. 4, pp. 795-798,

2006.

- [10] J. Ohnishi and K. Matsui" Embedding a Seal into a Picture under Orthogonal Wavelet Transform," *Proceedings of the Third IEEE International Conference on Multimedia Computing and System 1996*, pp. 514-521, 1996.
- [11] C. Hus and J. Wu, "Multiresolution Watermarks for Digital Images," *IEEE Trans. Circuits Syst. II*, Vol. 8, No. 8, pp.1097-1101, Aug. 1998.
- [12] A. Said and W. Pearlman, "A New Fast and Efficient Image Codec Based on Set Partitioning in Hierarchical Trees", *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 6, June 1996.
- [13] R. Dugad, K. Ratakonda and N. Ahuja, "A New Wavelet-based Scheme for Watermarking Images," *Proc. of IEEE ICIP '98*, Chicago, IL, USA, October 1998.
- [14] H. Wang, P. Su and C. Kuo, "Wavelet-based Digital Image Watermarking," *Optics Express*, p.497, Dec., 1998.
- [15] S. Oh, H. Lee and K. Lee, "A Wavelet Transform based Watermarking for Digital Signatures," *Proc. ITU-CSCC 2000*, pp. 857-860, 2000.
- [16] A. Kerckhoffs. "La Cryptographie Militaire," *Journal des sciences militaires*, Vol. 9, pp. 5-38, January 1883.
- [17] M. Kutter and F. Petitcolas. "A Fair Benchmark for Image Watermarking Systems," *In Ping Wah Wong and Edward J. Delp, editors, proceedings of electronic imaging '99, security and watermarking of multimedia contents*, Vol. 3657, pp. 226-239, January 1999.
- [18] G. Langelaar, R. Lagendijk and J. Biemond, "Real-time labeling of MPEG-2 compressed video", *Jour. of Visual Comm. Image Representation*, Vol. 9, December 1998
- [19] M. Miller and J. Bloom, "Computing the Probability of False Watermark Detection," *Proceeding of Workshop on Information Hiding*, pp. 1-15, 1999.
- [20] A. Lewis and G. Knowles, "Image Compression Using the 2-D Wavelet Transform," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol. 1, No. 2, pp. 244-250, April 1992.
- [21] M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu and I. Daubechies, "Image Coding Using Wavelet Transform," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol. 1, No. 2, pp. 205-220, April 1992.



이 강 승(Kang Seung Lee)

1985년 2월 연세대학교 전자공학과(공학사)  
 1991년 2월 연세대학교 대학원 전자전공  
 (공학석사)  
 1995년 8월 연세대학교 대학원 전자전공  
 (공학박사)

2000년 1월 ~ 2001년 2월 Stanford University 전기공학과  
 초빙교수

1996년 3월 ~ 현재 동의대학교 공과대학 컴퓨터공학과 교수  
 관심분야 : 멀티미디어신호처리, 적응신호처리, DSP응용



박 기 범(Ki Bum Park)

2004년 2월 동의대학교 공과대학  
 컴퓨터공학과(공학사)  
 2006년 2월 동의대학교 대학원  
 컴퓨터공학전공(공학석사)

2006년 3월 ~ 현재 메타라이츠 연구원  
 관심분야 : 영상신호처리, 디지털신호처리, DSP응용