

# 에너지 양자화를 이용한 적응적 블라인드 워터마킹

정희원 홍 베드로\*, 엄 일규\*\*, 김 유신\*\*\*

## Adaptive Blind Watermarking Using Energy Quantization

Bedro Hong\*, Il-kyu Eom\*\*, Yoo-shin Kim\*\*\* *Regular Members*

### 요 약

디지털 워터마킹은 지적재산권과 보안성을 결합시키는 기술이다. 블라인드 워터마킹은 원본데이터나 삽입한 워터마크를 필요로 하지 않기 때문에 어려운 워터마킹 기술 중의 하나이다. 본 논문에서는 웨이블릿 영역의 에너지 양자화를 이용하여 워터마크를 삽입하는 방법을 제안한다. 제안 방법은 공격의 종류와 강도에 따른 영상의 에너지 변화에 대하여 워터마크 추출강도가 적응적으로 변하기 때문에 강인한 결과를 얻을 수 있다. 모의실험에서 삽입된 워터마크의 비가시성을 유지하였으며, 잡음첨가, 잘라내기, 블러링, 샤프닝 등의 다양한 공격에 대해서 강인함을 보여주었다.

### ABSTRACT

Digital watermarking is a technique which blends intellectual property right with security. Blind watermarking is one of the difficult watermark technique because original data or inserted watermark is not needed. In this paper, we propose a new blind watermarking method using energy quantization in wavelet domain to insert watermark. The proposed method is robust for various attacks and attack strength because watermark strength is adaptively changed for energy variation of attacks. Simulation results show the proposed method is robust to various attacks such as noise addition, cropping, blurring, sharpening, maintaining imperceptibility.

### I. 서 론

전 세계적으로 고속 정보통신망이 설치되고 컴퓨터와 인터넷이 널리 보급됨으로써, 디지털 데이터는 무제한적으로 복제될 수 있게 되었다. 이러한 불법복제에 대한 저작권보호의 방법으로 디지털 워터마킹의 개발이 요구되어왔다. 디지털 워터마킹은 기본적으로 다음과 같은 사항이 요구된다. 첫째, 삽입된 워터마크는 저작권을 가진 자에 의해서만 접근이 가능해야 한다. 또한 워터마킹 알고리즘을 알고 있더라도 비밀 키가 없으면 워터 마크에 접근이 불가능하여야 한다. 둘째, 삽입된 워터마크는 필터링, 잡음첨가, 기하학적 공격 등에 견딜 수 있어야 한다. 반대로 지폐의 위조 방지 등에 적용될 수 있는 Fragile 워터마킹의 경우에

는 변화에 의해서 깨어지기 쉬운 성격을 지녀야 한다. 마지막으로 워터마크가 삽입된 영상은 인간의 시각으로 워터마크의 삽입 여부를 알 수 없어야 한다.

위의 세 가지 요구사항은 서로 trade-off 관계에 있으므로 워터마크의 강도를 조절하여 절충점을 찾아야 한다. 일반적으로 워터마크의 강도를 높이면 비가시성과 보안성은 낮아지고 강인성은 높아지게 된다. 반대로 워터마크의 강도를 낮추면 비가시성과 보안성은 높아지고 강인성은 낮아진다. 디지털 워터마킹은 저작권보호, 불법복제 방지, 핑거프린팅 (불법복제의 발원지 추적), 방송 감시, 데이터 인증, 인덱싱, 데이터 은닉 등의 목적으로 쓰일 수 있으며, 이 중 인덱싱, 데이터 은닉 등의 응용분야에서는 위의 세 가지 요구사항 중 일부가 요구되지 않는 경우도 있다.

\* (주)아바드 \*\* 밀양대학교 정보통신공학과(ikeom@mnu.ac.kr), \*\*\* 부산대학교 컴퓨터 및 정보통신 연구소(kimys@pusan.ac.kr)  
 논문번호 : 030547-1211, 접수일자 : 2003년 12월 12일

위터마킹 기법은 삽입되어지는 영역에 따라 공간 영역 위터마킹(special domain method), 주파수 영역 위터마킹(frequency domain method)으로 분류할 수 있다. 공간 영역 위터마킹 기법[8]은 영상의 화소의 크기에 직접적으로 변형을 가하는 방법으로 구현이 간단하고 빠른 수행의 장점이 있지만, 영상압축과 필터링, 노이즈첨가 등의 공격에 강인하지 못하다. 주파수 영역 위터마킹 기법[2-7],[9],[10]은 영상을 DFT(Discrete Fourier Transform), DCT(Discrete Cosine Transform), DWT(Discrete Wavelet Transform) 등의 주파수 영역으로 변환하여 계수의 크기를 변형시킴으로써 위터마크를 삽입하는 방법으로, 공간 영역 기법에 비해서 다소 구현이 복잡하지만 각종 공격에 강인하다.

위터마크를 추출할 때 원본 영상과의 대조가 필요한 추출방식을 정보에 근거한 추출(informed detection)이라고 하고, 원본 영상과의 대조가 필요하지 않은 추출방식을 블라인드 추출(blind detection)이라고 한다. 블라인드 위터마킹과 퍼블릭 위터마킹은 서로 혼용해서 쓰기도 하지만, 블라인드 위터마킹은 위터마크 추출방법에 따른 분류이며 퍼블릭 위터마킹은 보안과 관련된 분류이다. Cox 등[1]은 위터마킹을 보안성 측면에서 프라이비트와 퍼블릭 위터마킹의 두 가지로 분류하였는데 프라이비트 위터마킹 시스템은 일반인들이 위터마킹의 삽입, 추출, 제거를 할 수 없도록 하고 있으며, 퍼블릭 위터마킹 시스템은 일반인에게 단지 위터마크 추출만을 허용한다. 퍼블릭 위터마킹의 경우는 일반인들에게 위터마크를 추출할 수 있도록 하므로 원본을 사용하여 위터마크를 추출할 수 없다.

본 논문에서는 웨이블릿 영역의 국부 에너지를 이용한 블라인드 위터마킹 방법을 제안한다. 중요한 웨이블릿 계수를 많이 포함하는 위치에서 국부 에너지를 사용하여 위터마크를 삽입하고 추출함으로써 위터마크의 반복 삽입과 유사한 효과를 볼 수 있다. 또한 일반인들이 위터마크에 대한 접근시도를 다시 한 번 방지하기 위하여 발생한 난수와 위터마크 위치의 조합을 이용한 보안장치를 추가하였다. 아울러 제안방법은 다양한 공격 때문에 야기된 에너지의 변화에 적응적으로 변화하는 위터마크의 추출 방법을 제안한다.

모의실험 결과 본 논문의 방법이 블러링, 샤프닝, 크로핑, 압축 등의 공격에서 강인함을 보여 주었다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 기존의 위터마킹 방법들에 대해서 알아보고, III장에서는 제안 위터마킹 방법을 구체적으로 설명한다. IV장에서 모의

실험 결과를 제시하고, 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

## II. 기존의 위터마킹 방법

Cox 등[5]은 DCT 변환 영역에서 1000개의 중요계수를 선택해서 위터마크를 삽입하는 방법을 제안하였는데, 선택되어진 계수  $v_i$ 에 대해서 다음과 같이 위터마크 삽입이 이루어진다.

$$v_i = v_i(1 + ax_i) \tag{1}$$

여기서  $v_i$ 는 위터마크 삽입으로 변형된 계수를 나타내고,  $a$ 는 삽입강도,  $x_i$ 는 삽입될 위터마크를 나타낸다. 식 (1)에서 볼 수 있는 바와 같이 위터마킹에 의한 계수의 크기 변화가 계수의 크기에 비례하도록 삽입함으로써, 비가시성을 유지할 수 있다. 이 방법은 비교적 강인하지만 원본과 대조에 의한 추출방법을 사용해야 하므로 효율성 측면에서 극복해야 할 과제를 안고 있다.

[7]은 웨이블릿 영역에서 Lewis와 Knowles[11]의 인간시각모델에 대한 가설을 바탕으로 밝기, 부대역별, 텍스처 영역별로 다른 가중치를 두어 위터마크를 삽입하는 방법이다. 이 방법은 최저 주파수 대역의 부대역을 제외한 모든 부대역에 위터마크를 삽입하여 삽입 비트 수를 최대화하여 보다 강인한 결과를 유도하였으나 압축 등에 약한 최고 주파수 대역의 부대역에 대하여 삽입강도를 크게 함으로써 화질의 저하를 발생시키는 단점이 있다.

[2-7],[9-10]의 방법은 대부분 지적소유권에 관한 위터마크의 강인성을 위한 방법들으로써 기하학적 변형에 대하여 강인하지 못한 단점이 있다. 기하학적 변형에 대한 강인성을 위한 연구로써 [13]은 LPM(log polar map)과 DFT의 조합으로 회전, 크기 변화, 이동에 대한 불변 영역으로 변환하여 삽입하는 방법이며, [14]는 위터마크와 함께 템플릿을 삽입하고 템플릿을 이용하여 기하학적인 변형을 복구한 후 위터마크를 추출하는 방법이다. [15]는 모멘트의 불변성을 이용한 위터마킹 방법이다.

Hsieh 등[10]은 Shapiro[12]의 EZW(Embedded Zerotree Wavelet)로부터 부대역 사이의 부모-자식계수의 관계를 이용하여 QSWT(Qualified Significant Wavelet Tree)를 유도하고, 중간 주파수 영역 부대역의 QSWT의 웨이블릿 계수들을 변형함으로써 강인성

과 비가시성을 동시에 만족시키기 위한 방법을 제안하였다. 이 방법은 워터마크 삽입 후 비가시성이 우수하고 강인함을 보였지만, 워터마크를 검출할 때 원본 영상이 요구되는 문제점을 가지고 있다.

[2-4]는 원본 없이 워터마크를 추출할 수 있는 블라인드 워터마킹 방법으로 각각 몇 가지 문제점들을 가짐을 알 수 있다. Yuan 등[2]이 제안한 방법은 영상을 웨이블릿 변환으로 3단계 분해하여 웨이블릿 영역의 중간 주파수 대역에 해당하는 부대역에 워터마크를 삽입하는 방식을 사용한다. 이 방법은 워터마크 삽입 후 화질의 열화가 크고, 실험 결과로써 강인성에 대하여 충분 증명하지 못하였다. Hong 등[3]은 웨이블릿 영역에서 워터마크 위치를 난수에 의해 지정하였으며, 워터마크 위치의 계수와 주변 웨이블릿 계수의 크기와 비교하는 방법을 사용한 블라인드 워터마킹 알고리즘을 제안하였다, 실험결과 비가시성 실험에서 만족할 결과를 얻었으며, 필터링, 노이즈첨가, JPEG 압축 등의 공격에 강인하였고, 잘라내기, 회전, 크기변화 등의 기하학적 변형에도 강인하였다. 하지만 워터마킹 방법이 원본 영상의 특성을 그대로 사용함으로써 워터마크가 삽입되지 않은 원본영상에 대하여 워터마크 검출을 시도했을 때 워터마크가 삽입된 결과로 나오게 되는 치명적인 결함을 가지고 있다.

[4]의 방법은 JPEG 압축 영역에 두 개의 비밀 키를 사용하여 워터마크를 삽입하고, 워터마크 삽입에 사용한 두 개의 비밀 키를 사용하여 검출하는 블라인드 워터마킹 방법으로써 압축과 동시에 워터마크를 삽입하는 효율성을 가지고 있다. 그리고 워터마크를 반복적으로 삽입함으로써 강인성을 높였고 비가시성에서 우수함을 보여주었다. 이 방법은 재압축의 공격에 강인함을 보여주었으나, 필터링, 노이즈첨가 등의 다양한 공격에 대하여서는 강인함을 보여주지 못하였다.

### III. 제안 방법

본 논문에서는 웨이블릿 변환 영역의 중간 주파수 부대역의 에너지를 이용하여 원본 없이 워터마크를 추출할 수 있는 블라인드 워터마킹 방법을 제안한다. 또한 다양한 공격에 대한 에너지 변화에 적응적인 워터마크 추출 방법을 이용하여 보다 강인성을 높이는 방법을 제안한다.

#### 3.1 워터마크 및 워터마크 삽입 위치의 결정 방법

웨이블릿 고주파 부대역에 대한 워터마크의 삽입은 인간 시각특성의 관점에서 비가시성이 확보될 수 있지만 강인성이 떨어진다. 반면 저주파 부대역의 워터마크 삽입은 강인성은 높으나 화질에 심각한 영향을 줄 수 있다. 표 1은 공격받은 영상의 부대역 평균 에너지와 원본 영상의 부대역 평균 에너지의 비율을 나타낸다. 부대역별 에너지의 변화 비율은 표 1에서 보는 바와 같이 대각 에지 영역(HH)이 수직 에지 영역(LH) 및 수평 에지 영역(HL)에 비하여 각종 공격에 대한 에너지 변화가 훨씬 크므로 비교적 강인하지 못함을 알 수 있다.

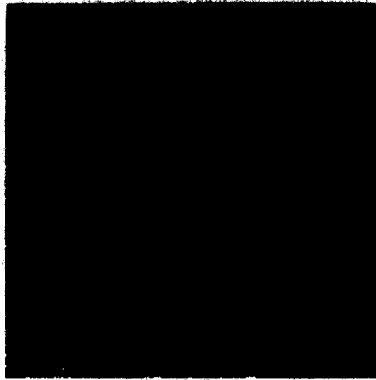
표 1. 다양한 공격에 대한 부대역별 에너지 변화비율.

	Attack	LH-band	HL-band	HH-band
Lena	Blur	0.0609	0.0605	0.0048
	Sharpen	4.4469	4.6044	13.9753
Baboon	Blur	0.0398	0.0317	0.0225
	Sharpen	4.8480	4.0211	10.0390

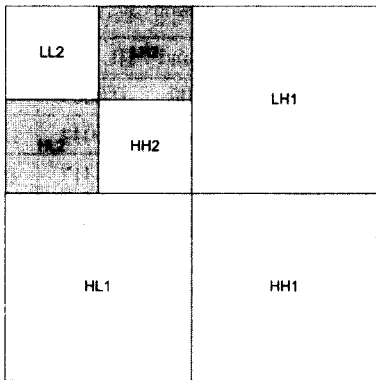
따라서 워터마크는 비가시성과 강인성의 절충점으로써 중간 주파수를 가지는 LH 부대역과 HL 부대역에 삽입하는 것이 적절하다. 워터마크의 삽입을 위해 먼저 원본 영상을 2-레벨로 웨이블릿 변환을 수행한다. 그림 1은 웨이블릿 분해와 분해된 웨이블릿 영역에서 워터마크의 삽입 영역을 나타낸다. 워터마크의 삽입 영역은 공격에 대한 에너지 변화 비율과 주파수 특성을 고려하여 LH2와 HL2로 결정한다. 그림 1에 나타난 웨이블릿 영역 중에서 워터마크를 삽입할 영역 R에 대한 위치패턴 P를 난수에 의해 발생시킨다. 즉,

$$P = \{P_k | P_k \in 0, 1, k = 0, 1, 2, \dots \in R\} \quad (2)$$

여기서  $k$ 는 웨이블릿 계수의 공간적 위치이고,  $P_k$ 는 그 위치에 발생된 난수이다. 만약  $P_k=1$ 이면 워터마크가 삽입될 위치로 판단하고,  $P_k=0$ 이면 워터마크를 삽입하지 않는다.  $P_k=1$ 일 경우이라도 웨이블릿 계수의 에너지가 적다면 각종 공격에 취약하기 때문에 워터마크를 삽입하는 것은 적절하지 못하다. 따라서 본 논문에서는  $P_k=1$ 인 위치에서 4개의 계수를 가지는 이웃 영역을 설정하고, 이 영역에 대한 에너지의 크기로 워터마크의 삽입 여부를 판단한다.



(a)



(b)

그림 1. Lena 영상에 대한 웨이블릿 분해 (a)분해 영상, (b) 워터마크 삽입영역 R(LH2, HL2).

그림 2는 P에 의한 워터마크 삽입 위치와 이웃 영역을 나타내고 있다. 검은색은 삽입 위치를 나타내고, 회색은 이웃 계수를 포함한다. 위치 패턴을 발생시킬 때,  $P_k=1$ 의 값은 그림 2에서 보는 바와 같이 국부영역이 서로 겹치지 않도록 발생시킨다.

워터마크가 삽입될 위치  $k$  ( $P_k=1$ 인 경우)의 국부 에너지를  $E_k$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E_k = \frac{1}{|N(k)|} \sum_{l \in N(k)} c_l^2 \quad (3)$$

식 (3)에서  $c_l$ 은 웨이블릿 계수를 나타내고,  $N(k)$ 는  $c_k$ 와  $c_k$ 의 이웃 영역 계수의 집합을 나타낸다. 그리고  $|N(k)|$ 는 이웃 영역 웨이블릿 계수의 수이다.

$E_k$ 를 기준으로 하여 워터마크의 삽입 영역 P를 다음과 같이 P'으로 갱신한다.

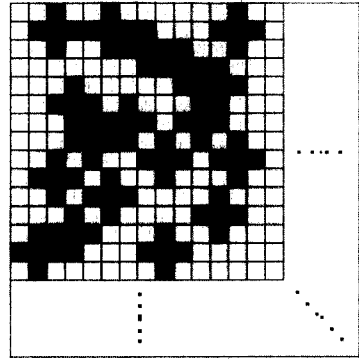


그림 2. 워터마크 삽입위치와 이웃 영역.

$$P'_k = \begin{cases} P_k & \text{if } E_k \geq T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

식 (4)에는 보는 바와 같이 지정된 워터마크 위치  $P_k$ 에서 국부 에너지가 문턱값 T이하인 경우에는 워터마크를 삽입을 하지 않는다. 이것은 에너지가 아주 작을 경우 워터마크가 삽입되는 것을 방지하기 위해서이다. 다시 말하면, 중요계수를 많이 포함하는 국부영역에 워터마크를 삽입하기 위함이다.

최종적으로 삽입될 워터마크 영역 P'에 대하여 난수패턴 S를 다음과 발생시킨다.

$$S = \{S_k | S_k \in \{-1, +1\}, k \in R\} \quad (5)$$

또한 워터마크  $W_k$ 는 다음과 같이 결정된다.

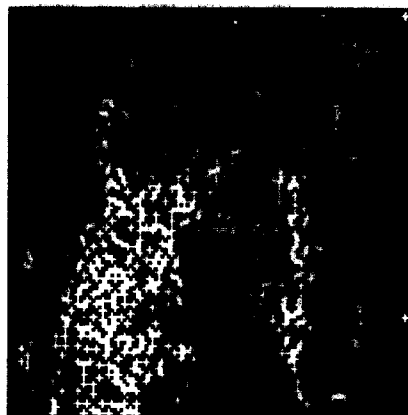
$$W_k = S_k P'_k \quad (6)$$

식 (6)에 의해서 워터마크 삽입 비트 수는 영상의 특성에 따라서 적응적으로 삽입되게 된다. 그림 3은 Lena영상과 Baboon영상의 부대역별 워터마크 삽입 위치를 나타낸다. Lena와 Baboon을 비교해 볼 때 Baboon의 삽입 비트 수가 훨씬 더 많은 것을 알 수 있다. 삽입 비트 수는 강인성과 비례하고 영상의 화질과 반비례한다. 워터마크 삽입은 그림 3에서 보는 바와 같이 화질의 열화를 잘 느끼지 못하는 영상의 에지 영역과 텍스처 영역에 삽입된다.

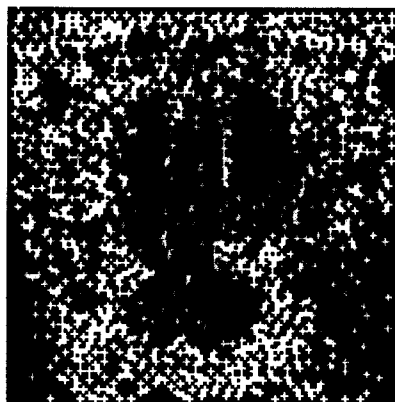
### 3.2 에너지 양자화에 의한 워터마크 삽입

본 논문에서는 워터마크를 삽입하기 위해 국부 에너지를 양자화하고, 양자화 레벨 및 역양자화 에너지

를 이용한다. 국부 에너지  $E_k$ 를 비균등 양자화기  $Q$ 로 양자화하면 다음과 같은 양자화 레벨을 얻을 수 있다.



(a)



(b)

그림 3. LH 부대역내의 워터 마크 삽입 위치 (a) Lena, (b) Baboon.

$$Kq_m = Q[E_k], \quad m = 0, 1, 2, \dots, M \quad (7)$$

여기서  $q_m$ 은 양자화 레벨을 나타내고,  $K$ 는 양자화 레벨의 폭을 조정하기 위한 상수이다.  $K$ 는 에너지 변화에 따른 워터마크의 삽입 강도를 조절하기 위한 중요한 요소로 사용된다.  $E_k$ 의 값이 양자화 레벨  $Kq_m$ 과  $Kq_{m+1}$  사이에 존재할 경우 역양자화 이후 복원된 에너지  $E'_k$ 은 워터마크  $W_k$ 와 양자화 레벨  $m$ 을 이용하여 표 2와 같이 결정한다.

표 2. 워터마크와 양자화 레벨에 의한 역양자화 에너지.

$W_k$	$m$	$E'_k$
1	Even	$Kq_{m+1}$
1	Odd	$Kq_m$
-1	Even	$Kq_m$
-1	Odd	$Kq_{m+1}$

본 논문에서는 표2와 같이 구해진  $E'_k$ 를 이용하여 웨이블릿 계수를 수정함으로써 워터마크를 삽입한다. 즉, 워터마크가 삽입된 웨이블릿 계수  $c'_i$ 은 다음과 같다.

$$c'_i = \alpha c_i, \quad i \in N(k) \quad (8)$$

식 (8)에서 볼 수 있는 바와 같이 워터마크는  $c_k$ 에만 삽입되는 것이 아니라  $c_k$ 와 이웃 계수 4개에 대하여 동시에 삽입된다. 워터마크의 강도  $\alpha$ 는 국부 영역의 에너지의 양자화 오차  $E_k - E'_k$ 로 결정한다. 즉,

$$\begin{aligned} E_k - E'_k &= E_k - \frac{1}{|N(k)|} \sum_{c_i \in N(k)} (c'_i)^2 \\ &= E_k - \alpha^2 \frac{1}{|N(k)|} \sum_{c_i \in N(k)} c_i^2 \\ &= E_k - \alpha^2 E_k \end{aligned} \quad (9)$$

따라서

$$\alpha = \sqrt{\frac{E'_k}{E_k}} \quad (10)$$

식 (10)에서 볼 수 있는 바와 같이 웨이블릿 계수는 국부 에너지의 양자화 오차에 비례하여 조정된다.

일반적으로 그러나 양자화에 의한 워터마킹 방법은 워터마크의 위치가 노출될 우려가 있기 때문에 본 논문에서는 새로운 보안장치를 마련하여 보안성을 강화하는 방법을 제안한다. 앞에서 위치  $k$ 의 워터마크를 결정하기 위하여 난수 패턴  $S_k$ 를 이용하였다. 보안성 강화를 위하여 본 논문에서는  $S_{k-1}$ 을 이용하여 표 3과 같이 역양자화 에너지를 결정하는 방법을 제안한다.  $S_{k-1}$ 의 정보는 워터마크 삽입과정과 무관하기 때문에 워터마크와 원본이미지에 대한 접근을 방지함으로써 보안성을 높일 수 있다.

표 3.  $S_{k-1}$ 을 이용한 역양자화 에너지의 결정

$W_k$	$S_{k-1}$	$E_k$	
		Even $m$	Odd $m$
1	1	$Kq_{m+1}$	$Kq_m$
1	1	$Kq_m$	$Kq_{m+1}$
-1	-1	$Kq_m$	$Kq_{m+1}$
-1	-1	$Kq_{m+1}$	$Kq_m$

3.3 워터마크의 추출

워터마크가 삽입된 영상은 일반적으로 다양한 공격에 의해서 변형된다고 볼 수 있다. 변형된 영상의 워터마크  $W_k^a$ 를 구하기 위해서는 변형된 영상의 에너지  $E_k^a$  양자화 레벨 및 식 (7)에서 정의된 에너지 변화에 따른 워터마크의 삽입 강도를 조절하기 위한 상수  $K$ 가 필요하다. 공격에 의해 변형된 영상은 다양한 공격에 따라 에너지의 평균값 및 동적 영역(dynamic range) 등이 변하게 되는데, 이는 앞서 정의된 양자화 레벨의 변화를 초래하게 된다. 따라서 본 논문에서는 에너지의 동적 영역에 적응적으로 대응하기 위하여 워터마크를 삽입할 때의 역양자화 에너지와 공격당한 영상의 평균 에너지의 비율만큼  $K$ 를 조절하여 새로운 상수를 다음과 같이 도입한다.

$$K^a = \frac{K \cdot \sum E_l^a}{\sum E_l^a} \quad (11)$$

식 (11)에 의하여 워터마크의 추출 강도는 다양한 공격에 의해 변화된 에너지의 비율만큼 적응적으로 조절된다. 또한 평균 역양자화 에너지는 워터마크의 키로 저장된다. 만약  $E_k^a$ 가 과 사이에 존재한다면 워터마크  $W_k^a$ 는 표 4와 같이 검출될 수 있다. 표 4에서 조건 1은

$$|E_k^a - K^a q_m| \geq |E_k^a - K^a q_{m+1}|$$

$$|E_k^a - K^a q_m| < |E_k^a - K^a q_{m+1}|$$

표 4. 워터마크의 검출

$m$	조건 1				조건 2			
	even	odd	even	odd	even	odd	even	odd
$S_{k-1}$	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1
$W_k^a$	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1

IV. 모의실험 결과

본 논문에서 제안한 방법의 성능을 검증하기 위해서 블러링, 샤프닝, 잘라내기, 잡음 첨가, 히스토그램 등가화, JPEG압축에 대하여 강인성을 실험하였다. 실험 영상은 512X512의 Lena, Baboon, Peppers 등의 영상을 사용하였고, 웨이블릿 변환은 Daubechies의 쌍직교 웨이블릿 필터를 사용하였다. 워터마크가 삽입된 영상의 비가시성의 객관적인 평가를 위한 PSNR 및 워터마크가 삽입된 비트 수는 표 5와 같다. 워터마크의 삽입 비트 수는 텍스처나 에지 영역의 분포에 비례하여 즉, 영상의 복잡도에 따라 적응적으로 이루어졌음을 알 수 있다.

표 5. 다양한 실험 영상의 PSNR 및 워터마크 삽입 비트수.

실험 영상	Lena	Baboon	Peppers
PSNR	42.44dB	38.04dB	42.97dB
삽입비트수	1006 bit	2865 bit	861 bit

워터마크 삽입 영상에 대하여 1000개의 seed number를 사용하여 유사도를 측정하였는데, Lena 영상에 대한 각 seed별 유사도는 그림 4와 같다. 삽입 워터마크에 해당하는 seed number 300에 대하여만 유사도가 1.0이고, 나머지는 거의 0에 가까운 값으로 워터마크 삽입 영상에 대해서만 높은 유사도가 나타나는 것을 알 수 있다. 유사도를 측정하기 위해서는 다음과 같이 정규화된 상관도(normalized correlation)  $NC$ 를 사용하였다.

$$NC = \frac{W \cdot W^a}{W \cdot W} \quad (12)$$

표 6에서는 Lena 영상에 대하여 Hsieh[10]의 결과와 제안 방법을 비교한 결과를 나타내었다. 본 논문의 방법은 Hsieh의 방법과 비교하여 블러링과 샤프닝에 대하여 비슷한 공격에 대하여 우수한 강인성을 보이고 있다.

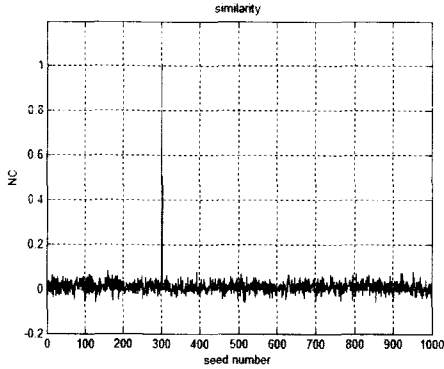


그림 4. Lena 영상의 워터마크 유사도

표 6. Lena 영상에 대한 Hsieh 방법[10]과의 비교

공격종류	Hsieh 방법		제안 방법	
	Sharpen	Blur	Sharpen	Blur
PSNR	35.1	36.5	33.20	35.89
비트 에러율	3.52%	4.00%	0.00%	0.20%

표 7은 다양한 공격과 다양한 공격에 의해 열화된 영상의 PSNR 및 유사도를 나타내었다. 표 7에서 볼 수 있는 바와 같이 본 논문의 방법은 블러링, 샤프닝, 잡음 첨가, JPEG 압축, 히스토그램 균등화 등 다양한 공격에 대하여 강인한 결과를 보여 주고 있다.

### V. 결론

본 논문에서는 웨이블릿 영역의 국부 에너지를 이용한 블라인드 워터마킹 방법을 제안하였다. 제안 방법은 중요한 웨이블릿 계수를 많이 포함하는 위치에서 국부 에너지를 사용하여 워터마크를 삽입하고 추출함으로써 워터마크의 반복 삽입과 유사한 효과를 볼 수 있다. 또한 일반인들이 워터마크에 대한 접근 시도를 다시 한 번 방지하기 위하여 발생된 난수와 워터마크 위치의 조합을 이용한 보안장치를 추가하였다. 아울러 제안방법은 다양한 공격 때문에 야기된 에너지의 변화에 적응적으로 변화하는 워터마크의 추출 방법을 제안한다. 모의실험 결과로 볼 때 제안된 방법은 삽입된 워터마크의 비가시성을 확보하였으며, 각종 공격에 강인함을 보여주었다. 특히 블러링, 샤프닝 등의 필터링 공격에 대하여 우수한 성능을 보였다. 제안 방법은 원본과 항상 대조하여야 하는 불편함을 해소시켜 줄 수 있으며 방송 모니터링 등의 분야의 응용에 적합할 것으로 본다.

표 7. 다양한 공격에 대한 강인성 실험 결과

Attack	Lena		Baboon		Peppers		
	PSNR (dB)	NC	PSNR (dB)	NC	PSNR (dB)	NC	
Blur	38.69	0.998	30.51	0.999	37.08	1.000	
	35.89	0.996	27.45	0.974	34.51	0.998	
	34.23	0.968	25.97	0.896	33.02	0.933	
	33.11	0.891	25.09	0.782	32.03	0.844	
	32.28	0.791	24.50	0.670	31.30	0.751	
	31.63	0.704	24.08	0.580	30.73	0.670	
	31.07	0.620	23.77	0.495	30.26	0.612	
	30.65	0.541	23.53	0.414	29.87	0.552	
	30.27	0.493	23.33	0.354	29.53	0.480	
	29.94	0.457	23.16	0.323	29.24	0.415	
	29.65	0.400	23.02	0.311	28.97	0.347	
	29.39	0.334	22.90	0.271	28.74	0.305	
Sharpen	33.20	1.000	24.68	0.997	31.57	1.000	
	24.75	0.956	16.24	0.911	22.22	0.872	
	17.93	0.803	11.67	0.480	14.33	0.633	
Histogram equalize	19.46	0.895	16.45	0.894	20.98	0.835	
crop (center 25%)	11.67	0.441	10.81	0.825	11.20	0.693	
noise 첨가	$\sigma = 5$	33.50	1.000	32.62	1.000	33.56	1.000
	$\sigma = 10$	27.97	0.952	27.71	0.956	28.04	0.967
	$\sigma = 15$	24.54	0.682	24.40	0.724	24.62	0.698
	$\sigma = 20$	22.09	0.473	22.02	0.458	22.17	0.389
JPEG 압축 Q (%)	Q = 80	37.47	1.000	31.85	1.000	35.83	1.000
	Q = 70	36.14	1.000	30.28	1.000	35.14	1.000
	Q = 60	35.50	0.998	29.23	0.999	34.62	1.000
	Q = 50	34.96	0.986	28.47	0.990	34.17	0.993
	Q = 40	34.42	0.972	27.76	0.967	33.69	0.972
	Q = 30	33.71	0.938	26.98	0.909	33.11	0.923
	Q = 20	32.56	0.713	25.93	0.721	32.13	0.758

### 참고 문헌

- [1] I.J.Cox, M.L.Miller J.A.Bloom, *Digital Watermarking*, Academic Press. 2002.
- [2] Quan Yuan, Hongxun Yao, Wen Gao, Sanghyun Joo, "Blind watermarking method based on dwt middle frequency pair," *IEEE International Conference of Multimedia & Expo.* vol.2, pp.473-476, 2002.
- [3] Ikpyo Hong, Intaek Kim, Seung-Soo Han, "A blind watermarking technique using wavelet transform," *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, Vol.3, pp.1946-1950,

- 2001.
- [4] P.H.W.Wong, O.C.Au, "A blind watermarking technique in JPEG compressed domain," *IEEE International Conference on Image Processing*, Vol. 3, pp. 497-500 2002.
- [5] I.J.Cox, J.Kilian, F.T.Leighton, and T.Shamoon, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," *IEEE Trans. Image processing*, Vol.6, pp.1673-1687, 1997.
- [6] A. Lumini, D. Maio, "A Wavelet-based Image Watermarking Scheme," *International Conference on Information Technologz, Coding and Computing*, pp. 122 -127, 2000.
- [7] Barni, M. Bartolini, F. Piva, A. "Improved wavelet-based watermarking through pixel-wise masking," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol.10 pp.783-791, 2001.
- [8] I. Pitas and N. Nikolaidas "Copyright Protection of Images Using Robust Signature," *IEEE International. Conference on Acoustics, Speech & Signal Processing*, pp 2168-2171, 1996.
- [9] 노상윤, 박상주, "HVS 특성을 이용한 Wavelet 변환 공간에서의 효과적인 워터마킹 기법에 관한 연구" *한국통신학회논문집*, Vol.27 No.4, 2002.
- [10] M. S. Hsieh. D. C. Tseng. Y. H. Huang. "Hiding Digital Watermarks Using Multiresolution Wavelet Transform," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol.48, No. 5, pp.875-882, 2001.
- [11] A. S. Lewis and G. Knowles, "Image compression using the 2-D wavelet transform," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol.1, pp. 244-250, 1992.
- [12] J. M. Shapiro, "Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients," *IEEE Trans. Signal Processing*, Vol.41, pp.3445-3426, 1993.
- [13] O'Ruanaidh and T. Pun, "Rotation, scale and translation invariant digital image watermarking," *IEEE International Conference on Image Processing*, Vol.1, pp.536-539, 1997.
- [14] S. Pereira, T. Pun, "Robust Template matching fo affine resistant image watermarks," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol.9, pp.1123-1129, 2000.
- [15] M. Alghoniemy and A. H. Tewfik, "Image watermarking by moment invariants," *IEEE International Conference on Image Processing*, Vol.2, pp.73-76, 2001.
- [16] G. Langelaar, I. Setyawan, and R. Lagendijk, "Watermarking digital image and video data," *IEEE Signal Processing Mag.*, Vol.917, pp.20-46, 2000.
- [17] J. R. Hernandez and F.Perez-Gonzalez, "Statistical analysis of watermarking schemes for copyright protection of images," *Process. IEEE*, Vol.9, pp.55-68, 2000.
- [18] Q. Cheng and T. S. Huang, "Optimum detection of multiplicative watermarks using locally optimum decision rule," *IEEE International Conference of Multimedia & Expo*. 2001.
- [19] C. I. Podilchuk, W. Zeng, "Image-adaptive watermarking using visual models," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol.10, pp. 148-158, 2001.
- [20] M. Kutter, F. Jordan and F. Bosson, "Digital Signature of Color Images using Amplitude Modulation," *Proc. of SPIE*, Vol.3022, pp. 518-526, 1997.
- [21] D. Kundur, D Hatzinakos, "A robust digital image watermarking method using wavelet-band function. *IEEE International Conference on Image Processing*, pp544-547, 1997.



홍 베드로(Bedro Hong)

정회원

1999년 2월 : 부경대학교 제어계측공학과 졸업

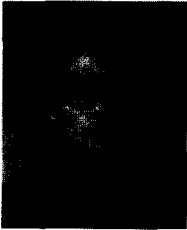
2004년 2월 : 부산대학교 전자공학과 석사

현재 : (주) 이바드 연구원

<주관심분야> 영상처리, 웨이블릿 변환 신호처리, 디지털 워터마킹

엄 일 규(Il-Kyu Eom)

정회원



1990년 2월 : 부산대학교 전자공학과 졸업

1992년 0월 : 부산대학교 전자공학과 석사

1998년 2월 : 부산대학교 전자공학과 박사

1997년 3월~현재 : 밀양대학교

정보통신공학과 부교수

<주관심분야> 통계신호처리, 영상처리, 웨이블릿 변환 신호처리, 신경회로망

김 유 신(Yoo-Shin Kim)

정회원

한국통신학회 논문지 제27권 6A호 참조

현재 : 부산대학교 전자공학과 교수