

# 부대역 에너지 기반 웨이블릿 패킷 변환을 이용한 인증을 위한 세미 프래자일 영상 워터마킹

박 상 주<sup>†</sup> · 권 태 현<sup>††</sup>

## 요 약

디지털 영상 데이터의 인증을 주장하기 위한 세미 프래자일 워터마크를 제안한다. 각 부대역들의 에너지 크기에 기반하는 적응적인 웨이블릿 패킷 분해된 디지털 영상의 특정 중간 주파수 영역의 변환 계수에 양자화 잡음의 형태로 워터마크 정보를 삽입한다. 워터마크의 강도는 인간의 시각인지 특성을 이용하여 조절함으로써, 쉽게 인지되지 않으면서도 영상의 정보/저장에 필요한 압축 등과 같은 비교의적 변형에 강한 특성을 갖는다.

원본 영상에 공격이 가해진 경우, 공격 위치의 웨이블릿 변환 계수뿐 아니라 주위의 계수 값들도 변형될 가능성이 높다. 따라서 인증을 위한 방법으로는 현재 변환 계수와 주변의 계수들의 훼손 여부를 함께 고려하였다. 원본 영상의 훼손 여부를 효율적으로 판단할 수 있고 훼손된 위치도 정밀하게 파악할 수 있다. 응용 분야에 따라 판단 임계값은 사용자가 필요에 따라 설정할 수 있다.

키워드 : 세미 프래자일 워터마킹, 인증, 웨이블릿변환, 웨이블릿패킷 변환

## Semi-Fragile Image Watermarking for Authentication Using Wavelet Packet Transform Based on The Subband Energy

Sang Ju Park<sup>†</sup> · Tae Hyeon Kwon<sup>††</sup>

## ABSTRACT

A new method of Semi-fragile image watermarking which ensures the integrity of the contents of digital image is presented. Proposed watermarking scheme embeds watermark in the form of quantization noise on the wavelet transform coefficients in a specific mid frequency subbands selected from a wavelet packet decomposition based on energy distribution of wavelet transform coefficients. By controlling the strength of embedded watermark using HVS (Human Visual System) characteristic, it is imperceptible by a human viewer while robust against non-malicious attack such as compression for storage and/or transmission.

When an attack is applied on the original image, it is highly probable that wavelet transform coefficients not only at the exact attack positions but also the neighboring ones are modified. Therefore, proposed authentication method utilizes whether both current coefficient and its neighbors are damaged, together. So it can efficiently detect and accurately localize attacks inflicted on the content of original image. Decision threshold for authentication can be user controlled for different application areas as needed.

Key Words : Semi-fragile Watermarking, Authentication, Wavelet Transform, Wavelet Packet Transform

## 1. 서 론

최근, 디지털 기술의 급속한 발전과 인터넷의 보급으로 멀티미디어 데이터의 제작과 공급이 대량화되고 있다. 그러나 디지털 데이터가 가지는 복제의 용이성으로 인하여 인터넷 등을 통한 대량 복제 및 분배가 급속하게 늘어남에 따라 디지털 영상 데이터의 소유권 보호와 영상의 진위 여부 인증에 대한 문제가 중요시 되고 있다. 이런 문제점 해결을

위한 방안의 하나로 최근에 디지털 워터마킹(digital watermarking) 기법이 널리 사용되고 있다[1].

워터마킹 기법은 사용 목적에 따라 소유권 주장을 위한 워터마킹 기법(robust watermark)과 인증을 위한 워터마킹 기법(fragile watermark)으로 나눌 수 있다[2]. 소유권 주장을 위한 워터마킹 기법은 2인 이상의 디지털 데이터의 소유권 분쟁에서 원 저작권자의 소유권을 분명히 하기 위해 워터마크를 사용하는 것이며, 인증을 위한 워터마킹 기법은 디지털 데이터에 가해진 불법적인 변경 또는 공격의 위치와 성격을 파악하여 데이터의 진위 여부를 가리는 것을 목적으로 한다. 여기서 워터마크란 데이터 콘텐츠에 삽입되는 일

\* 이 논문은 2004학년도 홍익대학교 교내연구비에 의하여 지원되었음.

† 정 회 원 : 홍익대학교 전자전기공학부 부교수

†† 정 회 원 : 삼성전기 중앙연구소 ASIC 센터, 주임연구원

논문접수 : 2005년 4월 18일, 심사완료 : 2005년 6월 23일

련의 영상의 고유한 정보를 의미한다.

본 논문에서 살펴보고자 하는 인증을 위한 워터마킹 기법은 워터마크가 삽입된 영상 데이터에 대하여 변경의 존재 여부와 변경이 존재한다고 판단된 경우, 변경된 위치를 감지할 수 있어야만 한다. 대개의 경우, 디지털 영상물은 전송과 저장을 위하여 데이터 압축 등과 같은 일반적인 영상 처리 과정을 거치게 되는데 기존의 인증을 위한 워터마킹 기법들은 이러한 영상 처리 과정에서의 사소한 변화들까지도 고의적인 공격으로 판단하는 문제를 갖고 있다. 그러므로 영상에 대한 공격을 영상 내용물의 변경 여부에 따라서 고의적인 공격(malicious attack)과 비고의적인 공격(non-malicious attack)으로 분류하고[3], 비고의적인 공격에 대하여 강인하면서, 즉 영상 내용의 변경이 없는 것으로 판단하고, 고의적인 공격의 경우에 한하여 영상의 내용이 변경된 것으로 판단할 수 있는 세미 프래자일 워터마킹 기법(semi-fragile watermarking)이 연구되고있다[4~11].

이러한 기법 중 일부를 워터마크의 삽입 영역에 따라 살펴보면 Chang[4], Eggers[5] 등은 영상의 서로 다른 DCT 블록의 변환 계수의 관계가 JPEG 압축 이후에도 쉽게 변하지 않는 성질을 이용한 DCT(discrete cosine transform) 기반의 워터마킹 기법을 제안하였으며, Delp[6], Fridrich[7] 등은 JPEG 압축에 쉽게 변형되지 않도록 DCT 영역에서 생성된 워터마크를 역 DCT 한 이후, 이것을 공간 영역에서 삽입하는 형태의 공간 영역에서의 워터마킹 방법을 제안하였고, Kundur[8]는 웨이블릿 변환 계수에 균등 양자화 과정의 잡음 형태로 워터마크를 삽입하는 웨이블릿 기반의 프래자일 워터마킹 기법을 제안하였다.

본 논문에서는 주파수 영역에서 웨이블릿 패킷 변환을 기반으로 하는 인증을 위한 세미 프래자일 워터마킹 기법을 제안한다. 웨이블릿 변환은 최근 영상/비디오 관련 국제 표준에서 압축의 기본 기술로 널리 사용되고 있으며, 특히 새로운 정지 영상 압축 규약인 JPEG2000은 웨이블릿을 기반으로 하여 우수한 압축 성능과 높은 화질을 제공하고 있으며 현재 표준화 시작단계에 있는 차세대 다중 해상도 동영상 부호화(scalable video coding: SVC)의 경우에도 웨이블릿 변환이 채용될 것으로 보인다. 따라서 웨이블릿 기반의 워터 마킹 기법은 향후의 영상 압축에 적용이 용이할 것으로 보인다. 또한 DWT(discrete wavelet transform)계수에 워터마크를 삽입하는 방법[8],[12]은 공간과 주파수 영역 모두에서의 분석이 가능하고, 특히 공간 영역에서 위치 측정(spatial localization)이 용이하다. 특히 웨이블릿 패킷 분해[13]는 영상의 고유한 주파수 특성에 대한 세밀한 표현이 가능하며, 워터마크가 삽입되는 대역들의 선택에 있어서도 유연성과 정밀함을 제공할 수 있다.

제안하는 워터마킹 방법은 다음과 같다. 먼저 영상을 옥타브 대역 웨이블릿 변환한 이후, 중간 주파수 영역을 각 부대역의 에너지 분포를 고려하여 선택적으로 웨이블릿 패킷 분해를 적용한다. 워터마크는 웨이블릿 패킷 분해된 변환계수 값 들에 인간의 시각 특성(HVS: human visual sys-

tem)을 이용한 양자화를 통하여 영상의 특성에 따라 양자화 잡음(quantization noise)의 형태로 적응적으로 삽입된다. 인증 과정에서는 부대역과 주변 화소 값을 고려한 가중치를 적용하여 공격의 여부를 판단하게 된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서 제안한 워터마크의 삽입 및 추출, 진위 여부 판단 과정의 개요를 설명한 후, 3장에서 모의 실험 결과를 보이고 4장에서 결론 및 향후 연구 과제를 제시한다.

## 2. 제안한 워터마킹 방법

본 장에서는 웨이블릿 패킷 분해를 통한 중간 주파수 영역에서의 각 부대역 계수값들을 양자화 방법을 이용하여 워터마크를 삽입하고 원본 영상 없이 삽입된 워터마크를 검출하고 이를 바탕으로 영상의 훼손여부를 인증하는 새로운 방법을 제안한다.

### 2.1 인간의 시각적 특성을 이용한 시스템

원 영상에 삽입된 워터마크가 시각적으로 보이지 않으면서 압축과 같은 비고의적인 변형에 쉽게 손상되지 않는 상대적으로 강인한 워터마크를 삽입하기 위해서는 워터마크 삽입시, 사용되는 워터마크의 강도가 인간 시각에 미치는 영향을 고려해 보아야 한다. Lewis와 Knowles는 인간의 시각이 고주파 대역과 대각선 방향의 잡음에 둔감하고 고주파가 집중되어 있는 텍스처 영역에서도 둔감하다는 사실을 이용하여 시각의 특성에 따라 계수의 양자화 단계를 적응적으로 변경시켜 압축에 활용하였다[13]. 제안한 워터마킹 방법에서도 워터마크를 삽입하는 과정에서 각 부대역 레벨과 수평, 수직 및 대각선 방향 고주파 대역에 이러한 인간의 시각 특성을 이용한 적절한 가중치 값을 적용하였다[13]~[15]. 이러한 가중치의 적용으로 인간의 시각 특성에 부합되며 비가시적이면서도 전송/보관을 위한 압축과 같은 비고의적인 영상처리 형태의 공격에 보다 강인한 워터마크의 삽입이 가능하다.

### 2.2 워터마크의 삽입

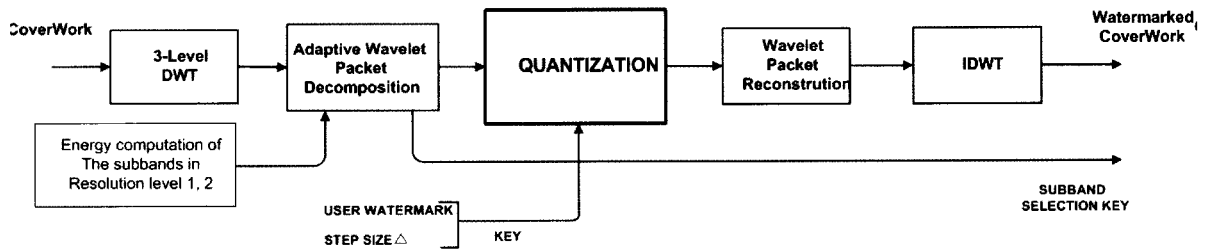
제안한 워터마크 삽입과정은 입력된 영상의 내용에 따라 적응적인 워터마크를 삽입하는 방법이다. (그림 1)은 워터마크 삽입 과정을 개괄적으로 보여준다.

#### 단계 1 - 워터마크 생성

사용자 정의의 키(key)를 사용해서 필요한 길이의 PN-Sequence 형태의 이진 워터마크  $w(i)$ 를 생성한다.

#### 단계 2 - 적응적인 웨이블릿 패킷 분해

입력 영상을 (그림 2)의 (a)와 (b)에서 보듯, 3-레벨 웨이블릿 분해한 후, 중간 주파수 영역인 해상도 레벨 1, 2의 각 부대역들을 1회 웨이블릿 패킷 분해(wavelet packet decomposition)한다. 인간의 시각에 민감한 저주파수 영역과 압축 과정에서 가장 쉽게 손상되는 레벨 3의 고주파 영역에



(그림 1) 워터마크의 삽입 과정

는 워터마크를 삽입하지 않는데, 이것은 화질 열화 방지와 영상 압축에 대한 강인성을 동시에 확보하기 위함이다. 웨이블릿 패킷 분해 시, 해상도 레벨 2의 LH2, HL2, HH2 부대역은 평균 에너지를 계산한 후, 평균 에너지가 가장 높은 부대역에 대하여 추가적으로 한번더 웨이블릿 패킷 분해한다. 일반적으로 에너지가 높은 계수에 삽입된 워터마크는 그렇지 않은 워터마크보다 압축등의 처리에 강한 특성을 가진다. 따라서 평균 에너지가 높은 부대역은 다른 부대역들에 비하여 에너지가 높은 계수들을 가지고 있을 확률이 높다고 할 수 있다. 그러므로 웨이블릿 패킷 분해된 부대역들 가운데 평균 에너지가 가장 높은 부대역을 선택하여 그 대역에 속하는 웨이블릿 변환 계수들에만 워터마크를 삽입한다[8, 14].

을 표시하는 또 다른 부대역 선택키(subband selection key)로 사용하게 된다.

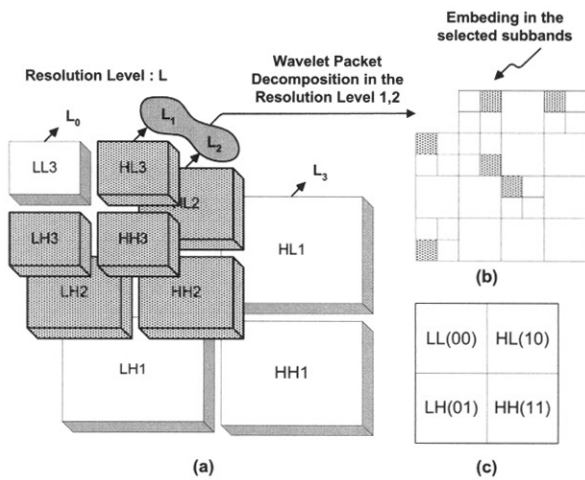
에너지가 높은 계수들을 많이 포함하고 있을 확률이 높은 부대역에만 선택적으로 워터마크를 삽입함으로써 강인성을 제공하며, 적응적인 웨이블릿 패킷 분해를 통하여 워터마크가 삽입되는 영역의 크기를 알아지도록 제한하여 계산량의 감소와 아울러 공격에 대한 공간 영역에서의 위치 추정에 용이성을 제공한다.

**단계 3 - 워터마크 삽입을 위한 양자화**

다음은 선택된 부대역들의 계수를 양자화하여 양자화 잡음의 형태로 워터마크를 삽입하는 과정이다. 제한한 양자화 방법은 [14]에서와 마찬가지로 비균등 양자화기(non-uniform quantizer)를 기본으로 하되 일정한 임계값(T) 이상에서는 균등 양자화기(uniform quantizer)를 적용하였다. 기본 양자화 간격 Δ에 대해 비균등 양자화 적용 임계값 T는  $T = \Delta \times 2^n$ 의 형태를 갖고 양자화기의 입력 구간 중 j번째 양자화 단계의 하한값과 상한값을 각각  $L_j, U_j$ 라 할 때

$$\begin{aligned}
 j \leq n \text{ 이면 } & L_j = \begin{cases} 0, & j=0 \\ \Delta \times 2^{j-1}, & \text{otherwise} \end{cases} \\
 & U_j = \Delta \times 2^j \\
 j > n \text{ 이면 } & L_j = (j-n) \times T \\
 & U_j = L_j + T
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

로 결정된다. 즉 양자화 하려는 계수 값이 T 이하이면 비균등 양자화, 이상이면 균등 양자화를 사용한다. 이는 양자화 하려는 계수 값이 커짐에 따라 양자화 잡음의 크기가 커지는 것을 허용하여 강인성을 확보하되, 일정값 이상으로 커지는 것은 방지하여 심각한 화질 열화가 발생하지 않도록 하기 위함이다. 즉, 모든 계수에 대해서 비균등 양자화를 할 경우 값이 큰 계수에서 화질의 열화가 심해지는 큰 값의 양자화 에러가 발생하므로 일정한 값 이상에서는 양자화 간격을 고정하는 것이다. 이때 임계값이 너무 작다면 화질의 열화는 적어지지만 워터마크의 강인성은 낮아지므로 균등 양자화기를 적용하는 임계값(T)은 화질의 열화와 워터마크의 강도를 고려하여 선택하였다[14]. 다음으로, 워터마크의 삽입을 위하여 j번째 양자화 단계에 속하는 값  $C_j$ 를 이진값 {0, 1}로 매핑(mapping)하는 함수  $f(\cdot)$ 를 다음과 같이 정의한다.



(그림 2) (a) 3-레벨 웨이블릿 분해 (b) 웨이블릿 패킷 분해와 워터마크 삽입 부대역의 예 (c) 웨이블릿 분해 부대역의 인덱스

워터마크가 삽입되는 부대역들은 강인성과 민감성을 동시에 가져야하는 세미 프레저빌 워터마킹의 특성을 만족하기 위하여 해상도 레벨 1, 2의 LH, HL, HH 대역 각각에 대하여 (그림 2)의 (b)와 같이 크기가 동일한 6개의 부대역으로 선택되며, 선택된 부대역들은 (그림 2)의 (c)와 같이 대역별로 2bit의 이진 정보로 표현하여 해상도 레벨 1에서 6bit, 레벨 2에서 12bit, 총 18bit의 비트열(bit stream)로 표현 수 있다. 이때 생성된 비트열은 영상의 주파수 특성에 따라 달라지므로 워터 마크 추출 과정에서 워터 마크가 삽입된 대역

For  $j = \text{even}$ ,

$$f(C_j) = \begin{cases} 0 & \text{if } C_j < C_j' \\ 1 & \text{if } C_j \geq C_j' \end{cases}$$

For  $j = \text{odd}$ ,

$$f(C_j) = \begin{cases} 1 & \text{if } C_j < C_j' \\ 0 & \text{if } C_j \geq C_j' \end{cases}$$

(2)

여기서  $C_j'$ 은  $C_j' = \frac{L_j + U_j}{2}$ , 즉  $j$ 번째 양자화 단계의 상한값과 하한값의 산술평균으로 정의한다.

단계 3을 그림으로 표시하면 (그림 3)과 같다. 즉 단계 2에서 워터마크를 삽입하는 것으로 결정된 변환 계수 값에 0 또는 1의 이진 값이 매핑된다.

**단계 4 - 워터마크의 삽입**

다음의 (식 3)은 단계 1에서 생성한 워터마크  $w(i)$ 를 단계2에서 선택된 부대역의 웨이블릿 계수  $C_{l,d,k}(x,y)$ 에 양자화를 통하여 삽입하는 과정이다.

If  $f(C_{l,d,k}(x,y)) = w(i)$ ,

$$C_{l,d,k}^*(x,y) = C_{l,d,k}(x,y)$$

else

$$C_{l,d,k}^*(x,y) = \begin{cases} C_{l,d,k}(x,y) + \mathcal{D}' & \text{if } C_{l,d,k}(x,y) < C_{l,d,k}'(x,y) \\ C_{l,d,k}(x,y) - \mathcal{D}' & \text{if } C_{l,d,k}(x,y) > C_{l,d,k}'(x,y) \end{cases}$$

(3)

여기서  $\mathcal{D}' = w_{HVS} \times (U - L) / 2$ 으로  $U$ 와  $L$ 은 각각  $C_{l,d,k}(x,y)$ 가 속하는 양자화 구간의 최대값과 최소값을 의미한다.  $w_{HVS}$ 는 HVS(human visual system)를 이용하여 미리 계산해 둔 가중치이다. 앞서 언급한 대로 인간의 시각 특성을 고려하여 LL 변화에 가장 민감한 LH 영역에는 워터마크를 삽입하지 않았고, LH와 HL 영역에서는  $w_{HVS} = 1$ 을, 시각적으로 가장 둔감한 대각선 영역에 해당하는 HH 영역에서는  $w_{HVS} = 1.5$ 를 적용하였으며, 이 값은 실험적으로 [14]에서 구해진 값이다.  $l$ 은 해상도 레벨,  $d$ 는 3-레벨 웨이블릿 변환 후의 LH, HL, HH 부대역의 위치를,  $k$ 는 웨이블릿 패킷 분해 후, 최종적으로 워터마크가 삽입되는 부대역을 표시한다.

즉 삽입하려고 하는 워터마크의 값과 단계 3에서 결정된 이진 값이 일치하는 경우 웨이블릿 계수에는 아무런 조작을 하지 않고 (이 경우는 양자화 잡음은 발생하지 않는다.), 일치하지 않는 경우 해당 양자화 단계의 반대쪽으로 웨이블릿 계수 값을 이동하여 강제로 일치시켜 주되 중간 값으로부터 얼마나 멀리 떨어지도록 할 것인가는 계수가 속하는 대역과 HVS에 의해 결정된다. (이때 양자화 잡음 형태의 어려가 발생하게 된다.)

채용된 기법은 Kunder의 역시 웨이블릿 계수에 양자화 잡음의 형태로 워터마크를 삽입하는 기법[8] 과 비교하여 비균등 양자화와 균등 양자화를 혼합한 형태를 사용하는 것과, 0, 1의 삽입 구간이 인접 구간에서 같은 값을 갖도록 되어 있는 점에서 세미 프레자일 응용에 우수하다. Kunder의 기법은 인증만을 고려하는 방법으로 고정된 양자화 간격을 사용하므로 압축과 같은 비교의적인 변형의 재양자화 과정에서 삽입된 워터마크 값이 손상될 가능성이 높다. 또한 제한된 기법은 동일 양자화 간격을 기준으로 할 때 0과 1로 표시된 워터마크의 삽입 구간이 ...,0,1,1,0,0,1... 형태로 구성되어 ...,0,1,0,1... 형태로 구성된 Kunder의 방법에 비하여 재양자화 과정에서 인접 구간으로 계수 값이 이동한 경우에도 삽입된 워터마크의 값은 보존될 가능성이 높은 장점을 갖고 있다.

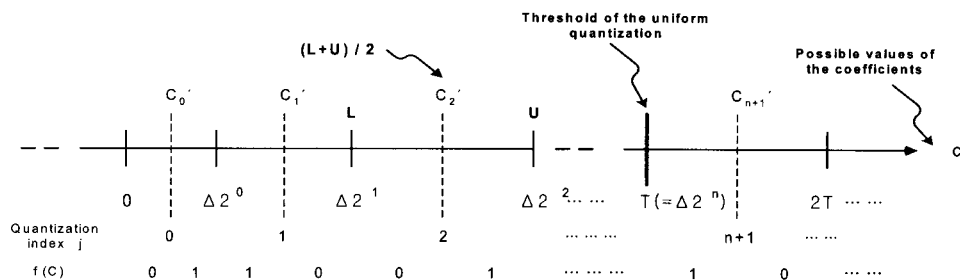
**2.3 워터마크의 추출 및 인증**

워터마크의 추출은 삽입 과정의 역순으로 이루어진다. (그림 4)는 워터 마크의 추출 및 인증 과정을 보여준다.

워터마크가 삽입된 영상은 3-레벨 웨이블릿 분해 후, 별도의 채널을 통해 취득한, 삽입과정의 단계1에서 생성된 18bit의 부대역 선택키를 사용하여 웨이블릿 패킷 분해 되어 워터마크가 삽입된 부대역을 결정하게 된다. 다음으로 삽입된 워터마크의 추출은 워터마크가 삽입된 부대역의 계수들  $C_{l,d,k}^*(x,y)$ 에 (식 2)를 적용함으로써 가능하다. 즉 추출된 워터마크  $w_{l,d,k}^*(x,y)$ 는 다음과 같다.

$$w_{l,d,k}^*(x,y) = f(C_{l,d,k}^*(x,y)) \tag{4}$$

이렇게 추출된 워터마크는 사용자 정의의 키를 사용하여 생성한 이진 워터마크 즉 원래 삽입되었던 워터마크  $w_{l,d,k}(x,y)$ 와 비교함으로써 인증 할 수 있다. 워터마크가 삽입된 부대



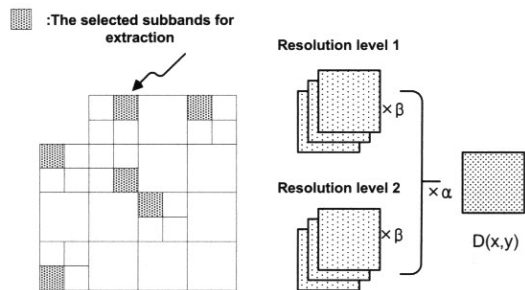
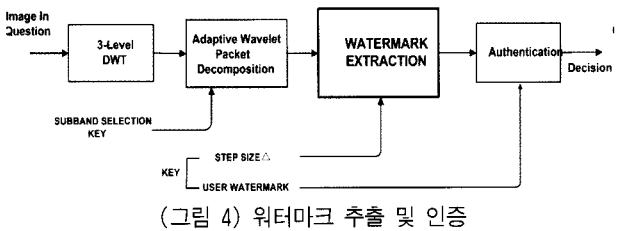
(그림 3) 양자화 방법

역들은 공간 영역에서 동일한 위치의 주파수 특성을 나타낸다. 이는 웨이블릿 패킷 분해를 통하여 워터마크가 삽입되는 주파수 영역의 크기를 같도록 제한하였기 때문이다. 따라서 인증을 위하여 (그림 5)와 같은 공간 영역 함수  $D(x, y)$ 를 계산한다. 기본적으로  $D(x, y)$ 는 입력 워터마크와 검출 워터마크의 차이를 표시하며 그 값이 클수록 해당위치의 영상이 변형되었을 가능성이 크다는 것을 의미한다.  $D(x, y)$ 는 (식 5)와 같이 계산된다.

$$D(x, y) = \sum_{l=1}^2 \sum_{d=0}^2 \alpha_l \cdot \beta_d \cdot (w_{l,d,k}^*(x, y) \oplus w_{l,d,k}(x, y)),$$

for  $0 \leq x < m, 0 \leq y < n$  (5)

여기서 입력 영상의 크기를  $M \times N$ 으로 가정하였고  $m = (M/16)$ ,  $n = (N/16)$ 으로 정의하였다.  $\oplus$ 는 XOR 연산을 표시한다. 또 편의상 LH, HL, HH대역을 차례로  $d=0, 1, 2$ 로 표시하였다.  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 각각 해상도 레벨  $l$ 과 각 부대역 위치  $d$ 의 관계를 고려하여 실험적으로 얻어진 가중치로서  $\alpha_1=0.6$ ,  $\alpha_2=0.4$ ,  $\beta_0=\beta_1=0.4$ ,  $\beta_2=0.2$ 의 값을 사용하였다.



여러 실험 값을 사용하여 대표적인 비교의적 공격인 JPEG 압축에 대하여 다양한 영상에서 각 해상도 레벨과 부대역 들에 삽입된 워터마크의 강인성을 평가하였다. 실험 결과, 해상도 레벨 간에는 해상도 레벨  $l=1$ 에서 추출된 워터마크가 레벨  $l=2$ 의 경우와 비교하여, 더 강인한 성능을 보였다. 한편 부대역간의 실험에서는 HH 영역 ( $d=2$ )에 비하여 LH와 HL 영역 ( $d=0, 1$ )에서 추출된 워터마크가 삽입된 워터마크와 비교하여 에러율이 적었다. 따라서 해상도 레벨 1과 LH, HL 영역에 더 높은 가중치를 적용함으로써 비교의적 공격에 대한 워터마크의 강인성을 높일 수 있었다.

최종적으로  $D(x, y)$ 에 대하여 인접한 주변 화소값까지를 고려하여 (식 6)으로 정의된 판단 함수 IPDDF(Inter-Pixel Dependent Decision Function)를 적용하여 공격의 여부(위치  $(x, y)$  근처 영상의 진위 여부)를 판단하게 된다.

For  $0 < x < m, 0 < y < n$

$$IPDDF(x, y) = \frac{1}{8} \left( \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 D(x+i, y+j) - D(x, y) \right) \quad (6)$$

즉,  $IPDDF(x, y)$ 는 현재 위치와 인접한 위치에서  $D(x, y)$  값의 평균값을 의미한다. 최종적으로, 위치  $(x, y)$ 에 해당하는 영상의 진위는 (식 7)과 같이 결정한다.

If  $D(x, y) > \delta$ ,

$$\begin{cases} IPDDF(x, y) \geq \delta' \rightarrow \text{Alteration} \\ IPDDF(x, y) < \delta' \rightarrow \text{Non-Alteration} \end{cases}$$

Otherwise, Non-Alteration (7)

(여기서,  $\delta' = \gamma \cdot \delta$ 이며,  $0 < \gamma, \delta < 1$ 이다.)

이렇게, 인접 위치와의 연관성까지 고려한 판단은 웨이블릿 역변환 과정에서 생기는 연산 오차에 의한 판단 착오의 가능성을 줄여주고, 비교의적인 공격에 강인함을 제공한다. 또한 두 개의 임계값을 적절히 조절함으로써 응용 분야에 따른 유연성을 제공할 수 있다. 실험 결과,  $\delta=0.2 \sim 0.5$ 의 범위에서 결정하였을 때 적당한 폴스 알람 에러율(false alarm probability)과 미스 에러율(miss error probability)을 보였다. 각각의 에러율은 비교의적인 공격에 대하여 영상물이 변경되었다고 판단하는 확률과 고의적인 공격에 대하여 영상물이 변경되지 않았다고 판단하는 확률을 의미한다.

### 3. 모의실험 및 결과

모의실험은  $512 \times 512$  크기의 다양한 8bit 흑백 영상을 사용하였다. 사용된 웨이블릿 필터는 영상 압축 등의 응용 분야에 가장 널리 사용되는 Daubechies 9/7-tap 쌍직교 필터이며,  $\Delta=5$ 로 고정하였고, 균등 양자화기 적용의 임계값  $T = \Delta \cdot 2^n$ 에서  $n=5$ ,  $\gamma=1$ 로 각각 고정하여 실험하였다. 제안한 방법으로 워터마크가 삽입된 영상의 PSNR은 대부분 40dB 이상으로 (그림 6)에 보인바와 같이 원본 영상과의 차이는 인간의 시각으로 거의 구별이 불가능하였다.



(그림 6) 원본 영상과 워터마크 삽입영상의 화질비교

먼저 비교의적인 공격인 압축과 다양한 형태의 영상 신호 처리공격에 대한 폴스 알람 확률(false alarm probability)을 비교하였다.

<표 1>은 가장 대표적인 비교의적 공격인 JPEG 압축에 대한 실험 결과이다. 폴스 알람 에러율은 화소 단위를 기준으로 하였고, 판단 임계값  $\delta$ 는 0.35와 0.4일 때 두 가지 경우에 대한 결과이다. 표에 표시된 값들은 전체 삽입된 워터마크 중에 손상된 것으로 판단된 워터마크 정보의 비율을 표시한다. 실험 결과, 4가지 영상 데이터에 대하여 JPEG 화질 70 이상의 고화질(고비트율) 압축일 때, 0 또는 작은 에러율을 보임을 알 수 있다. 따라서 이 영역에서는 JPEG 압축을 비교의적인 공격으로 JPEG 압축/복원된 영상이 비록 원본 영상과 완전히 일치하는 영상은 아니지만, 원본의 내용은 손상되지 않은 것으로 판단할 수 있다는 것을 뜻한다. 반면 화질 50에서는 상당히 많은 워터마크가 손상된 것으로 판단되고, 이 경우 전체 영상의 인증 여부, 즉 원본의 내용이 손상되었는지 아닌지의 판단 여부는 응용 분야에 따라 다르게 될 것이다.

<표 1> JPEG 압축의 경우  $P_f$  비교

Image Q	$\delta$	Air plane	Lena	Barbara	Baboon
90	0.35	0%	0%	0%	0%
	0.4	0%	0%	0%	0%
80	0.35	0%	0.2%	0.5%	0.4%
	0.4	0%	0%	0%	0%
70	0.35	4.2%	4.0%	5.0%	1.2%
	0.4	1.4%	0.7%	0.9%	0.2%
50	0.35	20.0%	25.8%	22.9%	8.2%
	0.4	10.8%	11.6%	8.4%	2.3%

<표 2>와 <표 3>은 역시 비교의적인 공격으로 간주할 수 있는 영상 신호 처리 결과물에 대한 실험결과이다. <표 2>는 워터마크가 삽입된 영상을 기준으로 PSNR 값이 38~40dB의 고화질로 영상 신호를 처리한 영상들의 인증 결과이며, <표 3>은 PSNR 값 35dB 이하의 화질로 처리한 영상들의 인증 결과이다. 신호 처리의 형태와 영상에 따라 차이를 보였으나 영상 콘텐츠를 크게 훼손하지 않는 비교의적인 영상 신호 처리에 대하여 우수한 결과를 보이고 있다.

(그림 7)과 (그림 8)은 고의적인 공격에 대한 영상의 변경 여부 판단과 변경된 위치추정의 여부를 확인하기 위한 실험 결과이다.

먼저 (그림 7)은 워터마크가 삽입된 Lena의 영상의 일부(모자 장식부분)를 고의적으로 바꿔치기 공격(Substitution Attack)을 한 후의 인증 결과이다. (그림 7)의 (c)에서 보듯 판단 임계값 0.2에서 영상의 변형된 위치를 정확히 판단함을 확인할 수 있었다. 또한 (그림 7)의 (d)는 JPEG Quality 80으로 압축 이후에, 동일한 바꿔치기 공격을 당한 영상에 대하여 인증한 결과로서, 임계값 0.4에서 정확히 영상의 변

<표 2> 다양한 고화질 영상처리의 경우  $P_f$   
(PSNR 약 40dB. 단, sharpening은 35dB 이하)

Image Signal Processing	$\delta$	Air plane	Lena	Barbara	Baboon
Blur (Lowpass)	0.35	0%	0%	0%	0%
	0.4	0%	0%	0%	0%
Sharpening	0.35	0%	0%	0%	0%
	0.4	0%	0%	0%	0%
Salt&Pepper	0.35	0.5%	1.7%	2.6%	5.1%
	0.4	0%	0.5%	1.6%	1.4%
Gaussian Noise	0.35	5.8%	8.8%	3.6%	2.2%
	0.4	2.3%	1.7%	0.7%	1.1%
Histogram EQ	0.35	0%	0%	0%	0%
	0.4	0%	0%	0%	0%

<표 3> 다양한 중급 화질 영상처리의 경우  $P_f$   
(PSNR 약 35dB. 단, Histogram Eq은 32dB 이하)

Image Signal Processing	$\delta$	Air plane	Lena	Barbara	Baboon
Blur (Lowpass)	0.35	0.8%	14.8%	0%	0%
	0.4	0.1%	7.3%	0%	0%
Salt&Pepper	0.35	14.5%	40.9%	14.9%	25%
	0.4	5.9%	27.5%	7.3%	8.5%
Gaussian Noise	0.35	26.6%	29.2%	25.6%	7.7%
	0.4	16%	14.3%	12.5%	2.6%
Histogram Eq.	0.35	0.3%	0.1%	0.1%	0%
	0.4	0%	0%	0%	0%

경된 위치만을 압축에 대한 에러 없이 식별하였다. 이 경우에는 압축 과정에서의 변형을 공격으로 판단하지 않게 하기 위하여, (c)의 경우에 비해 좀더 큰 임계값을 사용하였다.



(a) 워터마크 삽입 영상 (b) 바꿔치기 공격된 영상



(c) 인증 결과 ( $\delta = 0.2$ ) (d) JPEG80 압축 후, 영상의 인증결과 ( $\delta = 0.4$ )

(그림 7) 영상의 바꿔치기 공격에 대한 인증결과

다음으로 영상의 일부분에 대하여 회전과 뒤집기 공격을 가한후 동일한 방법으로 실험하였다. (그림 8) (b)와 같이 일부가 변형된 영상에 대하여 각각 임계값 0.3과 0.32에서 여러 없이 공격당한 영상의 위치를 찾아냄을 확인하였다.



(그림 8) 영상의 Rotation 공격에 대한 인증결과

이와 같은 다양한 실험 결과, 제안한 워터마킹 기법은 비고의적인 공격에 강인한 특성을 가지면서 고의적인 공격의 존재여부와 위치를 정확히 파악하는 세미 프래자일 워터마킹의 요구 조건을 잘 만족함을 확인하였다.

#### 4. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문에서는 웨이블릿 분해 후 중간 주파수 영역을 각 부대역 에너지의 크기에 기반하여 웨이블릿 패킷 분해를 통해 워터마크를 삽입함으로써, 비고의적인 공격에 강인하면서 영상 내용물의 변경시, 훼손 여부와 변형된 위치를 파악할 수 있는 새로운 세미 프래자일 워터마킹 기법을 제안하였다. 모의실험 결과, 제안한 알고리즘은 영상의 화질을 크게 떨어뜨리지 않는 비고의적인 공격에 강인함을 보이며 고의적인 공격에 대하여 변경의 여부를 정확히 판별할 수 있음을 보여 주었고, 사용자 정의의 임계값에 따라 인증의 유연성을 제공함을 확인 할 수 있었다. 또한, 제안한 방법은 웨이블릿 변환에 기반한 차세대 압축 기법인 JPEG2000 등에 적용이 용이하다는 장점을 가지고 있다.

향후 연구 과제로는 비고의적인 공격과 고의적인 공격에 대한 객관적인 기준 마련이 필요하며 좀 더 다양한 공격들에 대한 강인함을 부여할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

#### 참고 문헌

- [1] I. J. Cox, M. L. Miller and J. A. Bloom, "Watermarking applications and their properties" *IEEE Conf. on Information Technology*, pp.6-10, 2000.
- [2] Gerhard C. Langelaar and Iwan Setyawan, "Watermarking Digital Image and Video Data" *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol.17, No.5, pp.20-46, Sep., 2000.
- [3] B. Coşkun, U. Naci, Ö. Ekici, B. Sankur, "A Comparative Assessment of Semi-Fragile Watermarking Methods", *SPIE Conf.* Vol.4518, 2001.
- [4] C.Y. Lin, S.F. Chang, "A Robust image authentication method distinguishing JPEG compression from malicious manipulation", *IEEE Transactions on, CSVT* Vol.11, No.2, pp.153-168, February, 2001.
- [5] J. J. Eggers, J. K. Su, B. Girod, "A blind watermarking scheme based on structured codebooks," *IEE Conf. Secure Images and Image Authentication*, pp.4/1-4/21, 2000.
- [6] E. T. Lin, C. I. Podilchuk, and E. J. Delp, "Detection of image alterations using semi-fragile watermarks," *Proceedings of the SPIE International Conf.* Vol.3971, January, 2000.
- [7] J. Fridrich, "Security of Fragile Authentication Watermarks with Localization," *Proc. SPIE*, Vol.4675, pp.691-700, January, 2002.
- [8] D. Kunder, D. Hatzinakos, "Digital Watermarking for Telltale Tamper Proofing and Authentication," *IEEE Proceedings*. Vol.87, pp.1167-1180, July, 1999.
- [9] Han Ho Koh, and Sang Ju Park, "Semi-Fragile Watermarking for Telltale Tamper Proofing and Authenticating," *Proc. of ITC-CSCC 2002*, Vol.1 No.1, pp.623-626, July, 2002.
- [10] Yi-Ta Wu, Frank Y. Shih, "An adjusted-purpose digital watermarking technique," *Pattern Recognition*, Vol.37, No. 12, pp.2349-2359, Dec., 2004.
- [11] Chi Kin Ho, Chang-Tsun Li, "Semi-fragile watermarking scheme for authentication of JPEG images," *Proc. ITCC 2004*, Vol.1, pp.7-11, Apr., 2004.
- [12] Ingemar J. Cox and Joe Kilian, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia", *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol.6, No.12, pp.1673-1687, Dec., 1997.
- [13] A.S. Lewis, G. Knowles, "Image compression using the 2-D wavelet transform", *IEEE Trans, on Image Processing* Vol.1, No.2, pp.244-250, April, 1992.
- [14] 노상운, 박상주 "HVS 특성을 이용한 Wavelet 변환 공간에서의 효과적인 워터마킹 기법에 관한 연구" 한국 통신학회 논문지, Vol.27, No.4A, pp.336-334, April, 2002.
- [15] Alexander H. paquet, Rabab K. Ward, "Wavelet-Based Digital Watermarking For Image Authentication," *IEEE CCECE*, Vol.2, pp.879-884, May, 2002.



**박 상 주**

e-mail : sjpark@hongik.ac.kr  
1984년 서울대학교 전자공학과(학사)  
1986년 서울대학교 전자공학과(석사)  
1992년 Stanford Univ, Dept.of Electrical  
Eng(박사)  
1992년~1994년 Philips Research Palo  
Alto, MTS

1994년~1996년 Philips Semiconductors, Sunnyvale, USA, MTS

1996년~현재 홍익대학교 전자전기공학부 부교수

관심분야: 영상신호처리, 워터마킹, 정보압축



**권 태 현**

e-mail : blueteny@hotmail.com  
2002년 홍익대학교 전자전기제어공학과  
(학사)  
2005년 홍익대학교 전자공학과(석사)  
2005년~현재 삼성전기 중앙연구소 ASIC  
센터 주임연구원

관심분야: ISP(Image Signal Processing), DSP 설계