

論文2003-40SP-6-6

# 웨이블릿 영역의 부대역 상관도를 이용한 디지털 영상 워터마킹 (Digital Image Watermarking using Subband Correlation in Wavelet Domain)

徐英鎬\*, 朴鎮永\*\*, 金東郁\*

(Young-Ho Seo, Jin-Young Park, and Dong-Wook Kim)

## 요약

워터마킹(Watermarking) 기법은 멀티미디어 콘텐츠의 저작권 보호를 위해서 특정 데이터를 저작물의 품질이나 데이터 크기의 변화없이 삽입하고 필요시 이를 검출하는 기술이다. 워터마크가 삽입된 콘텐츠는 사람의 육안이나 청각으로 구별할 수 없어야 하고 여러 종류의 변환 또는 고의적 공격에 강인성을 가져야 한다. 본 논문에서는 영상의 공간 영역과 주파수 영역에 대한 정보를 함께 갖는 웨이블릿(Wavelet) 변환영역에서 워터마킹을 수행하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 강인성과 비가시성을 동시에 만족하기 위해 다중 임계값을 사용했다. 워터마크 삽입 위치는 상관도가 높은 부대역 계수들의 유사성을 조사하고 관련 주파수 대역에서 계수의 중요도를 검증한 뒤 워터마크를 삽입할 위치로 결정하였다. 이 때 유사성의 표현은 부대역간의 계수값 차를 이용하였고, 이 차들의 분포는 워터마크를 삽입하고 검출하는 데 사용한다. 워터마크의 검출은 부대역간의 특성을 이용함으로써 원래의 영상을 사용하지 않고 검출할 수 있다. 이러한 특성들 때문에 제안한 워터마킹 알고리즘은 JPEG 압축 공격 등을 비롯한 일반적인 영상처리에 대해 비가시성과 강인성을 동시에 만족함을 보였다.

## Abstract

The watermarking is the technique that embeds or extracts the certain data without the change of the original data for the copyright protection of the multimedia contents. Watermark-embedded contents must not be distinguished by human's eye and must be robust to the various image processing and the intentional distortions. In this paper, we propose a new watermarking technique applied in the wavelet domain which has both the spatial and frequency information of a image. For both the robustness and the invisibility, the positions for embedding the watermark is selected with the multi-threshold. We search the similarity between highly correlated coefficients in the each subband and decide the mark space after verifying the significance in the specified subband. The similarity is represented by the coefficient difference between the subbands and its distribution is used in the watermark embedding and extracting. The embedded watermark can be extracted without the original image using the relationship of the subbands. By these properties the proposed watermarking algorithm has the invisibility and the robustness to the attacks such as JPEG compression and the general image processing.

**Keyword** : Watermarking, Wavelet, Lifting, JPEG, Subband

\* 正會員, 光云大學校 電子材料工學科

(Dept. of Electronic Materials Eng. Kwangwoon University)

\*\* 正會員, (주)팬택&amp;큐리텔

(Pantech &amp; Curitel)

\* 이 논문은 한국과학재단 목적기초연구(과제번호: ROI-2002-000-00350-0)의 일부 지원으로 이루어졌음.

接受日字:2003年7月15日, 수정완료일:2003年11月1日

## I. 서론

네트워크와 인터넷의 발달로 인해 디지털화된 콘텐츠를 유통하는 상업적인 모델이 점차 자리를 잡아감에 따라 디지털 콘텐츠의 저작권보호 기술에 대한 필요성 또한 크게 대두되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 멀티미디어 콘텐츠에 저작권 정보 등의 소유권을 주장하고자 하는 특정 데이터를 사람의 육안이나 청각으로는 구별할 수 없게 삽입하는 디지털 워터마킹 기술이 저작권 보호 솔루션의 마지막 보루로 인식되고 있으며, 표준화된 저작권 정보의 확립과 건전한 디지털 콘텐츠의 유통을 위해서 반드시 필요한 기술로 인정받고 있다<sup>[1]</sup>. 특히 가장 함축적인 정보를 포함하고 있는 디지털 영상은 그 처리과정이 복잡하고 많은 계산량을 필요로 하므로, 비가시성(invisibility)과 영상처리를 통한 워터마크의 강인성(robustness)을 동시에 만족하는 워터마킹 기법은 많은 연구를 필요로 한다.

디지털 영상 영역에 있어서 공간영역에서 주로 이루어지던 워터마킹은 주파수영역에서의 적용으로 연구영역을 이동시키고 있는데, 공간영역에서 적용되던 방식에 비해 공격에 강한 특징을 가지지만 주파수 특성상 워터마크 삽입 위치를 정확히 선정할 수 없는 단점을 갖고 있다. 그러나 주파수 특성과 공간 영역의 특성을 동시에 가지고 있는 웨이블릿 영역의 도입을 통해 워터마크의 삽입이 더욱 효율적이 되었다.

디지털 영상의 주파수 영역에서의 워터마킹은 주파수 계수를 변화시켜 워터마크를 삽입하는 것으로 Cox<sup>[2]</sup>와 Barni<sup>[4]</sup> 등은 DCT(Discrete Cosine Transform)를 이용하여 주파수 영역의 중요한 계수를 추출해 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. 그리고 Ruanidh<sup>[5]</sup>는 DFT(Discrete Fourier Transform)를 이용하여 위상에 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였고 Xia<sup>[6]</sup>와 Hus<sup>[7]</sup> 등은 DWT(Discrete Wavelet Transform)의 다해상도(multiresolution)를 이용한 방법을 제안하였다. 또한 최근 들어서는 웨이블릿 변환 후 EZW(Embedded Zerotree Wavelet)<sup>[8]</sup>에 착안하여 부대역들이 가지는 제로트리(Zerotree) 특성을 이용한 방식들이 많이 연구되고 있다<sup>[9]</sup>.

본 논문에서는 이 두 가지 특성을 향상하고 원영상 없이 워터마크를 검출할 수 있는 새로운 알고리즘을 제안한다. 워터마크 삽입은 영상의 공간영역 정보와 주

파수영역의 정보를 모두 갖는 웨이블릿(wavelet) 변환에서 이루어진다. 이때 강인한 워터마크 삽입을 위해서 웨이블릿 변환에 의해 생성된 웨이블릿 계수들 사이에서 중요한 계수를 선택한다. 그리고 강인성과 상호보완 관계를 갖는 비가시성을 동시에 만족하기 위해서 동일한 방향에 있는 부대역간(subband)의 계수값 차를 워터마크 삽입 위치에 이용하고 원영상 없이 워터마크를 검출하는데 적용한다.

또한 최근 제로트리 기반의 양자화 알고리즘을 하드웨어로 구현하는 연구가 많이 진행되고 있다<sup>[10, 11]</sup>. 그러나 제로트리 기반의 알고리즘은 알고리즘의 복잡성으로 인해서 구현의 어려움을 가지고 있어서 하드웨어로 구현할 때는 알고리즘을 축소하거나 변형한 후 이루어진다. [10]에서는 기본적인 제로트리 알고리즘에서 이용하는 저주파 부대역으로부터 고주파 부대역으로 중요 계수를 찾아나가는 방식이 아니라 고주파 부대역으로부터 저주파 부대역으로 예측하여 올라가는 방식을 사용한다. 이는 반복적으로 저주파 부대역에서 고주파 부대역으로 제로트리를 추적하는 방식과 고주파 부대역에서 저주파 부대역으로 한번의 과정만으로 제로트리를 찾아가는 방식사이에는 큰 오차가 발생하지 않는다는 실험결과들에 기인한다<sup>[11]</sup>. 본 논문에서 제안하는 방식은 워터마킹 절차에 있어서 큰 복잡도를 가지는 연산이 없고 유사한 방식으로 제로트리를 추적하기 때문에 [10]에서 제시된 것과 같은 형태로 구현되는 하드웨어에 이식이 용이하다.

II장에서는 웨이블릿 영역으로의 변환과 웨이블릿영역에서의 워터마킹에 대해서 설명하고 III장에서는 본 논문에서 제안하고 있는 워터마킹 방식을 설명한다. IV장에서는 실험결과에 대해 설명하고 이를 바탕으로 기존 알고리즘과의 비교를 통해 제안된 방식의 특성을 규명한다. V장에서 최종적으로 결론을 맺는다.

## II. 웨이블릿 변환과 워터마킹

본 장에서는 본 논문에서 사용할 리프팅(lifting)<sup>[12]</sup>을 이용한 웨이블릿 변환<sup>[13]</sup>과 웨이블릿 영역에서의 워터마킹에 대해 간략히 설명한다.

### 1. 리프팅 변환

지금까지의 연구에서 리프팅을 이용한 변환은 필터뱅크(filter bank) 방식에 비해 계산량이 절반정도로 줄어, 속도가 빠르고 메모리를 적게 사용하며, 정수 대 정

수 웨이블릿 변환이 용이하여 무 손실 영상 압축을 할 수 있고, 역 변환을 쉽게 구현할 수 있다는 장점이 있다<sup>[7]</sup>. 리프팅은 쌍직교(bi-orthogonal) 웨이블릿 변환의 공간축 상에서의 구현 방법론이다. 리프팅을 이용한 웨이블릿 변환은 <그림 1>과 같이 크게 분할(S:Split), 예측(P:Predict), 갱신(U:Update)의 3 단계로 구성되어있다. 각 단계를 간략히 설명하면 다음과 같다.

- 분할: 입력 신호  $x[n]$ 을 짝수 번째 신호  $x_e[n]$ 과 홀수 번째 신호  $x_o[n]$ 의 두 성분으로 분할한다.
- 예측: 예측 연산자 P는  $x_e[n]$ 로부터  $x_o[n]$ 를 예측할 때 생성되는 여러 웨이블릿 계수  $d[n]$ 를 구할 때 사용된다. 즉,

$$d[n] = x_o[n] - P(x_e[n])$$

- 갱신: 입력 신호  $x[n]$ 을 근사화하여 나타내는 스케일링(scaling) 계수  $c[n]$ 를 얻기 위해  $x_e[n]$ 과  $d[n]$ 을 결합한다. 이것은 웨이블릿 계수에 갱신 연산자 U를 적용한 다음  $x_e[n]$ 를 더하여 구한다.

$$c[n] = x_e[n] - U(d[n])$$

본 논문에서 사용된 필터는 웨이블릿 변환에서 많이 사용되는 Daubechies의 (9-7)필터를 사용하였고 이 필터 계수들에 팩팅링(factoring) 알고리즘<sup>[12]</sup>을 적용시켜 리프팅으로 변환시키면 입력 신호를  $x_i$ 라 할 때 아래와 같은 결과를 얻는다.

$$s_i^{(0)} = x_{2i}$$

$$d_i^{(0)} = x_{2i+1}$$

$$d_i^{(1)} = d_i^{(0)} + \alpha (s_i^{(0)} + s_{i+1}^{(0)})$$

$$s_i^{(1)} = s_i^{(0)} + \beta (d_i^{(1)} + d_{i-1}^{(1)})$$

$$d_i^{(2)} = d_i^{(1)} + \gamma (s_i^{(1)} + s_{i+1}^{(1)})$$

$$s_i^{(2)} = s_i^{(1)} + \beta (d_i^{(2)} + d_{i-1}^{(2)})$$

$$s_i = \zeta s_i^{(2)}$$

$$d_i = d_i^{(2)}/\zeta$$

여기서,

$$\alpha = -1.586134342$$

$$\beta = -0.052980118$$

$$\gamma = 0.8829110762$$

$$\delta = 0.4435068522$$

$$\zeta = 1.149604398$$

로 각각 정의한다<sup>[12]</sup>. 입력 신호  $x_i$ 을 짝수 번째 신호  $s_i^{(0)}$ 와 홀수 번째 신호  $d_i^{(0)}$ 로 나눈 후 이웃하는 짝수 번째 신호  $s_i^{(0)}$ 과  $s_{i+1}^{(0)}$ 을 이용하여 예측값  $d_i^{(1)}$ 를 구한다. 다음 갱신 단계에서는 이웃하는 두 홀수 번째 신호  $d_{i-1}^{(1)}$ 과  $d_i^{(1)}$ 을 이용하여  $s_i^{(1)}$ 를 구한다. 이러한 예측과 갱신 과정을 한 단계씩 더 진행하고 그 결과값인  $s_i^{(2)}$ 과  $d_i^{(2)}$ 에 각각 스케일링 계수  $\zeta$ 를 곱하여 최종적인 계수 값  $s_i$ 와  $d_i$ 를 구한다. 이러한 과정을 통해 웨이블릿 변환을 수행하는데 본 연구에서는 3 레벨 리프팅 변환을 하여 <그림 2>와 같은 부대역 구조를 이룬다.

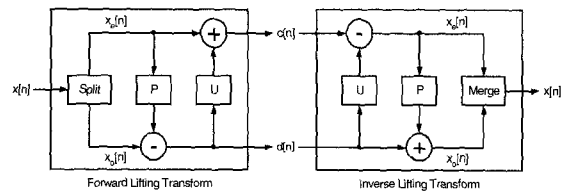


그림 1. 정방향/역방향 리프팅 방식의 구조  
Fig. 1. Structure of forward/inverse lifting scheme.

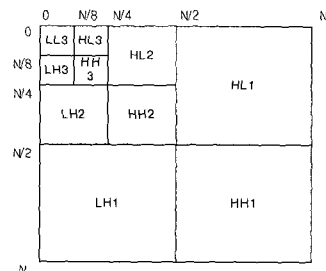


그림 2. 3-레벨 DWT 결과의 재구성  
Fig. 2. The resulting decomposition of 3-level DWT.

### 2. 웨이블릿 영역에서의 워터마킹

웨이블릿 변환은 DCT와 FFT 등의 변환과는 다르게 주파수 영역으로의 변환 후 각 부대역들이 공간영역에 대한 정보를 가진다. 따라서 다른 변환에서 불리한 점이었던 영상의 위치정보를 워터마킹 과정에서 손쉽게 이용할 수 있어 최근 들어 워터마킹에 대한 연구의 주류를 이룬다. 또한 전처리 과정 생략과 다해상도를 이용하는 방법으로 연산 처리속도가 증가하고 분해된 여

러 부대역에 다양한 방식으로 워터마크를 삽입할 수 있다. 한 예로서 Xia<sup>[6]</sup>는 최저주파 부대역인 LL 부대역을 제외한 나머지 부대역에 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 웨이블릿 변환에 의한 다해상도로 분해된 부대역에 단계별로 다른 가중치를 주어 워터마크를 삽입하는 것으로 DCT 방법보다 신호대잡음비(PSNR)가 개선되고 원 영상의 손실을 줄일 수 있다. 최근에는 웨이블릿 영역에서 부대역간의 상관도를 이용한 EZW<sup>[8]</sup>와 SPIHT(Set Partitioning in Hierarchical Trees)<sup>[14]</sup>등의 제로트리 알고리즘에 기반한 워터마킹기법이 많이 도입되고 있다. 이는 웨이블릿 영역에서 HVS(Human Visual System)의 도입과 영상 자체의 공간-주파수 특성을 이용하면서 각 영상에 대해 적응성을 가진다.

### III. 제안한 워터마킹 알고리즘

본 장에서는 본 논문에서 제안하는 워터마킹 알고리즘에 대해서 설명한다.

#### 1. 리프팅 변환 영상

<그림 3>은 2차원 원영상의 3단계 리프팅 변환을 거친 후 계수값을 0에서 255로 스케일링한 결과이다. <그림 2>와 같이 각 단계마다의 변환 결과로 LL, LH, HL, HH의 부대역이 생성되고 각 부대역은 원 영상에 대한 특정 주파수성분을 포함한다. 여기서 LL은 저주파 성분, LH는 영상의 수평 방향 주파수특성을 갖는 고주파 성분, HL은 수직 방향의 주파수특성을 갖는 고주파 성분을 나타내고 HH는 대각선 방향의 주파수특성을 갖는 고주파 성분을 나타낸다. 리프팅 변환 동안 다운-샘플링(down sampling)을 수행하므로  $i$ 단계의 임의의 위치에서 하나의 웨이블릿 계수는  $i-1$ 단계의 네 개의 계수와 상관관계를 갖는다. 제안한 워터마킹 기법은 이러한 부대역간의 상관도를 이용하여 워터마크 삽입과 검출을 수행한다.

웨이블릿 변환에 의해 생성되는 각 부대역 중에서 워터마크를 삽입을 위한 위치로 LH 영역을 선택하였다. 이는 <표 1>에 나타난 것과 같이 간단한 실험을 통한 것이었는데 <표 1>의 결과는 500개의 정지 영상에 대해 리프팅 변환 후 여러 단계의 JPEG 압축을 하면서 각 부대역의 강인성을 살펴보았다. 즉, 각 부대역이 JPEG과 같은 일반적인 영상처리에 대해서 얼마만

큼 변화하는지를 살펴본 것으로 워터마크를 삽입한 후 동일한 실험을 하여도 유사한 PSNR 결과를 얻는다. 결과에서 보이듯이 LH3의 부대역이 LL3를 제외하고는 가장 강인한 특성을 보이고 있는데 압축율이 높아질수록 LH3 부대역이 더욱 좋은 특성을 나타냈다. 이전의 연구들<sup>[6, 7, 9]</sup>도 일반적으로 LH3 영역에서 워터마크를 삽입하고 있다.

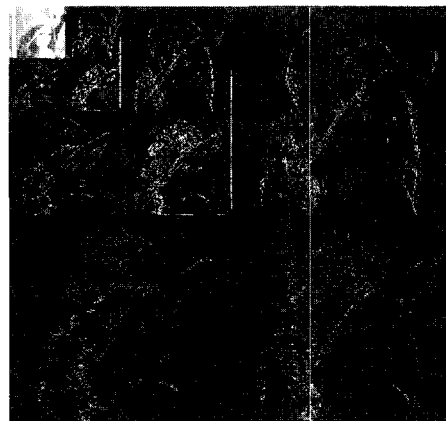


그림 3. 3단계 리프팅 결과 영상

Fig. 3. The resulting image from 3 stage lifting.

표 1. JPEG 압축에 대한 부대역별 강인성

Table 1. Subband robustness in JPEG compression.

JPEG Quality	Error Ratio (%)			
	LL3	LH3	HL3	HH3
12	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.5
8	0.0	0.3	0.3	20.9
6	0.0	3.6	3.3	34.3
4	2.9	23.8	24.7	55.5
2	1.6	43.0	48.8	69.2
0	36.7	58.2	65.4	76.1

#### 2. 워터마크 삽입영역 선택 알고리즘

네트워크상에서 효율적으로 영상을 전송하기 위해 일반적으로 부호화 기법이 사용된다. 부호화 기법에서 점진적 영상 전송이 가능한 EZW<sup>[8]</sup>와 이를 개선한 SPIHT<sup>[14]</sup>는 압축률이 높으면서 영상화질이 좋아 데이터 전송률을 향상하기 위한 응용에서 널리 사용되고 있다. 이 알고리즘들은 부분 정렬에 의해 중요 비트를 먼저 보내는 방법으로 임베디드 비트열을 생성하고 웨이블릿 변환된 영상에서 부대역간의 유사성을 이용한

제로트리 부호화로 영상을 압축한다. 이러한 제로트리 부호화에서 중요 계수를 선택하는 방법을 도입하여 웨이블릿 영역에서 고주파 부대역으로부터 예측된 중간 주파수대역의 중요계수를 선택하고 워터마크를 삽입하는 방법이 Hsieh<sup>[13]</sup>에 의해 제안되었다. 본 논문에서는 Hsieh의 방법을 개선하여 워터마크 삽입 위치를 결정하고 워터마크를 삽입하고자 한다.

제안한 방법은 선택된 부대역(LH1, LH2)에서 각각의 임계값( $T_1, T_2$ )보다 큰 웨이블릿 계수를 추출한다. 여기서 임계값은 선택된 부대역에서 중간값(Median value)에 약간의 스케일링을 가하여 사용한다. 중간값을 선택할 경우 일반적으로 절대값 0에서 5의 값으로 선택되는데 너무 많은 계수들이 선택되거나 너무 작은 계수들이 선택될 경우 워터마킹의 효율성이 떨어지기 때문에 임의의 값으로 가중치를 준다. 선택된 계수들에 대해서 다시 LH2와 LH3간의 웨이블릿 계수 상관성을 조사한다. 이때 상관성은 LH2의 인접한 네 계수값의 평균과 이 계수들에 대응하는 LH3의 계수값의 차로 계산하고 생성된 차 값은 임계값( $T_3$ )에 의해 다시 선별된다. 임계값  $T_1$ 과  $T_2$ 에 의해 선택된 위치는 약 2000개에 해당되어 삽입할 워터마크의 개수( $32 \times 32$ )를 초과하므로 이의 조정을 위해 실험적 임계값( $T_3$ )을 도입하는 것이다. 세 가지 임계값에 의해 선택된 계수가 워터마크가 삽입될 위치이고 이 위치들은 보안성을 위해 블록 암호 알고리즘(SEED)<sup>[16]</sup>으로 암호화하고 추후 워터마크

추출을 위해 키로서 보관한다.

워터마크를 삽입할 위치를 선택하는 알고리즘을 <그림 4>에 정리하였다. 본 논문에서는  $S_{ij}$ 를 LH1, LH2, LH3로 사용하였다. 단계 1에서 리프팅 변환을 한 영상은 앞서서 설명한 것과 같이 단계 2와 3을 통해 각 임계값을 설정한다. 그리고 단계 4를 거치면서 임계값과 부대역간의 상관도를 이용하여 최종적으로 워터마크를 삽입할 위치(P)를 선택한다.

3. 워터마크 삽입 알고리즘

웨이블릿 변환 영역에서 워터마크를 삽입하기 위해 중요한 웨이블릿 계수를 선택(P)하고 대응되는 이진 워터마크 영상의 픽셀 값에 따라 웨이블릿 계수를 변환한다. 워터마크 삽입 위치를 결정한 후에 워터마크를 삽입하는 과정을 <그림 5>에 나타냈고, 전체적인 알고리즘을 도식적으로 <그림 6>에서 나타냈다. 원영상은  $512 \times 512$  크기를 사용하고 워터마크 영상은  $32 \times 32$  크기의 이진 영상을 사용한다. 또한 삽입되는 워터마크 정보의 크기 조절을 위한 스케일 성분( $T_4$ )을 도입하여 임계값으로 사용한다. 단계 1에서 보이는 것과 같이 워터마크를 삽입할 것으로 선택된 위치의 계수  $S_{3j}$ 는  $w$ 와  $T_3$ 에 의해 값이 조정된다. 조정된 값은  $T_4$ 와  $diff$ 에 의해 재조정되고 이를 워터마크에 따라서 원래의 값에 양 혹은 음의 값으로 가중시킴으로써 워터마크를 삽입한다. 워터마크 삽입과정을 마친 다음에 역 리프팅 변환을 거쳐서 워터마크가 삽입된 영상( $I'$ )을 얻는다.

워터마크가 삽입된 위치를 알려주는 정보인 P를 단계 3에서 암호화하여 저장하고 추후에 워터마크 추출시에 이용한다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 워터마크를 추출할 때 원래의 영상을 사용하지 않고 워터

Step 1 :3-Level lifting transform with a original image, I  
 Step 2 :Subband( $S_{ij}$ ) selection for watermarking process.  
 $S_{ij} = \{LLi, LH1, HL1, HH1\}$   
 Where,  $i$  is transform level in liftin transform  
 $j$  is subband in each level  
 $S_{ij}(p,q)$  is a wavelet coefficient in (p,q)position in a specified subband  
 Step 3 :Threshold ( $T_1, T_2, T_3, T_4$ ) selection using histogram of wavelet coefficient  
 Step 4 :Coefficient position, P selection for watermark embedding  
 $P = \{P_k = 1 \mid |S_{3j}(x,y)| > T_1 \wedge |S_{2j}(r,s)| > T_2 \wedge 0 < diff < T_3, 0 \leq k < 4096, 0 \leq x, y, r, s < 64\}$   
 where,  $P_k \in \{0, 1\}$ ,  
 $diff = |S_{3j}(x,y)| - \sum S_{2j}(r,s) / 4$   
 $S_{2j}(r,s) = \{S_{2j}(x*2, y*2), S_{2j}(x*2, y*2+1), S_{2j}(x*2+1, y*2), S_{2j}(x*2+1, y*2+1)\}$   
 $P_k$  is a  $k^{th}$  bit in bit sequence, P

그림 4. 제안한 워터마크 삽입위치 선택알고리즘  
 Fig. 4. Proposed position selection algorithm of Watermark embedding.

Step 1 :Watermark insertion in selected position,  $P_k=1$   
 If  $S_{3j}(x,y) > 0$ ,  
 then  $S_{3j}(x,y)' = S_{3j}(x,y) + W_k(T_4 - diff + w S_{3j}(x,y) / T_3)$   
 If  $S_{3j}(x,y) < 0$ ,  
 then  $S_{3j}(x,y)' = S_{3j}(x,y) - W_k(T_4 - diff + w S_{3j}(x,y) / T_3)$   
 Where,  $w$  is a weighting factor  
 $T_4$  is scale factor greater than  $T_3$   
 Step 2 :Watermarked image,  $I'$  generation after inverse lifting transform  
 Step 3 :Encryption of position information, P using block cipher SEED Store and retain of encrypted information( $P'$ )

그림 5. 제안한 워터마크 삽입알고리즘  
 Fig. 5. Proposed watermarking embedding algorithm.

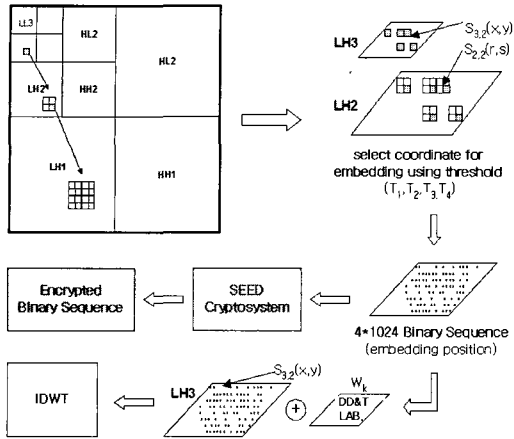


그림 6. 제안한 워터마크 삽입 알고리즘의 전체적인 도식도  
 Fig. 6. Global diagram of proposed watermark embedding algorithm.

마크를 삽입한 위치를 나타내는 P를 이용해서 워터마크를 복원해 내기 때문에 P의 안전한 저장과 보관은 상당히 중요하다. 따라서 P는 표준 블록 암호화 알고리즘, SEED<sup>[16]</sup>를 이용하여 암호화 시킨 후 저장 및 보관한다. 물론 여타 국내외 암호알고리즘을 사용해도 전체 워터마킹 알고리즘에는 영향을 주지 않는다.

4. 워터마크 검출

제안한 워터마킹 알고리즘은 원영상을 이용하지 않고 삽입된 워터마크 위치(P)를 사용하여 워터마크를 검출한다. 암호화된 P'은 SEED 알고리즘으로 복호화하여 워터마크 위치를 추출한다. <그림 7>에 추출 알고리즘을 나타내었는데 추출 알고리즘은 삽입 알고리즘의 역과정에 해당하고 삽입 과정에 비해 간단하다

<그림 7>에서 나타난 것처럼 단계 1에서는 먼저 의심가는 영상 I'에 대해 3단계 리프팅 변환을 수행한다. 그리고 단계 2와 3에서 암호화된 이진 순열(P')을 복호

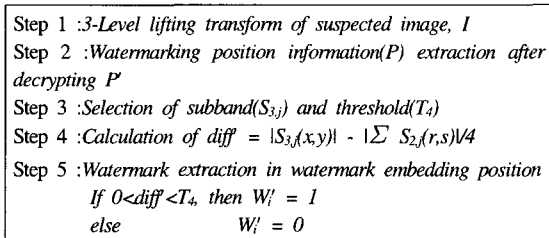


그림 7. 제안한 워터마크 추출알고리즘  
 Fig. 7. Proposed watermarking extracting algorithm.

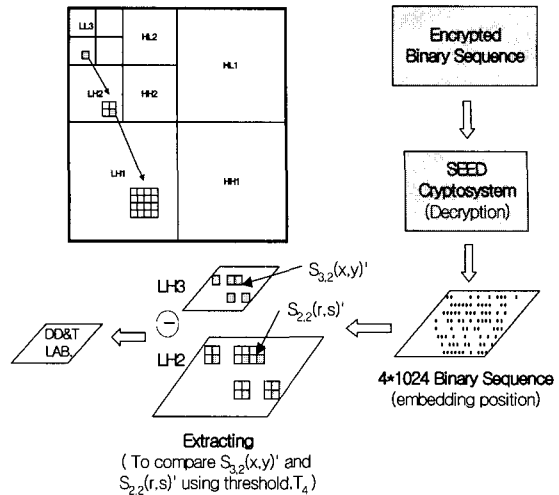


그림 8. 제안한 워터마크 추출 알고리즘의 전체적인 도식도  
 Fig. 8. Global diagram of proposed watermark extracting algorithm.

화하여 워터마크 위치(P)를 추출하고 부대역(S<sub>3,2</sub>)과 임계값(T<sub>4</sub>)을 결정하여 워터마크 추출을 위한 정보를 준비한다. 단계 4에서 diff를 계산하고 최종적으로 단계 5에서 diff와 T<sub>4</sub>의 비교를 통해 워터마크를 추출하고 추출된 워터마크를 W'이라 한다. 또한 워터마크 추출 알고리즘도 <그림 8>에 도식화하여 나타냈다.

IV. 실험 결과 및 성능분석

제안한 알고리즘을 C 언어로 구현하여 검증을 하였다. 웨이블릿 변환은 리프팅 방식을 사용하였고 3단계 웨이블릿 변환을 수행하였다. 원영상은 512x512 크기의 500개 흑백 영상을 사용하였고 워터마크는 32x32 크기의 이진 영상을 사용하여 실험하였다.

워터마크가 삽입된 영상의 화질을 분석하기 위하여 최대신호대잡음비(PSNR, Peak Signal-to-Noise Ratio)를 사용하였다. PSNR은 식 (1)과 같이 정의된다.

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{\frac{1}{XY} \sum_{x,y} (I_{x,y} - I'_{x,y})^2} \quad (1)$$

여기서 I는 원영상이고 I'은 변형된 영상이다. 삽입한 워터마크와 추출된 워터마크의 유사성 분석은 오류의 갯수로 하였다.

추출된 워터마크의 특성을 분석하기 위해서 유효한

워터마크에 대해 정규화된 상관도(NC, Normalized correlation)를 사용하였고 아래의 식 (15)와 같이 정의된다.

$$Normalized\ correlation = NC = \frac{\sum_{i=1}^N W_i W_i'}{\sum_{i=1}^N W_i^2} \quad (2)$$

여기서  $W_i$ 는 원 워터마크를 나타내고  $W_i'$ 은 추출된 워터마크를 나타낸다.

표 2.  $T_4$ 의 변화에 따른 워터마킹 결과  
Table 2. The watermarking results for various values of  $T_4$ .

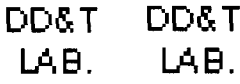
Threshold	$T_4 = 4$	$T_4 = 8$	$T_4 = 12$
PSNR	54.54 dB	51.37 dB	48.29 dB
Error Points	0	0	0
워터마크	 삽입 검출		



그림 9.  $T_4$  변화 따른 워터마크가 삽입된 영상 (a) 원 영상, (b)  $T_4=4$ , (c)  $T_4=8$ , (d)  $T_4=12$   
Fig. 9. Watermarked images for various values of  $T_4$  (a)original image (b) $T_4=4$  (c) $T_4=8$  (d) $T_4=12$ .

1. 비가시성에 대한 실험

본 실험에서 가중치  $w$ 를 0으로 두고  $T_4$ 를 4, 8, 12로 변화시켜 워터마크를 삽입한 경우에 대해 <표 1>에서 PSNR과 워터마크에 대한 결과를 나타냈다. 워터마킹 영상은 세 경우 모두 높은 PSNR을 보여 비가시성을 만족하였고 예측한 대로  $T_4$ 가 작을수록 높은 비가시성을 보였다. 워터마크는 세 가지 모두 에러 없이 검출되었다.

<그림 9>에는 <표 2>의 실험에 대한 결과영상 중에서 대표적인 영상인 Lena를 나타냈다. 영상에서 확인할 수 있듯이 워터마크 삽입에 대한 영향을 거의 주지 않음을 확인할 수 있다. 하지만  $T_4$ 가 12이상의 값을 가질 경우에 시각적으로 워터마크 삽입에 대한 영향이 나타나서 워터마크로서의 기본 요구조건인 비가시성에서 멀어진다.

2. 공격에 대한 강인성

제한한 알고리즘의 강인성을 평가하기 위하여 <표 1>의 결과에 JPEG 압축 공격을 적용하였고 그 결과는 <표 2>에 나타났다. 각  $T_4$ 에 따라서 압축율을 높이면서 영상을 압축하고 영상에 대한 PSNR을 측정하였다. 또한 압축 영상으로부터 워터마크를 추출하여 오차율(Error rate)과 정규화된 상관도(NC)를 각각 측정하였다. 표에서 임계값이 증가함에 따라 강인성이 향상됨을 확인할 수 있고  $T_4$ 가 8인 조건에서 비가시성과 강인성을 동시에 만족함을 확인하였다.

이전 연구들 중에서 유사한 방식으로 좋은 특성을 보이는 Heish<sup>[12]</sup>의 결과와 비교하기 위해 <표 3>의 결과를 토대로 삼는다. Heish<sup>[12]</sup>의 연구에서 공격이 없을 경우 워터마킹이 삽입된 영상의 PSNR이 45dB로 나타내고 있으므로 비교 대상으로  $T_4$ 값을 12로 정한다. 각 연구에서 JPEG 압축시 Quality 및 압축률을 계산하는데 있어서 약간씩 기준이 다르고 실험대상 영상의 다르기 때문에 정확한 비교를 한다는 것이 어렵지만 유사 압축률에서 비교를 하면, Heish<sup>[12]</sup>의 경우 7.8대 1의 JPEG 압축에서 약 39dB정도를 보이므로 본 연구에서 제시된 방식이 약 1dB 정도 나쁜 특성을 보인다. 또한 Hsu와 Wu<sup>[7]</sup>의 연구에서는 약 32.56dB를 보이고 있어 약 5dB 정도 좋은 결과를 보인다. 실험에 사용된 영상 집단이 다르고 선택된 워터마크에서 유효워터마크의 수와 워터마크를 삽입할 때 적용되는 가중치의 관계가 다르기 때문에 1dB의 차이로 절대적으로 성능이 뒤떨

어진다고 볼 수는 없다. <표 3>에서 7.8대 1의 압축율은 JPEG quality에서 50 정도에 해당한다.

<표 4>에서는 Blurring, Sharpening, 가우시안 잡음에 의한 영상처리를 공격으로 가정할 경우에 대한 강인도를 실험한 결과이다. 공격을 가한 후의 PSNR을 나타냈고 워터마크 추출을 하여 추출된 워터마크의 오차율과 정규화된 상관도를 나타냈다. Heish<sup>[12]</sup>의 결과와 비교하면 Blurring에 의한 공격과 Blurring과 Sharpening 공격을 동시에 가한 경우에는 약 1에서 2dB정도 좋은 결과를 보였고 Sharpening 공격에 대해서는 안 좋은 결과를 보였다. 전체적인 오차율의 차이는 약 2%이하로 나타났다. 또한 가우시안 노이즈에 대해서는 10%와 20%에서 각각 33.12dB 및 28.55dB를 보였고 취약한 특성을 보였다.

표 3. JPEG 압축 공격에 대한 실험결과  
Table 3. Experimental results for the JPEG compression attacks.

Threshold	T <sub>1</sub> = 4			T <sub>1</sub> = 8			T <sub>1</sub> = 12		
	PSNR (dB)	Error Rate (%)	NC	PSNR (dB)	Error Rate (%)	NC	PSNR (dB)	Error Rate (%)	NC
100	51.68	0	1.00	49.77	0	1.00	47.42	0	1.00
90	47.11	0.9	0.97	45.78	0	1.00	45.21	0	1.00
80	43.43	4.1	0.89	42.29	0	1.00	42.01	0	1.00
70	41.44	5.8	0.84	40.36	0	1.00	40.19	0	1.00
60	40.17	7	0.80	39.10	0	1.00	38.97	0	1.00
50	39.34	8	0.78	38.28	0.2	0.99	38.17	0	1.00
40	38.51	11.6	0.68	37.46	1.1	0.97	37.37	0	1.00
30	37.59	14.4	0.60	36.54	3.2	0.91	36.47	0	1.00
20	36.33	16.7	0.53	35.30	8.2	0.77	35.23	1.7	0.95
10	34.06	17.4	0.51	33.05	11.2	0.69	33.03	8.3	0.77

표 4. 일반적인 영상처리에 대한 실험결과  
Table 4. Experimental results by the general image processing.

Attack	PSNR	Error Rate	NC
Week Blur	37.90	2.5	0.930
Strong Blur	36.47	3.3	0.908
Week Sharpen	35.39	3.6	0.899
Strong Sharpen	34.24	4.1	0.885
Gaussian Noise 10%	33.12	6.2	0.826
Gaussian Noise 20%	28.55	8.3	0.767
Week Sharpen+Blur	36.32	3.5	0.902
Strong Shapen+Blur	33.75	4.3	0.880

## V. 결 론

본 논문에서는 웨이블릿 변환 영역에서 워터마크를 삽입하고 원영상 없이 워터마크를 검출하는 새로운 구조의 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. JPEG 압축과 일반적인 영상처리 공격에 대한 강인성을 위해서 중요한 웨이블릿 계수를 선택하였고 웨이블릿 영역에서의 상관도를 통해 계수의 중요도를 검사하였다. 부대역 계수의 유사성을 조사하여 관련 주파수 대역에서의 계수의 중요도를 검증한 뒤 워터마크 삽입 위치를 결정하는 방법을 사용하였다. 이 유사성은 부대역간의 두 계수의 차를 이용하여 워터마크 삽입과 검출에 적용하였다. 이러한 특성들 때문에 제안한 워터마킹 알고리즘은 비가시성과 강인성을 동시에 만족하였다. 본 논문에서 제안된 워터마킹 알고리즘은 실험에서는 크게 다루지 않았지만 임계값들을 조절하여 워터마크의 수와 삽입 영역을 조절할 수 있는 유연성을 가진다. 따라서 유/무선 네트워크상의 수용 대역에 따른 동작적인 유연함을 가질 수 있어 알고리즘이 다양한 적용 분야에서 이용될 수 있다. 그러나 다른 측면에서 고려할 때에 이러한 알고리즘의 유연성은 사용의 복잡도를 증가시키고 영상집단에 따른 빈번한 가중치의 변화는 상당한 불편함으로 작용할 수 있다. 그러므로 사용환경과 요구되는 강인성에 따른 스케일링 요소에 대한 구체화된 가이드가 필요하다. 앞으로 상당한 양의 영상집단에 대한 실험을 통해서 그러한 부분을 보충하고자 하고 하드웨어로의 구현을 위하여 임계값들과 스케일링 요소들을 통계적인 결과로부터 유도하여 유사한 강인성을 가지면서 전반적인 알고리즘을 간략화하고자 한다.

## 참 고 문 헌

- [1] Ingemar J. Cox, Matthew L. Miller, Jeffrey A. Bloom, "Digital watermarking", Morgan Kaufmann Publishers, 2002.
- [2] I. J. Cox, J. Killian, T. Leighton and T. Shamon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," IEEE Trans. on Image Processing, 6, 12, pp. 1673-1687, 1997.
- [3] I. J. Cox and M. L. Miller, "A Review of Watermarking and the Importance of Perceptual



- Modeling”, Proc. of SPIE Conf. on Human Vision and Electronic Imaging II, vol. 3016, pp. 92~99, February, 1997.
- [4] M. Barni, “Image Watermarking of Secure Transmission over Public Networks”, Proc. of COST 254 Workshop on Emerging Techniques for Communication Terminals, Toulouse, France, pp. 290~294, July, 1997.
- [5] J. O. Ruanaidh, W. J. Dowling, and F. M. Boland, “Phase Watermarking of Digital Images”, Proc. of Ieee Conf. in Image Processing, vol. 3, pp. 239~242, 1996.
- [6] X. G. Xia, C. G. Boncelet and G. R. Arce, “A Multiresolution Watermark for Digital Images”, Proc. of IEEE ICIP, vol. 3, pp. 548~551, 1997.
- [7] C. T. Hus and J. L. Wu “Hidden Digital Watermarks in Images”, IEEE Trans. on Image Processing, vol. 8, no. 1, pp. 58~68, January, 1999.
- [8] Shapiro, J.M., “Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients”, Signal Processing, IEEE Transactions on , Volume : 41 Issue : 12 , Dec. 1993, pp 3445 -3462.
- [9] Ming-Shing Hsieh and Din-Chang Tseng, “Hiding Digital Watermarks Using Multiresolution Wavelet Transform”, IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 48. No. 5, October, 2001.
- [10] S. F. Hsiao, Yor-Chin, and K. H. Chang, “VLSI Design of An Efficient Embedded Zerotree Wavelet Coder with Function of Digital Watermarking”, IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol. 46, No. 3, August 2000.
- [11] S. K. Paek and L. S. Kim, “A Real-Time Wavelet Vector Quantization Algorithm and Its VLSI Architecture”, IEEE Trans. on Circuits and System for Video Technology, Vol. 10, No. 3, April 2000.
- [12] I. Daubechies and W. Sweldens, “Factoring wavelet and subband transforms into lifting steps,” Journal of Fourier Analysis and Applications, 4(3):245-267, 1998.
- [13] Jaideva C. Goswami, Andrew K. Chan., “Fundamentals of Wavelets”, A Siley-Interscience Publication, 1999.
- [14] Amir Said and William A. 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. No. 3, pp. 243-250, June 1996.
- [15] Ming-Shing Hsieh, Din-Chang Tseng, Yong-Huai Huang, “Hiding digital watermarks using multiresolution wavelet transform”, Industrial Electronics, IEEE Transactions on, Volume: 48 Issue : 5 , Oct. 2001, pp 875-882.
- [16] 한국정보보호센터, “128-비트 블록 암호 알고리즘 (SEED) 개발 및 분석보고서”, 1998

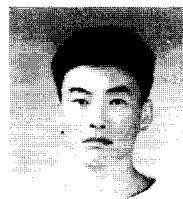
## 저 자 소 개



徐 英 鎬(正會員)

1999년 2월 : 광운대학교 전자재료 공학과 졸업(공학사). 2001년 2월 : 광운대학교 대학원졸업(공학석사). 2000년 3월~2001년 12월 : 인티스닷컴(주) 연구원. 2001년 3월~현재 : 광운대학교 전자재료공

학과 박사과정. 2003년 6월~현재 : 한국전기연구원 연구원. <주관심분야 : Image Processing/Compression, 워터마킹, 암호학, FPGA/ASIC 설계>



朴 鎭 永(正會員)

2000년 9월 : 광운대학교 전자재료 공학과 졸업(공학사). 2002년 8월 : 광운대학교 대학원졸업(공학석사). 2003년 9월~현재 : (주)팬텍&큐리텔 연구원. <주관심분야 : 워터마킹, 암호학, FPGA/ASIC 설계>



金東郁(正會員)

1983년 2월 : 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1985년 2월 : 한양대학교 대학원 졸업(공학석사).

1991년 9월 : Georgia 공과대학 전기공학과 졸업(공학박사). 2000년 3

월~2001년 12월 : 인티스닷컴(주)

연구원. 1992년 3월~현재 : 광운대 전자재료공학과 정교수. 광운대학교 신기술 연구소 연구원. 1997년 12월~현재 : 광운대학교 IDEC 운영위원. <주관심분야 : 디지털 VLSI Testability, VLSI CAD, DSP 설계, Wireless Communication>