

# 제로트리 구조를 이용한 비가시적인 워터마킹 알고리즘

박 병 선, 유 지 상

광운대학교 전자공학부 디지털 미디어 연구실

## Invisible Watermarking Algorithm based on Zerotree Structure

Byung-Sun Park, Ji-Sang Yoo

Digital Media Lab., Dept. of Electronic Eng., Kwangwoon University

ligethi@dreamx.net, jsyoo@daisy.gwu.ac.kr

### Abstract

In this paper, we propose a watermarking technique that embeds a digital watermark into digital images for the proof of owner or copyright protection. Proposed algorithm is based on discrete wavelet transform. Zerotree structure defined by Shapiro's embedded zerotree wavelet(EZW) algorithm is used. In the proposed algorithm, a digital watermark is embedded on only significant wavelet coefficients chosen by QSWT for the robustness of the algorithm. In other words, only the values of significant wavelet coefficients are modified in accordance with the given watermark pattern. We use the relationship among neighboring coefficients when modifying chosen coefficients to keep good image quality. Visual recognizable patterns such as binary images are used as a watermark. The experimental results show that the proposed algorithm has robustness under a variety of attacks such as JPEG compression, sharpening and blurring and also show that it has a better performance in PSNR comparing with other algorithms.

### I. 서론

디지털 워터마킹은 지적재산권을 보호하기 위한 연구

로서, 지속적인 관심이 증대되어 왔다. 디지털 워터마크란 저작자 및 소유자의 일련의 데이터를 말하고, 이를 영상, 음성 등과 같은 디지털 콘텐츠(digital content)에 보이지 않게 삽입한다. 그리고 필요시에 삽입되어있는 정보를 추출함으로써 저작자의 소유권증명이 가능하다. 디지털 워터마킹은 저작자 또는 소유자가 생성한 비밀키(seed)가 있어야만 워터마크를 삽입 또는 추출할 수 있도록 설계되어야 한다[1].

본 논문에서는 기존의 워터마킹 알고리즘의 단점을 분석하여, 영상의 품질을 높이면서 압축 및 일반적인 신호처리 등에 강인한 워터마킹 기법을 제안하고자 한다. 웨이블릿 변환의 다해상도 원리를 기반으로 계수의 크기와 함께 유사성을 고려하는 Hsieh의 QSWT를 적용하여 워터마크가 삽입되는 계수를 선택하고, 워터마크 삽입방법은 영상의 품질을 높이기 위해 주변 계수들과의 관계를 이용하여 삽입한다[5].

제안된 기법은 기존의 방법들 보다 내성이 강하여 다양한 공격에 우수한 성능을 유지하고, Hsieh가 제안한 방법의 단점인 영상의 품질저하와 안정성 문제를 해결하였다. 실험을 통하여 제안된 워터마킹 기법과 기존의 기법을 비교한 결과 성능이 우수하다는 것을 입증하였다.

### II. 웨이블릿 계수 선택방법

본 논문에서 제안하는 워터마킹 기법은 먼저 주어진 영상을 웨이블릿 변환하고, 변환된 웨이블릿 계수에 워터마크를 삽입한다. Hsieh[5] 등은 EZW의 정의에 기반하여 QSWT(qualified significant wavelet tree)를 제안하였다. QSWT는 웨이블릿 변환의 다해상도 원리를 기

반으로 워터마크가 삽입되는 계수를 효율적으로 선택하게 된다[2][3][4]. 제로트리 구조를 이용하여 시각적으로 중요하면서 서로 유사성을 지닌 계수들을 선택하고, 선택된 계수들에 워터마크를 삽입함으로써 기존 웨이블릿 기반 방법들보다 높은 성능을 갖도록 하였다[6]. QSWT의 정의는 다음과 같다.

**정의 1 :** " $x_{l-1}(p,q)$ 의 "Parent"인 coarser 스케일의 웨이블릿 계수  $x_l(i,j)$ 가 존재할 때, 주어진 임계값  $T_1, T_2$ 에 대하여  $|x_l(i,j)| > T_1, |x_{l-1}(p,q)| > T_2$ 를 만족할 때  $x_l(i,j)$ 과 그의 "Children"을 QSWT라 한다"

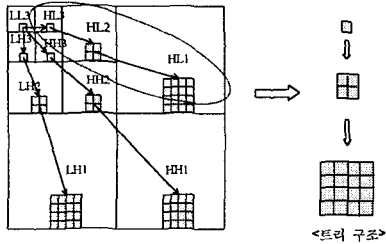


그림 1. 웨이블릿 계수의 트리 구조

### III. 제안된 알고리즘

본 논문에서는 웨이블릿 계수에 시각적으로 인지할 수 있는 이진영상을 워터마크로 삽입하는 기법을 제안한다. 제안된 기법은 영상을 웨이블릿 변환 후에 서로 유사성을 가지는 부대역간의 쌍(LH<sub>3</sub>, LH<sub>2</sub> 또는 HL<sub>3</sub>, HL<sub>2</sub> 또는 HH<sub>3</sub>, HH<sub>2</sub>)을 만들고 정의 2에서 정의된 QSWT(qualified significant wavelet tree)로 선택되어진 "Parent"와 "Children"에 워터마크를 동시에 삽입한다. 제안된 워터마크 삽입기법은 선택된 계수와 이웃하는 계수들과의 크기를 비교하여 극성(polarity)을 구하고, 워터마크의 값에 따라 극성을 반전시킨다. 즉 워터마크 값이 1이면 극성을 반전시키고 0이면 그대로 둔다. 워터마크를 추출하기 위해서는 삽입과정과 같이 원영상과 워터마크가 삽입된 영상, 각각의 극성을 구하고 이들간의 논리곱(exclusive-OR)을 취하여야 한다. 워터마크는 사전에 seed 값을 이용하여 치환(permutation) 및 정렬되어(sorting) 삽입되고, 추출된 워터마크는 다시 seed값에 의해 역치환 및 역정렬 되어 시각적으로 확인 가능한 이진 영상이 된다.

#### 3.1 워터마크 삽입기법

본 논문에서 제안하는 워터마크 삽입 기법을 그림 2에 나타내었다. 과정을 단계별로 설명하면 다음과 같다.

▶ 1 단계 : 원영상의 웨이블릿 변환

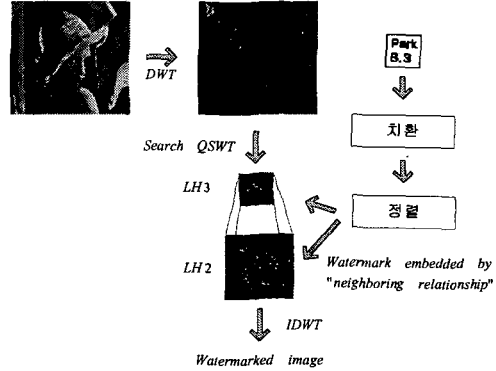


그림 2. 워터마크 삽입 기법

원 영상은 이산 웨이블릿 변환에 의해서 주파수 영역으로 변환된다. 원영상의 크기는  $P \times Q$ , 워터마크 영상의 크기는  $r \times s$ 이라고 가정하였다.

▶ 2 단계 : 의사난수신호(pseudo random sequence)를 이용한 워터마크의 치환

안전성을 높이기 위하여 저자가 만든 seed를 사용하여 워터마크(watermark[k])를 치환한다. 이 과정을 식 (2)에 보였다.

$$\begin{aligned} \text{permute\_WM}[k] &= \text{Permute}(\text{watermark}[k]) \\ \text{sort\_WM}[k] &= \text{Sorting}(\text{permuted\_WM}[k]) \end{aligned} \quad (2)$$

▶ 3 단계 : QSWT[k]

웨이블릿 계수의 부대역 쌍을 앞에서 언급한 방법으로 선택하고, 정의 1를 사용하여 다음과 같은 과정으로 QSWT[k]를 구한다.

$$\begin{aligned} \text{QSWT}[k] &= \text{NULL} \\ \text{if } x_1(i,j) > T_1 & : x_1(i,j) \in \text{LH3} \\ \text{if } x_2(2^*i, 2^*j) > T_2 \text{ and } x_2(2^*i+1, 2^*j) > T_2 \text{ and} \\ x_2(2^*i, 2^*j+1) > T_2 \text{ and } x_2(2^*i+1, 2^*j+1) > T_2; \\ & x_2(p,q) \in \text{LH2} \\ \text{QSWT}[k] &= \{x_1(i,j), x_2(2^*i, 2^*j), x_2(2^*i+1, 2^*j), \\ & x_2(2^*i, 2^*j+1), x_2(2^*i+1, 2^*j+1)\} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서  $(i,j)$ 는 정의 2에서 l번째 레벨의 계수의 좌표를 나타낸다. 이때 임계값  $T_1, T_2$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} T_1 &= 1/n \{ \text{Median}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n), x_i \in \text{LH3} \}, \\ T_2 &= 1/m \{ \text{Median}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_m), x_i \in \text{LH2} \}. \end{aligned} \quad (4)$$

▶ 4 단계 : 워터마크 삽입

워터마크를 삽입하기 위해서 식 (5)과 같이 QSWT[k]의 계수와 주변 계수와의 평균값(aver)과 차이값(sub)을 구한다. 먼저 (6)의 과정에 따라서 QSWT 계수가 평균값보다 작을 때는 0, 그렇지 않은 경우는 1로 극성(polarity[k])을 정의한다. 식 (2)의 정렬된 워터

마크( $sort\_WM[k]$ )값이 1이고 극성이 1이면 계수값이 평균값에 가중치  $\alpha$ 을 뺀 값으로 수정되고, 동시에 극성은 0으로 반전된다. 만약 극성이 0이면 평균값에 가중치  $\alpha$ 를 더한 값으로 계수 값이 수정되고, 극성은 반전되어 1의 값을 갖게 된다. 이과정을 (7)에 정리하였다. 이렇게 하는 이유는 삽입되는 워터마크가 주변 계수들과 선형적인 관계를 갖게 함으로써 영상의 화질을 개선하고자 함이다.

$$aver = \{(QSWT[x][y-1] + QSWT[x][y+1]) / 2\},$$

$$sub = \{QSWT[x][y] - aver\} \quad (5)$$

$$if(sub < 0) \quad polarity[k] = 0;$$

$$\quad \quad \quad else \quad polarity[k] = 1; \quad (6)$$

$$if(sort\_WM[k] == 1)$$

$$\quad if(polarity[k] == 1)$$

$$\quad \quad QSWT[x][y] = aver - \alpha;$$

$$\quad \quad else$$

$$\quad \quad \quad QSWT[x][y] = aver + \alpha;$$

$$else \quad (7)$$

$$\quad QSWT[x][y] = QSWT[x][y];$$

### 3.2 워터마크 검출기법

워터마크의 검출 과정은 그림 3과 같다. 검출 시에는 원영상에서 얻은  $QSWT[k]$ 의 극성과 워터마크가 삽입된 영상에서 얻은  $QSWT'[k]$  극성을 서로 비교함으로써 워터마크를 복원할 수 있다. 제안된 기법에서는 원영상과 워터마크 삽입된 영상에서 구한 각각의 극성값의 논리곱을 구함으로써 쉽게 워터마크를 검출할 수 있다. 또한 추출된 워터마크는 인간의 시각으로 인지가 가능하므로 보다 객관적으로 소유권 주장을 할 수 있다. 또한 치환 및 역치환 과정은 저작자만이 워터마크를 복원할 수 있으므로 워터마킹 기법의 안전성을 높일 수 있다.

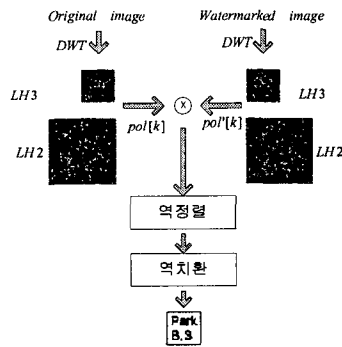


그림 3. 워터마크 추출 기법

검출과정을 단계별로 설명하면 다음과 같다.

- ▶ 1 단계 : 원영상  $I$  와 워터마크가 삽입된 영상

$I'$  를 각각 웨이블릿 변환한다.  $C$ 와  $C'$ 는 각각의 웨이블릿 계수이다.

$$C = DWT(I) \quad C' = DWT(I') \quad (8)$$

- ▶ 2 단계 : 식 (3)의 과정에 따라 각각의 영상에서  $qswt[k]$ 와  $qswt'[k]$ 를 구한다.

$$qswt[k] = QSWT(C) \quad qswt'[k] = QSWT(C') \quad (9)$$

- ▶ 3 단계 : 구해진  $qswt[k]$ 와  $qswt'[k]$ 의 극성  $pol[k]$ 과  $pol'[k]$ 을 구한다.

$$pol[k] = Polarity(qswt[k])$$

$$pol'[k] = Polarity(qswt'[k]) \quad (10)$$

- ▶ 4 단계 : 다음과 같이 각 부대역 간의 극성에 논리곱(exclusive or)를 취한다.

$$extract[k] = pol[k] \quad xor \quad pol'[k] \quad (11)$$

- ▶ 5 단계 : 4단계에서 추출된 신호를 주어진 seed에 따라 역치환(reverse permute) 및 역정렬(reverse sorting)을 취하여 워터마크를 복원한다.

$$sort\_wm[k] = reverse \quad permute(extract[k])$$

$$watermark[k] = reverse \quad sorting(sort\_wm[k]) \quad (12)$$

웨이블릿 변환을 기반으로 하며, 이진 영상 등의 시각적인 워터마크를 사용하는 다른 기법들과 성능을 비교하기 위하여 다음에 정의된 정규화된 상관도(normalized correlation:NC)를 이용하였다.

$$NC = \frac{\sum w_i w_i'}{\sum w_i^2} \quad (13)$$

여기서  $w_i$  는 원본 워터마크이고,  $w_i'$  는 영상으로부터 추출된 워터마크이다.

## IV. 구현 및 실험

제안된 알고리즘의 구현은 펜티엄4 1.5G 시스템에서 VC++ 6.0으로 구현하였다. 실험에 사용된 테스트 영상은 512x512 크기의 Lena, Barbara, Goldhill 등이고, 웨이블릿 변환은 Daubechies의 9,7 탭 필터를 사용하였다. 워터마크 가중치인  $\alpha$  값은 3으로 하였다[7].  $k$ 는 QSWT(qualified significant wavelet tree)로 정의된 계수의 수이며 워터마크로는 32x32 크기의 이진영상을 사용하였다. 공격에 대한 평가는 QSWT를 사용한 Hsieh의 기법과 비교하였다. 왜냐하면 기존의 웨이블릿 다해상도 원리를 기반으로 한 알고리즘 중 Hsieh의 기법이 가장 우수한 성능을 가지고 있기 때문이다.

표 1과 표 2, 표 3에서는 Hsieh의 기법과 본 논문에서 제안한 기법이 외부의 공격이 없을 경우와 blurring, sharpening, blurring과 sharpening, 그리고 JPEG으로 압축한 경우 등의 다양한 공격을 당했을 경우의 PSNR과 각 공격에 대한 워터마크 검출율을 비교하였다. 표 1은 Lenna 영상을 실험영상으로 이용하고, 표 2는 Barbara 영상, 표 3은 Goldhill 영상을 이용하여 실험한 결과이다.

표 1을 보면 본 논문에서 제안한 기법이 Hsieh가 제안한 기법에 비해서 PSNR이 약 8.3[dB]이 향상된 것을 알 수 있다. 또한 blurring, sharpening, blurring과 sharpening, JPEG압축 등의 공격이 있을 시에도 Hsieh의 기법 보다 본 논문에서 제안한 기법이 워터마크 검출율이 전반적으로 높다는 것을 알 수 있다. 그림 5와 그림 6을 자세히 보면 약 3-8.3[dB] PSNR이 개선된 것을 눈으로 확인할 수 있다.

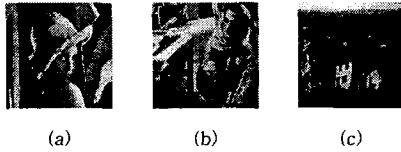


그림 4. 원영상 (a) Lenna (b) Barbara (c) Goldhill

표 1. PSNR과 정규화된 상관도(Lenna 영상)

외적조작	Hsieh의 기법[5]		제안한 기법	
	PSNR	NC	PSNR	NC
no attack	45.37	1	53.46	1
blur	38.43	0.98	38.36	1
sharpening	25.98	0.95	25.96	0.99
sharpening +blurring	33.67	0.99	33.64	0.99
JPEG(7.8:1)	35.26	0.97	35.61	0.99

표 2. PSNR과 정규화된 상관도(Barbara 영상)

외적조작	Hsieh의 기법[5]		제안한 기법	
	PSNR	NC	PSNR	NC
no attack	46.20	1	49.22	1
blur	31.67	0.96	31.62	1
sharpening	19.96	0.91	19.98	1
sharpening +blurring	27.15	0.98	27.957	1
JPEG(7.8:1)	35.67	0.97	35.732	0.97

표 3. PSNR과 정규화된 상관도(Goldhill 영상)

외적조작	Hsieh의 기법[5]		제안한 기법	
	PSNR	NC	PSNR	NC
no attack	48.69	1	53.46	1
blur	31.95	0.94	31.951	0.99
sharpening	24.19	0.82	24.20	0.98
sharpening +blurring	32.67	0.98	32.67	0.99
JPEG(7.8:1)	35.47	0.98	35.49	0.99

### 5. 결론

본 논문에서는 웨이블릿 계수중 QSWT로 정의된 계수에 디지털 워터마크를 삽입하고, 워터마크가 삽입되는 계수와 그 주변 계수의 관계를 고려하여 워터마크를 삽입하였다. QSWT로 정의된 중요 계수를 선택함으로써 제안된 기법이 다양한 공격에 강인하게 되었고, 동시에 주변 계수와의 선형적 관계를 이용함으로써 영상의 화질을 향상시킬 수 있었다.

실험 결과를 통해서 제안된 기법이 Hsieh가 제안한 기법과 비교하여 PSNR과 워터마크 검출률면에서 모두 향상된 성능을 보이는 것을 입증하였다. 따라서 제안된 기법이 기존의 웨이블릿 변환을 기반으로 하는 다른 워터마킹 기법에 비해 비인지성(imperceptibility), 강인성(robustness), 안정성 등의 요구조건을 더 잘 만족시킨다고 할 수 있겠다. 제안된 기법은 웨이블릿 기반 비디오 코덱 등에 응용될 수 있을 것으로 보인다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 한국과학재단 목적기초연구(과제번호: RO1-2001-000-00350-0)의 일부 지원으로 이루어졌음.

### < 참고문헌 >

- [1] S. Katzenbeisser and F. Petitcolas, Information hiding techniques for steganography and digital watermarking, Artech House, 2000.
- [2] Jong Ryul Kim and Young Shik Moon, "A robust wavelet-based digital watermark using level-adaptive thresholding," in Proc. ICIP, Kobe, Japan, Oct. 1999, p.202
- [3] Chiou-Ting Hsu and Ja-Ling Wu, "Multiresolution Watermarking for Digital Images," *IEEE Trans. Circuits and Systems : Analog and Digital Signal Processing*, vol. 45, no. 8, aug 1998
- [4] Xia-mu Nju, Sheng-he Sun, "Multiresolution Digital Watermarking For Still Image," *IEEE* 2000
- [5] Ming-Shing Hsieh, Din-Chang Tseng, Yong-Huai Huang, "Hiding Digital Watermarks Using Multiresolution Wavelet Transform", *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, Vol. 48, No. 5, Oct. 2001.
- [6] J. M. Shapiro, "Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 41, no. 12, pp. 3445-3463, Dec. 1993
- [7] 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, Apr. 1992