

제로트리 구조를 이용한 비가시적인 워터마킹 알고리즘

박 병 선*, 김 동 옥**, 김 대 경*** 정회원 유 지 상*

Invisible Watermarking Algorithm based on Zerotree Structure

Byung-Sun Park*, DongUk Kim**, Dea-Gung Kim***, Ji-sang Yoo* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 영상의 저작권 보호 및 소유권 주장을 위하여 디지털 워터마크를 삽입하는 기법을 제안한다. 제안된 기법은 웨이블릿 변환을 기반으로 한다. 웨이블릿 계수들은 Shapiro의 EZW(embedded zerotree wavelet) 알고리즘에서 정의된 제로트리 구조를 가진다. 본 논문에서는 보다 강인한 성능을 위하여, 제로트리 구조에 의해 정의된 QSWT(qualified significant wavelet tree)를 이용하여 시각적으로 중요한 계수(significant coefficient)를 선택하여 워터마크를 삽입하고, 이 때 워터마크가 삽입된 영상의 품질을 높이기 위하여, 주변 계수들과의 관계를 이용하여 웨이블릿 계수의 값을 변형시켰다. 삽입되어지는 워터마크는 시각적으로 인식이 가능한 이진 영상을 이용한다. 본 논문에서 제안된 기법은 실험 및 결과를 통해서 기존의 디지털 워터마킹 알고리즘에 비해 다양한 공격에 강인함을 보였고, 워터마크의 비인지성(imperceptibility) 즉, 영상의 PSNR이 향상됨을 확인하였다.

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 콘텐츠는 손쉬운 복사 및 전송, 조작 등이 가능한 장점을 가지고 있지만, 이에 따른 저작자의 지적재산권(intellectual property right, IPR)에 대한 보호가 필요하다. 디지털 워터마킹은 지적재산권을 보호하기 위한 연구로서, 지속적인 관심이 증

대되어 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 비밀 키(seed)가 있어야만 워터마크를 삽입 또는 추출할 수 있도록 설계되어야 한다.

* 광운대학교 전자공학과 디지털미디어 연구실(ligethi@hanafos.co.kr, jsyoo@daisy.gwu.ac.kr)

** 광운대학교 반도체 및 신소재공학과 Digital Design&Test Lab(dwkim@daisy.gwu.ac.kr)

*** 한양대학교 응용수학과 웨이블릿 연구실(dgkim@hanyang.ac.kr)

논문번호 : K01202-0917, 접수일자 : 2001년 9월 17일

* 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2001-000-00350-0)지원으로 수행되었습니다.

디지털 워터마킹은 응용에 따라 차이가 있으나 비인지성(imperceptibility), 강인성(robustness), 안정성(security) 등의 기본적인 요구사항을 만족해야 한다^{[1][2]}. 이외에도 필요 조건으로 생각할 수 있는 것은 삽입한 워터마크를 소유자와 함께 모든 사람이 인정할 수 있도록 워터마크가 가능한 많은 정보를 포함하고 있어야 한다는 것이다. 따라서 이러한 점을 고려하여 인지 가능한 워터마크를 삽입하는 기법 등이 연구되어야 한다.

현재까지 다양한 워터마킹 기법들이 제안되었는데, 다음 세 가지로 분류할 수 있다. 첫 째, 워터마크가 삽입되어지는 공간(workspace) 즉, 공간영역(spatial domain)과 주파수 영역(frequency domain)으로 분류되고 두 번째, 삽입되어지는 워터마크의 형태, 그리고 마지막으로 워터마크가 삽입되는 위치로 분류가 된다.

공간영역에서의 워터마킹 기법으로 Osborne 등이 제안한 m-시퀀스를 이용하는 워터마킹 기법 등이 있다^[3]. 공간영역에서의 워터마킹 기법은 빠르고 손쉽게 워터마크를 삽입 및 추출이 가능한 장점이 있지만, 압축 및 신호처리 공격에 취약한 약점이 있다^[1].

주파수 영역에서의 워터마킹 기법은 공간영역에서 보다 강인하고 다양한 요구조건을 만족시키는 장점을 가지고 있다. 주파수 영역으로 변환하는 방법에는 크게 DFT(discrete Fourier transform), DCT(discrete cosine transform), DWT(discrete wavelet transform)등이 사용된다. 최근에는 위치정보와 주파수성분이 동시에 표현 가능한 DWT를 이용하는 기법들이 많이 제안되었다. Kim^[4] 등은 웨이블릿 변환을 기반으로 모든 부대역(sub-band)의 계수에 대하여 다중 임계값을 이용하여 시각적으로 중요한 웨이블릿 계수를 선택하고, 가우시안 분포의 랜덤 벡터를 워터마크로 삽입하였다. Kim과 비슷한 워터마킹 기법이 많이 제안되었는데, 이러한 기법들은 워터마크의 내성과 검출률이 비교적 떨어진다. 또한 상관도에 의존하여 워터마크 유무를 판별하므로, 객관성이 떨어진다.

Hsu^[5]와 Nju^[6]는 웨이블릿을 기반으로 원영상과 워터마크 영상을 다해상도로 표현한다. 원 영상 웨이블릿 계수의 극성(polarity)을 계산하고 극성에 따라 워터마크를 삽입하는 방식을 제안하였다. 하지만 이들은 모든 웨이블릿 계수에 워터마크를 삽입하여, 영상의 화질이 떨어지고, 추출된 워터마크도 잡음이 많이 포함되어 주관적인 품질도 떨어지는 단점을 가지고 있다. Hsieh^[7] 등은 EZW(embedded

zerotree wavelet)에 기반하여 QSWT(qualified significant wavelet tree)를 정의하고, QSWT의 계수에 워터마크를 삽입함으로써 기존의 웨이블릿 기반 워터마킹 기법들보다 좋은 성능을 보여주었다. 하지만 QSWT를 이용하는 방법은 워터마크의 안전성이 떨어지고, 영상의 주관적인 화질이 비교적 떨어지는 단점을 가진다.

본 논문에서는 기존의 워터마킹 알고리즘의 단점을 분석하여, 영상의 품질을 높이면서 압축 및 일반적인 신호처리 등에 강인한 워터마킹 기법을 제안하고자 한다. 본 논문에서는 웨이블릿 변환의 다해상도 원리를 기반으로 계수의 크기와 함께 유사성을 고려하는 Hsieh의 QSWT를 적용하여 워터마크가 삽입되는 계수를 선택한다. 워터마크 삽입방법은 영상의 품질을 높이기 위해 선택된 계수에 임의의 값을 직접 삽입하지 않고, 주변 계수들과의 관계를 이용하여 삽입한다. 시각적으로 인지할 수 있는 이진영상을 워터마크로 이용한다. 또한 워터마크를 주어진 seed값에 의해 발생하는 의사난수신호(pseudo random sequence)로 치환(permutation)한다.

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.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 워터마크가 삽입되어질 웨이블릿 계수를 선택하는 방법을 설명하고 특히 제안된 알고리즘에서 이용하는 QSWT에 대하여 자세히 설명한다. 3장에서는 제안하는 워터마크 삽입기법 및 추출기법에 대하여 기술하고, 4장에서는 제안하는 워터마킹 기법의 실험 결과를 제시한다. 5장에서 본 논문의 결론을 맺었다.

II. 웨이블릿 계수 선택방법

본 논문에서 제안하는 워터마킹 기법은 먼저 주어진 영상을 웨이블릿 변환하고, 변환된 웨이블릿 계수에 워터마크를 삽입한다. 이때 워터마크가 삽입되는 계수는 매우 중요하며 계수를 선택하는 방법도 매우 다양하다. 기존에 제안되었던 기법은 대부분 Kim^[4]의 방법과 유사하다. Kim은 각 부대역(sub-band)의 최대 계수값을 C라 정의하고, 가장 낮은 주파수를 갖는 부대역에서는 식 (1)의 방법으로

임계값 T 를 구하고, 나머지 부대역에서는 각 레벨 별로 식(1)의 방법으로 구한 T 를 2로 나눈 값을 임계값으로 하였다.

$$T = 2^{\lfloor \log_2 C \rfloor} \quad (1)$$

주어진 임계값을 통해서 시각적으로 중요한 계수를 얻고, 이 중요 계수에 부대역마다 다른 크기를 갖는 워터마크를 삽입하게 된다. 이 기법의 특징은 저주파공간에 비교적 적은 양의 워터마크를 삽입하고, 고주파성분에는 보다 많은 워터마크를 삽입함으로써, 화질열화를 줄이려고 한데 있다.

Hsieh^[7] 등은 Shapiro^[8]가 제한한 EZW의 정의에 기반 하여 QSWT를 제안하였다^{[7][8]}. EZW는 스케일에 따라서 중요 계수의 부재를 예측할 수 있는 알고리즘이다. EZW를 정의하기 위해서는 다음 두 가지 특징을 알아야 한다. 첫째, 웨이블릿 계수들은 저주파 영역으로 갈수록 크기가 커지고 계수들간의 변화폭도 큰 특성을 가지며 이것을 “coarser” 스케일이라 한다. 반면 고주파 영역으로 갈수록 웨이블릿 계수들의 크기가 작아지고 변화폭도 “0”을 중심으로 작아지며, 따라서 “finer” 스케일이라 부른다. 다음은 “Parent”와 “Children”의 관계다. 임의의 “coarser” 스케일 계수를 “Parent”라 하면, “Parent”와 같은 방향, 같은 위치에 해당하는 바로 다음 레벨의 “finer” 스케일 계수는 “Children”이 된다. 그림 1은 이러한 특성을 나타낸다.

정의 1 : “임의의 웨이블릿 계수 $x_l(i,j)$ (“Parent”)가 주어진 임계값 T 보다 작으면, 계수 $x_{l-1}(p,q)$ 의 “Children”도 T 보다 작다^[8].”

$x_l(i,j)$ 의 l 과 $l-1$ 은 다해상도에서 1 번째와 $l-1$ 번째 레벨의 부 밴드를 각각 의미하고, (i,j) 와 (p,q) 는 각각 “Parent”와 “Children” 계수의 위치를 의미한다. 본 알고리즘에서는 LH3와 LH2 밴드가 사용된다. 정의 1을 이용하여 QSWT을 정의하면 다음과 같다.

정의 2 : “ $x_{l-1}(p,q)$ 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^[7].”

QSWT는 웨이블릿 변환의 다해상도 원리 즉, 제

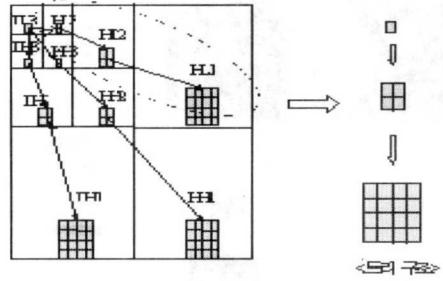


그림 1. 웨이블릿 계수의 트리 구조

로 트리 구조를 이용하여 워터마크가 삽입되는 계수를 선택하게 된다. EZW의 정의에 따라 “Parent” 임계값 T_1 과 “Children” T_2 를 각각 정의하고, 정의 2에 따라 $x_l(i,j)$ 과 $x_{l-1}(p,q)$ 에서 서로 방향성이 같은 계수들이 임계값 T_1, T_2 를 만족해야만 선택되어진다. 따라서 QSWT는 서로간의 유사성이 매우 크고 시각적으로 중요한 계수들에 워터마크를 삽입하므로, 부 밴드 안에서 계수의 크기만을 고려하여 워터마크를 삽입하는 기존 알고리즘들에 비해 다양한 공격에 강인한 성질을 지닌다. QSWT를 구하는 방법은 3장에 자세히 설명하였다.

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(LH3, LH2 또는 HL3, HL2 또는 HH3, HH2)을 만들고 정의 2에서 정의된 QSWT(qualified significant wavelet tree)로 선택되어진 “Parent”와 “Children”에 워터마크를 동시에 삽입한다. 제안된 워터마크 삽입기법은 영상의 화질을 높이기 위해서 QSWT로 선택되어진 계수에 워터마크를 바로 삽입하지 않고, 선택된 계수와 이웃하는 계수들과의 크기를 비교하여 극성(polarity)을 구하고, 워터마크의 값에 따라 극성을 반전시킨다. 극성을 반전시키기 위해서는 이웃하는 계수들의 평균값과 가중치(alpha)가 사용되어진다. 따라서 워터마크의 삽입이 이웃하는 계수들과의 관계에 따라서 정해지므로 보다 나은 화질을 얻을 수 있다. 워터마크를 추출하기 위해서는 삽입 과정과 같이 원 영상과 워터마크가 삽입된 영상, 각각의 극성을 구하고 이들간의 논리곱(exclusive-OR)을 취하여야 한다. 워터마크는 사전에 정의된 seed

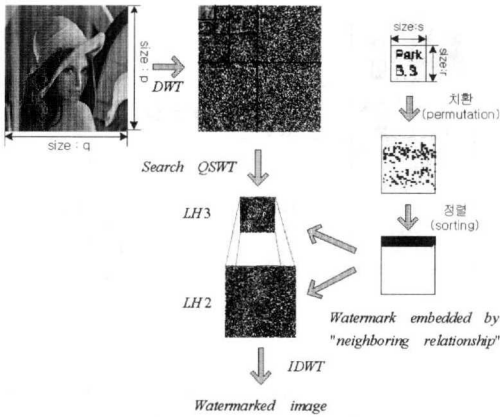


그림 2. 워터마크 삽입 기법

값을 이용하여 치환(permutation) 및 정렬되어 (sorting) 삽입되고, 추출 시에는 다시 seed값에 의해 역치환 및 역정렬 되어 시각적으로 확인 가능한 이진 영상 워터마크가 된다.

3.1 워터마크 삽입 기법

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

▶ 1 단계 : 원영상의 웨이블릿 변환

원 영상은 이산 웨이블릿 변환에 의해서 주파수 영역으로 변환된다. 원영상의 크기는 $p \times q$, 워터마크 영상의 크기는 $r \times s$ 이라고 가정하였다. 워터마크는 0과 1로 구성되어있는 이진영상이다.

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

안전성을 높이기 위하여 seed를 사용하여 워터마크(watermark[k])를 치환한다. 치환하는 방법은 seed로부터 $r \times s$ 의 크기의 2차원 난수좌표계를 발생시키고, 워터마크 영상은 이 난수공간으로 치환(permutation)된다. 치환을 통해서 워터마크는 인식이 불가능한 잡음형태를 가지게 되고, 복원시에 seed를 가지고 있어야만 워터마크의 완벽한 복원이 가능하다. 치환된 워터마크(permute_WM[k])는 다시 내림차순으로 정렬(sorting)된다. 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 2를 사용하여 다음과 같은 과정으로 QSWT[k]를 구한다.

$$\begin{aligned} \text{QSWT}[k] &= \text{NULL} \\ \text{if } x_3(i, j) > T_1 \quad ; x_3(i, j) &\in \text{LH3} \\ \text{if } x_2(2*i, 2*j) > T_2 \quad \text{and } x_2(2*i+1, 2*j) > T_2 \\ \text{and } x_2(2*i, 2*j+1) > T_2 \quad \text{and} \\ x_2(2*i+1, 2*j+1) > T_2; \quad x_2(p, q) &\in \text{LH2} \\ \text{QSWT}[k] &= \{x_3(i, j), x_2(2*i, 2*j), \\ x_2(2*i+1, 2*j), x_2(2*i, 2*j+1), x_2(2*i+1, 2*j+1)\}; \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 (i,j)는 정의 2에서 1번째 레벨의 계수의 좌표를 나타낸다. 이때 임계값 T_1, T_2 는 다음과 같이 정의된다.

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

▶ 4 단계 : 워터마크 삽입

워터마크를 삽입하기 위해서 식 (5)와 같이 QSWT[k]의 계수와 주변 계수와의 평균값(aver)과 차이값(sub)을 구한다. (6)의 과정에 따라서 QSWT 계수의 극성을 먼저 구하게 된다. 극성(polarity[k])은 평균값보다 작을 때는 0, 그렇지 않은 경우는 1로 정의한다. 구해진 극성과 식 (2)의 정렬된 워터마크(sort_WM[k])값에 따라서 QSWT 계수의 값을 변화시킴으로써 워터마크를 삽입한다.

워터마크가 1이고 극성이 1이면 계수값이 평균값에 가중치 alpha을 뺀 값으로 수정되고, 동시에 극성은 0으로 반전된다. 만약 극성이 0이면 평균값에 가중치 alpha를 더한 값으로 계수 값이 수정되고, 극성은 반전되어 1의 값을 갖게 된다. 이 과정을 (7)에 정리하였고, 그림 3의 (a)는 QSWT로 선택되었던 계수 $c[x][y]$ 이고, (b)는 식 (7)의 1)의 과정, (c)는 식 (7)의 2)의 과정을 각각 도시한 것이다. 식 (7)에 나열한 방식은 워터마크를 삽입할 시에 주변 계수들과 선형적인 관계를 갖게 함으로써, 워터마크가 삽입된 영상의 비가시적인 특성을 높이게 된다. 웨이블릿 계수는 각각의 부 밴드간의 방향성(LH:수평, HL:수직, HH:대각선)이 존재하므로 밴드 특성에 적합한 비교 방향을 사용한다.

$$\begin{aligned} \text{aver} &= \{(\text{QSWT}[x][y-1] + \text{QSWT}[x][y+1])/2\}, \\ \text{sub} &= \{\text{QSWT}[x][y] - \text{aver}\} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{if } (\text{sub} < 0) \quad \text{polarity}[k] &= 0; \\ \text{else} \quad \text{polarity}[k] &= 1; \end{aligned} \quad (6)$$

```

if (sort_WM[k] == 1)
    if (polarity[k] == 1)
        QSWT[x][y] = aver - alpha; 1)
    else
        QSWT[x][y] = aver + alpha; 2)
else
    QSWT[x][y] = QSWT[x][y];
    
```

(7)

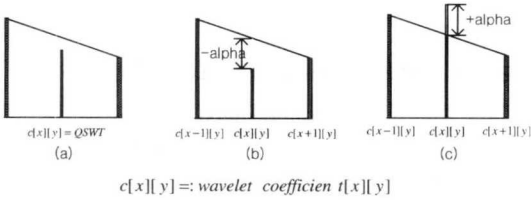


그림 3. 주변계수와의 관계 이용방법

- (a) QSWT계수 $c[x][y]$
- (b) watermark = 1이고 polarity = 1인 경우
- (c) watermark = 1이고 polarity = 0인 경우

IV. 워터마크 검출기법

워터마크의 검출 과정은 그림 4과 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 극성 값의 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.

검출과정을 단계별로 설명하면 다음과 같다.

▶ 1 단계 : 원영상 I 와 워터마크가 삽입된 영상 I' 를 각각 웨이블릿 변환한다. C와 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.

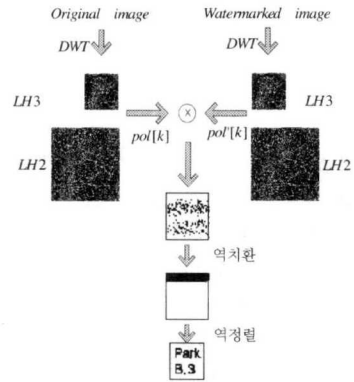


그림 4. 워터마크 추출 기법

$$\begin{aligned}
 pol[k] &= \text{Polarity}(qswt[k]) \\
 pol'[k] &= \text{Polarity}(qswt'[k])
 \end{aligned} \quad (10)$$

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

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

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

$$\begin{aligned}
 sort_wm[k] &= \text{reverse permute}(extract[k]) \\
 watermark[k] &= \text{reverse sorting}(sort_wm[k])
 \end{aligned} \quad (12)$$

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 펜티엄 IV 1.5G 시스템에서 VC++ 6.0으로 구현하였다. 실험에 사용된 테스트 영상은 512x512 크기의 Lena, Barbara, Goldhill 등이고, 웨이블릿 변환은 Daubechies^[9]의 9,7 탭 필터를 사용하였다. 워터마크 가중치인 alpha 값은 3으로 하였다. k는 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.

그림 5(a), (b), (c)는 실험에 사용된 테스트 영상으로 각각 Lenna, Barbara, Goldhill의 원영상이고, 그림 6의 (a), (b), (c)는 Hsieh의 기법으로 그림 5(a), (b), (c) 원 영상에 워터마크를 삽입한 결과 영상이고 그림 7의 (a), (b), (c)는 본 논문에서 제안한 기법으로 그림 5(a), (b), (c) 원 영상에 워터마크를 삽입한 결과 영상이다. 표 1, 2, 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 실험 영상으로 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 6과 그림 7을 자세히 보면 약 3 - 8.3[dB] 정도 PSNR이 개선된 것을 눈으로 확인할 수 있다.

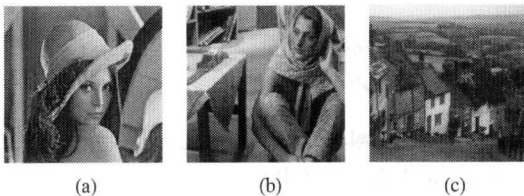


그림 5. 원영상 (a) Lenna (b) Barbara (c) Goldhill

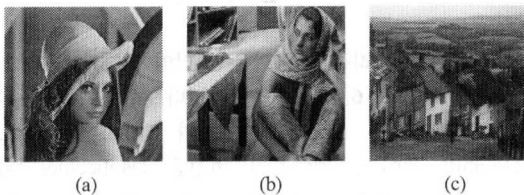


그림 6. Hsieh의 기법으로 워터마크가 삽입된 영상 (a) Lenna (b) Barbara (c) Goldhill

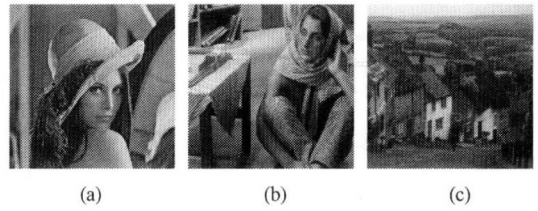


그림 7. 제안된 기법으로 워터마크가 삽입된 영상 (a) Lenna (b) Barbara (c) Goldhill

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

V. 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.

참 고 문 헌

- [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, "Multi-resolution 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

박 병 선(Byung-Sun Park)



2001년 : 호서대학교 전자공학과 학사
 2002년~현재 : 광운대학교 전자공학과 석사과정
 <주관심 분야> 신호 및 영상처리, 워터마킹, 영상압축

김 동 욱(Dong-Wook Kim)

정회원



1983년 : 한양대학교 전자공학과 졸업.
 1985년 : 한양대학교 대학원 졸업.
 1991년 : Georgia 공과대학 전기공학과 졸업.

1992년~현재 : 광운대학교 전자재료공학과 정교수.
 <주관심 분야> 디지털 VLSI Testability, VLSI CAD, DSP 설계, Wireless Communication

김 대 경(Dai-Gyoung Kim)

정회원



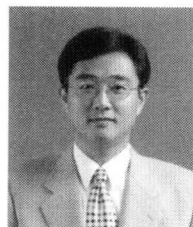
1983년 : 한양대학교 수학과 졸업.
 1986년 : 한양대학교 수학과 대학원졸업.
 1994년 : Purdue 대학교 수학과 졸업.

1994년~1995년 : 미국 Minnesota 대학응용수학센터 (IMA) Post-doctor

1995년~현재 : 한양대학교 응용수학과 조교수
 <주관심 분야> 웨이블릿 이론 및 응용, 수치해석학, 편미분 방정식

유 지 상(Ji-Sang Yoo)

정회원



1985년 : 서울대학교 전자공학과 졸업.
 1987년 : 서울대학교 대학원 졸업.
 1993년 : Purdue 대학교 전기공학과 졸업.

1993년~1994년 : 현대전자산업 (주) 산전연구소 선임연구원

1994년~1997년 : 한림대학교 전자공학과 조교수

1997년~현재 : 광운대학교 전자공학과 부교수

<주관심 분야> 웨이블릿 기반 영상처리, 영상압축,
영상인식, 비선형 신호처리