

다중 해상도 웨이블릿 변환과 영상 융합을 이용한 워터마킹

김 동 현[†] · 전 계 석^{**} · 이 대 영^{**}

요 약

본 논문에서 디지털 워터마킹을 위해 제안한 방법은 다중 해상도 웨이블릿 변환을 기본으로 하고 있다. 영상 데이터의 저작권 보호를 위해 필요한 워터마크로 $2N_{wx} \times 2N_{wy}$ 크기의 이진 로고영상의 1 레벨 DWT(discrete wavelet transform) 계수값을 사용하였다. 대상 영상을 3 레벨 DWT한 후 LL 영역과 중주파수 대역을 $N_{wx} \times N_{wy}$ 크기로 분할하고, 분할된 블록내 값이 큰 계수값들을 이용하여 임계값을 설정한다. 대상 영상의 각 주파수 대역마다 설정되는 임계값은 동일 대역의 워터마크가 다 삽입될 수 있는 값을 기준으로 정한다. 즉, 각 주파수 대역마다 임계값을 설정해야 한다. 대상 영상의 화질 저하를 막기 위해 블록내 임계값 이상인 부분에 대해 워터마크의 동일 위치 값을 삽입한다. 워터마크를 대상 영상의 LL 영역 및 중주파수 대역에 삽입한다. 워터마크를 인간의 시각 시스템으로부터 감추기 위해 워터마크에 HVS(human visual system)을 적용하여 삽입하였다. 따라서 본 논문에서 제안한 기법은 워터마크의 빠르고 정확한 검출이 가능하며, HVS가 적용된 작은 크기의 워터마크를 삽입함으로써 비가시성과 강건성이 뛰어나다는 장점이 있다.

키워드 : 디지털 워터마크, 이산 웨이블릿 변환, 인간 시각 시스템, 이미지 처리, 영상 융합

Watermarking Using Multiresolution Wavelet Transform and Image Fusion

Dong-Hyun Kim[†] · Kye-Suk Jun^{**} · Dae-Young Lee^{**}

ABSTRACT

In this paper, the proposed method for the digital watermarking is based on the multiresolution wavelet transform. The l-level Discrete Wavelet Transform(DWT) coefficients of a $2N_{wx} \times 2N_{wy}$ binary logo image used as a watermarks. The LL band and middle frequency band of the host image that the 3-level DWT has been performed are divided into $N_{wx} \times N_{wy}$ size and we use large coefficients at the divided blocks to make threshold. we set the thresholds that completely insert the watermark in each frequency of the host image. The thresholds in each frequency of the host image differ each other. The watermarks where is the same positions are added to the larger coefficients than threshold in the blocks at LL band and middle frequency band in order to prevent the quality deterioration of the host image. The watermarks are inserted in LL band and middle frequency band of the host image. In order to be invisibility of the watermark, the Human Visual System(HVS) is applied to the watermark. We prove the proper embedding method by experiment. We rapidly detect the watermark using this watermarking method. And because the small size watermarks are inserted by HVS, the results confirm the superiority of the proposed method on invisibility and robustness.

Key Words : Digital Watermark, Discrete Wavelet Transform, Human Visual System, Image Processing, Image Fusion

1. 서 론

인터넷의 개방성으로 인해 많은 멀티미디어 데이터가 소유자의 허가 없이 복제되어 무분별하게 배포되고 있다. 멀티미디어 데이터는 디지털 데이터라는 특성상 복제가 쉽고 여러 번 복제를 하여도 원본과 똑같은 품질을 유지할 수 있기 때문에 불법적으로 복제되고 있다. 이와 같은 문제로 멀티미디어 데이터의 저작권 보호를 위해 다양한 방법들이 제시되고 있는데, 그 한 방법으로 디지털 워터마킹(digital water-

marking)이 있으며, 이에 대한 연구들이 많이 수행되고 있다. 디지털 워터마킹은 멀티미디어 데이터에 사람의 눈이나 귀로 인지할 수 없는 신호 즉, 워터마크를 삽입하는 기술로, 워터마크가 삽입된 이후에도 인지할 수 있을 정도로 원본 데이터의 질적 저하를 초래해서는 안되며, 비소유권자의 불법적인 조작에도 존재해야 하며, 소유권 인증을 위한 방법도 제공해주어야 한다. 이를 각각 비가시성(invisibility), 강건성(robustness), 명확성(unambiguity)이라 하며, 디지털 워터마킹의 중요한 판단 기준이 된다. 특히 비가시성과 강건성은 서로 상반되는 특성이므로 데이터의 질적 저하를 초래하지 않는 범위 내에서 워터마크를 삽입하는 것이 중요하다 [1, 3]. 이전에 제안된 대부분의 웨이블릿을 이용한 워터마킹

[†] 정 회 원 : 경희대학교 대학원 전자공학과 박사과정
^{**} 정 회 원 : 경희대학교 전자정보대학 교수
 논문접수 : 2005년 9월 20일, 심사완료 : 2005년 10월 12일

기법은 워터마크로 랜덤 신호를 사용하였고, 상관성을 이용하여 워터마크 유무를 판단하였다. 최근에는 워터마크로 특정 영상을 많이 사용하고 있다. 특정 영상은 랜덤 신호보다 훨씬 더 설득력이 있어 데이터의 저작권을 보다 쉽게 판별할 수 있는 장점이 있다[7-11].

워터마크를 영상에 삽입하는 방법은 크게 공간영역 방법과 주파수영역 방법으로 나눌 수 있다. 공간영역 방법은 영상 화소 자체를 조작하는 방법으로 계산량이 적다는 장점이 있으나, 잡음이나 영상 필터 그리고 압축으로 인해 워터마크의 검출이 어렵다는 단점이 있다. 주파수영역 방법은 DCT(discrete cosine transform)나 DWT[11] 등을 이용해 영상을 주파수 영역으로 변환한 후에 워터마크를 삽입하는 방법이다. 이 방법은 영상을 주파수 영역으로 변환하는 연산을 필요로 하지만 영상 필터나 압축으로 인한 워터마크의 손실을 최소화할 수 있다[4].

Knox[8]는 두 개의 8 비트 그레이스케일 영상을 하나의 8 비트 그레이스케일 영상으로 변환하는 형태로 워터마크를 삽입하였다. 하지만 삽입 영상을 단순히 비트열로 취급하고, 워터마크를 삽입하는 데 있어 인간의 시각 특성을 고려하지 않았다. 그리고 Hsu와 Wu[9]은 256×256 크기의 인장 영상을 LFSR(linear feedback shift register)를 이용하여 치환하고, 2 레벨 DWT 후 생성된 1과 2 레벨의 HL 영역과 LH 영역에 인장 영상의 치환 값을 삽입하는 방법을 제안하였다. 견고성을 보장하기 위해 인장 영상을 2 단계로 분해하여 삽입하였으나 인장 영상의 크기가 삽입 영역의 크기와 동일하므로 cropping과 같은 기하학적인 왜곡에 약하며 중주파와 고주파 대역에만 삽입됨으로써 압축에도 약한 단점이 있다. Hsieh와 Tseng[10]는 웨이블릿 변환후 부대역간의 상관도에 기초하여 Zerotree를 이용하는 방식을 제안하였다. Bao 등[15]은 DWT에서 양자화 매개변수를 모델링하여 양자화된 값에 워터마크를 삽입하는 방식을 제안하였으나 워터마크 삽입 방식이 복잡하다.

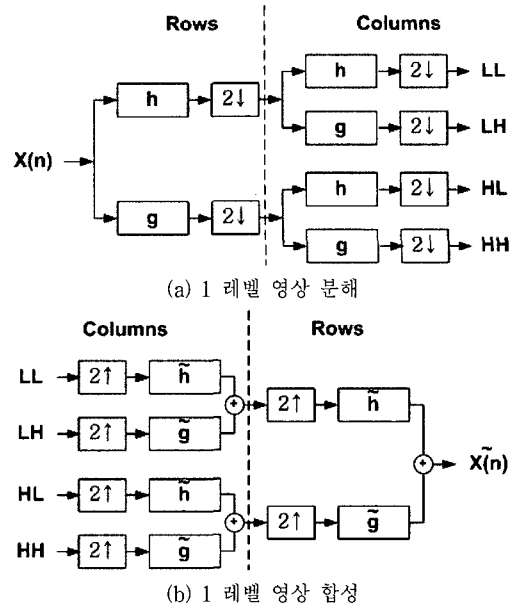
본 논문에서는 영상에 적응적인 임계값 설정과 HVS를 이용하여 이진 로고영상의 1 레벨 DWT 계수값을 대상 영상의 LL 영역과 해상도 레벨이 2인 중주파수 대역에 동일 주파수 방향으로 삽입하는 비가시적이고 견고한 워터마크 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 2장에서는 웨이블릿 변환과 MRA에 대해 기본적인 논의를 하고, 3장에서는 제안한 워터마크 방식에 대해 설명을 하고, 4장에서는 제안한 방식에 대해 실험 및 결과를 보이고, 5장에서 전체적인 결론 및 추후 연구 방향을 논의한다.

2. 웨이블릿 변환과 MRA

2.1 웨이블릿을 이용한 영상의 분해와 합성

웨이블릿 변환은 다른 변환과 다르게 주파수 영역으로 변환 후 각 주파수 대역들이 공간영역에 대한 정보를 가지게 된다. 따라서 영상의 위치 정보를 워터마크 과정에서 손쉽게



(그림 1) 웨이블릿 분해와 합성

게 이용할 수 있어 최근에는 워터마크 연구의 주류를 이루고 있다[6, 9-11].

MRA는 Mallat[12]이 제안한 이산 웨이블릿 변환의 한 방법이다. MRA는 영상을 다중 해상도로 분해하여 변환 영역이라 정의되는 다중 해상도 레벨 영역에서 데이터가 처리된다. 웨이블릿 변환을 이용한 영상의 분해 및 합성은 Mallat의 알고리즘을 이용한다.

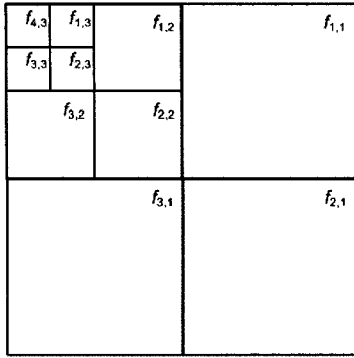
$$y_{high}[k] = \sum_n x[n] \cdot g[2k-n] \tag{1}$$

$$y_{low}[k] = \sum_n x[n] \cdot h[2k-n] \tag{2}$$

$g[n]$ 은 고대역 필터이고 $h[n]$ 은 저대역 필터이다. $y_{high}[k]$ 와 $y_{low}[k]$ 은 각각 필터링과 샘플링을 통해 얻은 값이다. (그림 1) (a)는 1 레벨 영상 분해 과정을 나타내고 (b)는 1 레벨 영상 합성 과정을 나타낸다.

(그림 1) (a)의 분해 과정이 다른 해상도 레벨을 가지는 부영상을 만든다. 이와 같은 분해 과정을 이용하여 대상 영상에 대해 3 레벨 DWT를 수행한다. 크기가 $2^m \times 2^n$ 인 대상 영상 $f(m,n)$ 에 대한 각 주파수 영역과 각 해상도 레벨에 해당하는 DWT 계수값을 $f_{o,l}(m,n)$, $o \in \{1,2,3,4\}$, $l \in \{1,2,3\}$ 로 표시한다. o 는 수평, 대각, 수직 및 DC 성분에 대한 주파수 영역을 나타내며 l 은 해상도 단계를 나타낸다. (m,n) 은 해상도내 위치를 나타낸다. (그림 2)는 이것을 그림으로 나타낸 것이다.

크기가 $2N_{wx} \times 2N_{wy}$ 인 이진 로고영상에 대해 1 레벨 DWT를 수행하면 크기가 $N_{wx} \times N_{wy}$ 인 부영상 $w_{o,l}(p,q)$, $o \in \{1,2,3,4\}$ 이 생성된다. (p,q) 는 부영상내 위치를 나타낸다. 그리고 N_{wx} 와 N_{wy} 는 2^k 이다.



(그림 2) 3 레벨 영상 분해

3. 제안 알고리즘

3.1 워터마크 삽입

본 논문에서 제안한 디지털 워터마킹 방법은 DWT의 MRA[12]를 기본으로 하고 있다. 그리고 대상 영상에 다른 영상을 결합하는 영상 융합(image fusion)을 이용하기 위해 이진 로고영상을 1 레벨 DWT한 계수값을 워터마크로 사용한다. 대상 영상을 3 레벨 DWT한 다음, 대상 영상의 LL 영역과 중주파수 대역을 DWT된 이진 로고영상의 부대역과 동일한 크기로 분할하고, 각 주파수 대역의 분할된 블록내 특정 계수값이상인 부분에 대해서만 동일 방향의 워터마크 내 동일 위치의 계수값을 HVS를 적용하여 삽입하는 기법을 제안한다.

워터마크 삽입에 HVS를 적용하는 이유는 워터마크를 인간의 시각 시스템으로부터 감추기 위해서이다. 그래서 Lewis[13]가 제안한 HVS를 이용하여 워터마크를 대상 영상에 삽입할 때, 인간이 인지할 수 없는 범위 내에서 최대한 삽입하였다.

(그림 1) (a)의 분해 과정을 통해 크기가 $2^n \times 2^n$ 영상을 3 레벨 DWT하게 되면 $2^{n-3} \times 2^{n-3}$ 크기의 LL 영역을 만들고, 반대로 $2^{n-3} \times 2^{n-3}$ 크기의 LL 영역을 기반으로 (그림 1) (b)의 합성 과정을 3 단계 수행하면 $2^n \times 2^n$ 영상이 만들어진다. 즉 8배의 크기로 확장된다. 만약 LL 영역 내 다른 영상의 DWT 계수값을 넣고 IDWT를 수행하게 되면 LL 영역 내 다른 영상의 DWT 계수값도 동일한 영향을 받게 된다. 마찬가지로 대상 영상의 LH, HL, HH 영역에 다른 영상의 DWT 계수값을 넣고 대상 영상에 대해 IDWT를 수행하면 다른 영상의 DWT 계수값도 동일하게 영향을 받을 것이다. 대상 영상의 LL, LH, HL, HH 영역에 삽입되는 다른 영상의 DWT 계수값이 크다면 대상 영상을 통해 다른 영상의 형태를 가지적으로 보게 된다. 하지만 삽입하는 영상의 계수값이 작고 삽입되는 위치를 제한적으로 선택한다면 대상 영상에 삽입하는 영상의 형태가 가지적으로 나타나지 않으며 대상 영상의 화질 저하에도 크게 영향을 미치지 않는다.

본 논문에서 사용한 웨이블릿 필터는 9/7 랩을 가지는 Antonini[11]가 제안한 방법을 이용하였다. 이 필터를 사용할 경우, 이진 로고영상의 크기가 64*64인 경우의 DWT 계수값은 전체 주파수 영역 기준으로 -0.68~2.19 사이의 값을

가지고, 32*32인 경우는 -0.69~2.23 사이의 값을 가지므로 대상 영상에 삽입시 로고영상의 형태가 가지적으로 나타나지 않으며, 대상 영상의 화질 저하에도 큰 영향을 미치지 않는다.

워터마크로 사용되는 이진 로고영상의 크기에 따라 대상 영상의 주파수 대역을 분할하는 블록의 크기도 변하므로 워터마크가 삽입된 영상의 비가시성에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 본 논문에서는 대상 영상의 주파수 대역을 분할하는 블록의 크기에 따라 워터마크가 삽입된 영상의 화질에 얼마나 영향을 주는 지 실험하기 위해 크기가 64*64와 32*32인 두 가지의 이진 로고영상을 사용하였다.

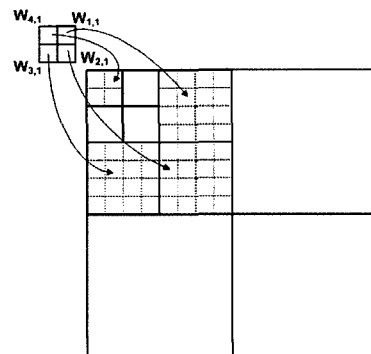
워터마크 삽입 영역으로 대상 영상의 LL 영역과 중주파수 대역을 선택한 이유는 다음과 같다.

- 1) LL 영역은 영상에 있어 DC 성분에 해당하므로 영상의 왜곡에 강하다.
- 2) 중주파수 대역은 영상의 왜곡 중 저주파통과 필터나 고주파통과 필터에 잘 견디며, 영상의 화질에 큰 영향을 미치는 부분이 아니다.

LL 영역은 워터마킹시 거의 사용되지 않는 영역이나 LL 영역내 워터마크 삽입 위치를 영상의 특성에 따라 지정한다면 화질 저하를 낮게 하면서 워터마크의 강건성은 보장받을 수 있는 영역이다.

주파수 영역에서 워터마크가 삽입되는 위치에 따라 워터마크의 강건성과 비가시성 사이에 상충관계(trade-off)가 생기기 때문에, 주파수 영역에서 워터마크가 삽입되는 위치를 결정하는 것은 아주 중요하다[1].

워터마크를 대상 영상에 삽입하는 방법은 대상 영상을 3 레벨 DWT한 후 중주파수 대역과 LL 영역을 중복되지 않게 $N_{wx} \times N_{wy}$ 크기로 분할한다. $N_{wx} \times N_{wy}$ 크기로 분할된 블록을 $f_{o,i}^i(p,q)$ 로 표시한다. (p,q) 는 분할된 블록내 위치를 나타낸다. i 는 각 주파수 영역에서 블록의 순서를 나타내며, 총 개수는 $2^{n_x+n_y-2(l+k)}$ 이다. $f_{o,i}^i(p,q)$ 에 $w_{o,i}(p,q)$ 를 삽입할 때, o 가 서로 동일한, 즉 동일한 주파수 방향으로 삽입한다. 예를 들면 $w_{2,1}(p,q)$ 는 $f_{2,2}^i(p,q)$ 에 대해서만 삽입한다. (그림 3)은 이 부분에 대한 설명을 그림으로 나타낸 것이다.



(그림 3) 워터마크 삽입 방법

$f_{o,i}^i(p,q)$ 내 특정한 값에 대해서만 $w_{o,1}(p,q)$ 내 동일 위치의 값을 삽입한다. 이것은 대상 영상의 화질 저하를 최소화시키면서 워터마크의 강건성을 유지하기 위해서이다. 영상에서 시각적으로 중요한 계수값은 큰 값을 가지며, 이 계수값들은 압축과 같은 영상 처리 후에도 변화가 적다[14]. 그래서 $f_{o,i}^i(p,q)$ 의 계수값 중 절대값이 가장 큰 값을 이용하여 임계값을 설정하고 그 임계값 이상인 부분에 대해서만 $w_{o,1}(p,q)$ 내 동일 위치의 값을 더한다. 식 (3)은 임계값을 정하는 수식이다.

$$T_{o,i}^i = \frac{|\max_{\text{over all}} f_{o,i}^i(p,q)|}{d} \quad (3)$$

식 (3)의 d 값은 $w_{o,1}(p,q)$ 을 대상 영상의 각 주파수 영역에 분산하여 다 삽입할 수 있는 값을 기준으로 자동 설정한다. 자동 설정으로 인해 영상 및 LL 영역($f_{4,3}$)과 중주파수 대역(HL($f_{1,2}$), HH($f_{2,2}$), LH($f_{3,2}$))에 따라 d 값이 틀리다. 만약 d 값을 수동 설정할 때 설정된 d 값이 작을 경우, 즉 임계값이 클 경우, $w_{o,1}(p,q)$ 값 중 삽입되지 않는 값들이 발생한다.

<표 1>은 d 값을 자동 설정시 영상(512x512 pixels, 8 bits/pixel) 및 주파수 영역에 따라 어떤 값을 가지는지 알기 위해 실험한 결과이다. 표 1을 보면 크기가 64*64인 이진 로고영상의 d 값은 크기가 32*32인 이진 로고영상의 d 값보다 크고 불규칙적이다. 왜냐하면 크기가 64*64인 경우는 각 주파수 영역에 1024개의 $w_{o,1}(p,q)$ 값들이 다 삽입되어야 하므로 크기가 32*32인 경우보다 평균적으로 d 값이 크고 영상마다 불규칙적인 값을 가진다. 그리고 크기가 64*64인 경우에는 에지 성분이 많은 영상의 경우 중주파수 대역의 d 값이 낮다. 왜냐하면 영상에 에지 성분이 많은 경우 중주파수 대역내 큰 계수값을 가진 부분이 많기 때문이다.

(그림 4)는 Lena 영상의 주파수영역 중 LL 영역과 중주파수 대역에 워터마크가 삽입된 부분을 표시한 그림이다. 크기가 64*64인 로고영상의 경우에는 크기가 32*32인 경우

<표 1> 임계값의 d 값

	로고영상 크기	LL	중주파수 대역		
			HL	HH	LH
Airplane	32*32	2	3	3	3
	64*64	2	22	9	12
Barbara	32*32	2	2	3	3
	64*64	5	11	16	12
Bridge	32*32	2	3	3	3
	64*64	4	7	7	8
Goldhill	32*32	2	3	3	4
	64*64	4	13	10	9
Lena	32*32	2	3	3	3
	64*64	3	22	11	16
Peppers	32*32	2	4	4	4
	64*64	3	22	16	23



(a) 로고영상 크기 32*32 (b) 로고영상 크기 64*64
(그림 4) 주파수 영역에서 워터마크가 삽입된 위치

보다 임계값이 낮기 때문에 워터마크 삽입이 많다. 그리고 (그림 4)를 보면 주로 영상의 에지 성분에 워터마크가 삽입된 것을 알 수 있다.

$f_{o,i}^i(p,q)$ 내 임계값에 의해 선택된 계수값에 대해 워터마크를 삽입할 때 HVS를 적용한다. HVS는 사람의 눈이 가지는 여러 가지 특성들을 고려하여 인간이 지각할 수 없는 범위에 워터마크를 삽입하기 위한 시스템이다[13]. 즉, 인간의 눈이 잡음에 둔감한 부분을 찾아 워터마크를 삽입하기 위해 필요한 시스템이다. 인간의 눈은 높은 해상도 영역과 45° 방향의 영역에 있는 잡음에 둔감하며, 영상의 밝거나 어두운 곳에 있는 잡음에도 둔감하다. 식 (4)는 인간의 눈이 높은 해상도 영역과 45° 방향의 영역에 있는 잡음에 덜 민감하다는 특성을 나타낸 것이다.

$$\theta_{o,i} = \begin{pmatrix} \sqrt{2}, & \text{if } o=2 \\ 1, & \text{otherwise} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1.00, & \text{if } l=1 \\ 0.32, & \text{if } l=2 \\ 0.16, & \text{if } l=3 \\ 0.10, & \text{if } l=4 \end{pmatrix} \quad (4)$$

식 (5)는 인간의 눈이 아주 밝거나 어두운 영역에 있는 잡음에 대해서는 덜 민감하다는 특성을 이용한 것으로 LL 영역인 $f_{4,3}(m,n)$ 을 기준으로 계산한다. 이는 웨이블릿의 QSWT (qualified significant wavelet tree)[10] 원리를 응용한 것으로 각 레벨의 같은 위치에 있는 계수값은 서로 밀접한 연관 관계가 있는 것에 근거한다.

$$A_{o,i}^i(p,q) = 3 + \frac{1}{256} f_{4,3} \left(m + \left\lceil \frac{p}{2^{3-l}} \right\rceil, n + \left\lceil \frac{q}{2^{3-l}} \right\rceil \right) dksl \quad (5)$$

식 (6)은 식 (4)와 (5)를 통합한 것이다.

$$V(f_{o,i}^i(p,q)) = \theta_{o,i} \cdot A_{o,i}^i(p,q) \quad (6)$$

식 (7)에서 $W_{o,1}^i(p,q)$ 는 워터마크에 매개변수 α 와 HVS의 특성을 결합한 값이다. α 값은 워터마크의 강도를 나타내는 매개변수로 이 값이 크면 워터마크의 강건성은 커지나 워터마크의 비가시성은 저하된다. 워터마크가 삽입된 영상이 왜곡 될 경우, α 값에 따라 워터마크 검출 정도가 달라진다.

$$W_{o,1}^i(p,q) = \alpha \cdot V(f_{o,i}^i(p,q)) \cdot w_{o,1}^i(p,q) \quad (7)$$

```

if ((l=3 and o=4) or (l=2 and (o=1 or o=2 or o=3))) then
for(i is 0 to 2nx+ny-2(l+k)) {
for(p is 0 to Nwx, q is 0 to Nwy) {
if(fo,li(p,q) ≥ To,li) then
fo,lw,i(p,q) = fo,li(p,q) + Wo,1i(p,q)
end if
} }
end if
    
```

(그림 5) 워터마크 삽입 과정

(그림 5)는 대상 영상에 워터마크를 삽입하는 과정을 나타낸 것이다. (그림 5)에서 $f_{o,l}^{w,i}(p,q)$ 는 블록내 워터마크가 삽입된 계수값이다.

3.2 워터마크 검출

대상 영상의 주파수 영역에 이진 로고영상의 1레벨 DWT 계수값을 삽입함으로써 워터마크가 삽입된 영상에 잠재적으로 삽입한 로고영상 형태를 내포하고 있다. 이 원리를 이용해 소유자만이 가지고 있는 워터마크가 삽입되지 않은 원영상과 워터마크가 삽입된 영상간의 차영상으로 간단하게 워터마크를 검출할 수 있다. 워터마크를 검출하는 첫 번째 방법(검출 방법 1)의 과정은 (그림 6)과 같다. 이 방법은 영상의 왜곡에도 강하다.

(그림 6)에서 $f_d(m,n)$ 은 차영상을, $f_w(m,n)$ 은 워터마크가 삽입된 영상을 나타낸다.

워터마크를 검출하는 두 번째 방법(검출방법 2)은 워터마크가 삽입된 영상에서 삽입된 이진 로고영상을 검출하는 것이다. 이 방법의 과정은 (그림 7)과 같다.

```

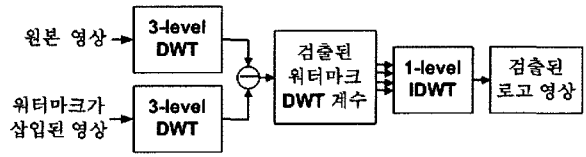
for(m is 0 to 2nx, n is 0 to 2ny) {
fd(m,n) = f(m,n) - fw(m,n)
if (fd(m,n) < 0) then
fd(m,n) = fd(m,n) + 255
end if
}
    
```

(그림 6) 워터마크 검출방법 1의 과정

```

if ((l=3 and o=4) or (l=2 and (o=1 or o=2 or o=3))) then
for(i is 0 to 2nx+ny-2(l+k)) {
for(p is 0 to Nwx, q is 0 to Nwy) {
if ((f̃o,lw,i(p,q) ≥ T̃o,lw,i) and (w̃o,1w,i(p,q)=0) then
w̃o,1w,i(p,q) = (f̃o,lw,i(p,q) - f̃o,li(p,q)) / (α · V(f̃o,li(p,q)))
else w̃o,1w,i(p,q)=0
end if
} }
end if
    
```

(그림 7) 워터마크 검출방법 2의 과정



(그림 8) 워터마크 검출방법 2의 블록도

(그림 7)에서 $\tilde{f}_{o,l}^{w,i}(m,n)$ 는 워터마크를 검출하고자 하는 영상의 블록내 계수값이다. $\tilde{T}_{o,l}^{w,i}$ 는 $\tilde{f}_{o,l}^{w,i}(m,n)$ 에서 구한 임계값이다. 그리고 $\tilde{w}_{o,1}^{w,i}(m,n)$ 는 워터마크를 검출하고자 하는 영상에서 구한 워터마크이다. 검출방법 2는 원영상과 워터마크를 검출하고자 하는 영상을 호출하여 3 레벨 DWT한 후, LL 영역과 중주파수 대역의 HL, HH, LH 영역에서 블록내 임계값이상인 부분에서 워터마크를 각 영역별로 검출한다. 그리고 영역별로 검출된 워터마크를 조합한 뒤 IDWT하여 이진 로고영상을 생성한다. (그림 8)은 검출방법 2에 대한 블록도이다.

검출된 이진 로고영상을 시각적으로 판별하기 위해 8 비트 그레이레벨 영상으로 변환한다.

4. 실험 및 결과

본 논문에서 제안한 워터마킹 알고리즘에 대한 성능을 평가하기 위해 컴퓨터 모의실험을 행하였다. (그림 9)는 본 실험에서 사용되는 이진 로고영상(64*64 pixels or 32*32 pixels, 1 bit/pixel)으로 0과 1의 화소값을 가진 영상을 화면으로 나타내면 가시적으로 볼 수 없어 화소값 1을 255로 전환하여 나타내었다. 그리고 이진 로고영상의 형태를 S자로 선택한 이유는 검출방법 2가 워터마크를 잘못 검출할 경우 S자가 6이나 8 또는 9로 왜곡되어 검출될 수 있고, 이 검출 결과를 이용하여 검출방법 2의 문제점을 파악하기 위해서이다.

<표 2>는 워터마크 삽입시 워터마크의 강도를 나타내는 매개변수 α 값에 따른 영상의 PSNR를 나타낸 것이다. 이진 로고영상의 크기를 기준으로 PSNR을 비교해보면 α 값이 커질수록 PSNR의 차이가 커지는 것을 알 수 있다. 하지만 그 차이가 최대 1dB를 넘지 않는다. 삽입되는 워터마크의 양은 4배의 차이가 있지만 영상의 화질 저하에는 큰 차이가 없다는 것을 알 수 있다.

α 값에 따른 영상의 PSNR을 조사하면서 추가적으로 검토한 사항은 워터마크가 삽입된 영상에 로고영상 형태가 가시적으로 나타나는 지 검사하였다. 워터마크가 삽입된 영상이라는 것을 가시적으로 판별할 수 있다면 워터마크로 사용할 수 없다. 하지만 본 논문에서 제안한 방법에서는 워터마크가 삽입된 영상에 로고영상 형태가 가시적으로 나타나지 않았다.



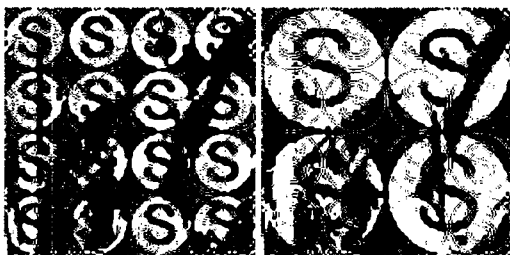
(그림 9) 실험에 사용된 로고영상

<표 2> α값에 따른 영상의 PSNR

α	Airplane		Barbara		Lena	
	32*32	64*64	32*32	64*64	32*32	64*64
2	39.88	39.87	47.81	47.79	54.46	54.40
2.5	39.87	39.86	47.79	47.76	54.37	54.25
3	39.83	39.83	47.73	47.70	54.12	53.96
3.5	39.76	39.68	47.61	47.53	53.55	53.24
4	39.72	39.62	47.43	47.26	52.90	52.35
4.5	39.69	39.60	47.25	46.97	52.28	51.44
5	39.66	39.57	47.10	46.78	51.78	50.86
5.5	39.64	39.55	46.97	46.60	51.39	50.43
6	39.62	39.54	46.87	46.43	51.10	50.09
6.5	39.60	39.51	46.78	46.28	50.86	49.82
7	39.58	39.49	46.71	46.16	50.67	49.60
7.5	39.56	39.46	46.63	46.05	50.49	49.43
8	39.53	39.44	46.56	45.95	50.31	49.26
8.5	39.48	39.40	46.47	45.85	50.12	49.08
9	39.42	39.34	46.38	45.75	49.89	48.88
9.5	39.34	39.25	46.27	45.63	49.63	48.63
10	39.26	39.07	46.14	45.46	49.33	48.33

(그림 10)은 α값에 따른 영상의 PSNR을 조사하면서 추가적으로 검토한 사항은 워터마크가 삽입된 영상에 로고영상 형태가 가시적으로 나타나는 지 검사하였다. 워터마크가 삽입된 영상이라는 것을 가시적으로 판별할 수 있다면 워터마크로 사용할 수 없다. 하지만 본 논문에서 제안한 방법에서는 워터마크가 삽입된 영상에 로고영상 형태가 가시적으로 나타나지 않았다. 값을 7로 지정하여 워터마크를 삽입한 Lena 영상에 대해서 검출방법 1을 이용하여 검출한 결과이다. (그림 10)에서 흰색 바탕의 S 자는 LL 영역에 삽입된 워터마크로 인해 생성된 결과이고, 희미하게 보이는 에지 형태의 S 자는 중주파수 대역에 삽입된 워터마크로 인해 생긴 결과이다. 영상에 따라 차이가 있지만 평균적으로 α 값이 3.5이하인 경우에는 에지 형태의 S 자만 나타난다. 하지만 크기가 32*32인 로고영상의 경우에는 에지 형태의 S 자를 시각적으로 판별하기는 어렵다. 그리고 (그림 10)을 보면 로고영상 형태가 부분적으로 나타나지 않은 경우를 볼 수 있다. 이것은 영상의 LL 영역에서 워터마크가 삽입되지 않은 부분을 나타낸다.

검출 방법 1은 영상의 내용에 따라 로고영상 형태가 완전



(a) 로고영상 크기 32*32 (b) 로고영상 크기 64*64
(그림 10) 검출방법 1에 의해 검출된 결과(α=7)

하게 나타나지 않는 경우가 있을 수 있으므로 삽입된 워터마크에 대해 의문을 제기할 수 있는 단점이 있다. 하지만 검출방법 1은 워터마크의 존재 유무를 파악하는 선형단계라 할 수 있으며 보다 정확한 워터마크 검출은 검출방법 2를 통해 이루어진다. 검출방법 1은 영상의 왜곡 중 특히 가우시안 노이즈에 강하다는 장점이 있다.

검출된 워터마크를 가시적인 판별과 정규화된 상관도(normalized correlation)를 이용하여 비교하였다.

$$NC = \frac{\sum_p \sum_q^{N_x, N_y} (w_{o,1}^i(p,q) \cdot \tilde{w}_{o,1}^i(p,q))}{\sum_p \sum_q^{N_x, N_y} (w_{o,1}^i(p,q))^2} \quad (8)$$

본 논문과 Hsu와 Wu[9]를 비교하기 위해 Lena 영상을 이용하였다.

<표 3>은 α값을 7로 지정하여 워터마크를 삽입한 Lena 영상을 왜곡한 경우에 대한 PSNR이다.

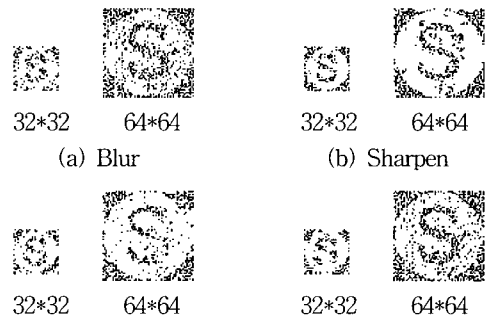
(그림 11)은 왜곡에 대한 검출방법 2의 결과이다.

표 3을 보면 크기가 32*32인 로고영상의 NC가 64*64인 경우보다 좋다. 가시적인 판별과 NC를 같이 비교하기 위해 표 4와 (그림 11)을 보면 Blur와 Gaussian Noise 10%인 경우에는 32*32인 경우 NC가 더 높지만 가시적인 판별 부분에서는 객관성이 낮다. Hsu와 Wu[9]은 영상의 왜곡 중 Blur인 경우에 실험을 행하였고 NC 결과는 본 논문보다 0.06 이상 좋다.

(그림 12)는 왜곡에 대한 검출방법 1의 결과이다. (그림 12)와 같이 로고영상 형태가 나타나는 이유는 대상 영상의 LL 영역에 삽입된 이진 로고영상의 LL 영역 DWT 계수값

<표 3> 워터마크가 삽입된 Lena 영상을 왜곡한 경우의 PSNR과 NC (α=7)

Attack	32*32		64*64	
	PSNR	NC	PSNR	NC
Blur	33.69	0.68	33.69	0.51
Sharpen	23.28	0.94	23.28	0.87
Median	35.45	0.84	35.42	0.74
Gaussian Noise 10%	29.19	0.73	29.25	0.57
Gaussian Noise 100%	11.24	0.10	11.23	0.02



(a) Blur (b) Sharpen (c) Median (d) Gaussian Noise 10%
(그림 11) 검출방법 2에 의한 검출(α=7)

때문이며, 대상 영상에서 이 계수값의 영향을 받는 부분이 Blur나 Median 또는 Gaussian Noise인 경우에 변화가 적기 때문에 검출방법 1에 의해 검출이 가능하다. 하지만 Sharpen인 경우에는 검출방법 1에 의해 로고영상 형태를 검출할 수 없으므로 이 부분에 대한 변화가 많은 것으로 판단된다.

(그림 12)를 보면 로고영상 형태가 일정하게 나열되어 있어 영상의 크기가 본래 영상의 4분 1이상만 존재한다면 검출방법 1에 의해 검출이 가능하다는 것을 알 수 있다. 그리고 워터마크가 삽입된 영상이 회전되더라도 원영상을 동일 각으로 회전시킨 다음, 검출방법 1에 의해 검출한다면 로고 영상 형태를 검출할 수 있다.

검출방법 2는 Sharpen인 경우에 검출이 가능하고 검출방법 1은 강한 Gaussian Noise에도 검출이 가능하므로 검출방법 1과 검출방법 2는 상호보완적으로 사용이 가능하다.

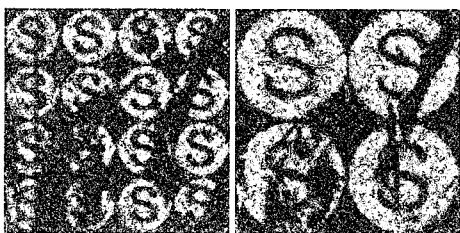
<표 4>는 원 Lena 영상과 α 값을 7로 지정하여 워터마크



(a) Blur



(b) Median



(c) Gaussian Noise 100%

(그림 12) 검출방법 1에 의한 검출($\alpha=7$)

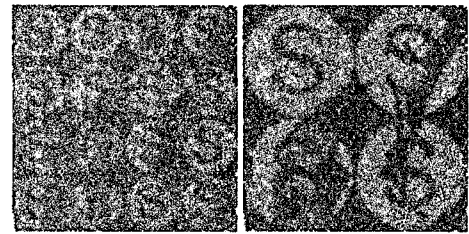
<표 4> 원 Lena 영상과 워터마크가 삽입된 Lena 영상의 JPEG 압축시 PSNR ($\alpha=7$)

워터마크 유무	JPEG Compression ratio						
	1.5	2.9	4.7	6.9	7.8	9.8	13.5
x	53.40	43.41	39.75	38.93	36.73	34.06	32.14
32*32	48.57	42.61	39.38	38.64	36.55	33.96	32.08
64*64	47.83	42.41	39.29	38.56	36.50	33.93	32.06

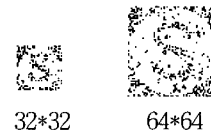
를 삽입한 Lena 영상에 대해 JPEG 압축하였을 때 PSNR을 나타낸 것이다. 표 4를 보면 압축률이 2.9:1 이상인 경우 원영상과 워터마크가 삽입된 영상간의 PSNR의 차이가 크지 않으며 로고 영상 크기에 따른 PSNR의 차이도 크지 않다는 것을 알 수 있다.

(그림 13)은 JPEG 압축에 따른 검출방법 1과 2의 검출 결과이다. JPEG 압축률이 6.9:1인 경우 검출방법 1에 의해 로고영상 형태를 검출할 수 있지만 압축률이 그 이상인 경우에는 객관적 판별이 어려웠다. 검출방법 2는 압축으로 인해 영상에 블록킹 현상이 생기지 않는 7.8:1까지 워터마크 검출이 가능하였다.

<표 5>는 JPEG 압축에 따른 NC에 대해서 Hsu와 Wu[9]와 비교한 것이다. 본 논문에서 제안한 방법이 Hsu와 Wu[9]보다 높은 압축률에서 더 좋은 결과가 나온 것을 알 수 있다. 가시적인 판별에서도 Hsu와 Wu[9]이 제안한 방법은 압축률이 6.68:1 이상인 경우에는 객관적인 판별이 어렵다.



(a) 검출 방법 1에 의한 검출 (6.9:1)



(b) 검출 방법 2에 의한 검출 (7.8:1)

(그림 13) JPEG 압축에 따른 워터마크 검출

<표 5> 워터마크가 삽입된 Lena 영상의 JPEG 압축시 NC ($\alpha=7$)

	본 논문에서 실험한 JPEG Compression ratio						
	1.5	2.9	4.7	6.9	7.8	9.8	13.5
32*32	0.97	0.96	0.87	0.82	0.66	0.55	0.51
64*64	0.88	0.87	0.82	0.76	0.58	0.50	0.37
	Hsu와 Wu[9]이 실험한 JPEG Compression ratio						
		3.48	5.26	6.68	8.04		
		0.78	0.68	0.61	0.56		

5. 결 론

본 논문은 DWT의 MRA를 근거로 하여 대상 영상에 시각적으로 인식할 수 있는 영상을 삽입하는 새로운 기법을 제안하였다. 워터마크로 이진 로고영상의 1레벨 DWT 계수값을 사용하였고, 대상 영상의 삽입 주파수 영역을 블록으로 분할하여 블록내 계수값간의 관계를 이용해 워터마크를 삽입하였다. 그리고 일반적으로 워터마크 삽입 영역으로 잘 이용되지 않는 LL 영역에 워터마크를 삽입하여 주파수영역과 공간영역간의 관계를 이용하여 워터마크를 검출하였다. 또한 워터마크의 비가시성을 기준으로 삽입 위치와 삽입 강도에 따른 관계를 파악하기 위해 특정 주파수 영역과 크기

가 다른 워터마크를 사용하여 실험하였다. 삽입 위치 관점에서 보면 일반적으로 비가시성을 위하여 LL 영역에는 워터마크를 삽입하지 않으나 LL 영역 내 특정 위치에 워터마크를 삽입할 경우 화질 저하에 큰 영향을 미치지 않았다. 그리고 삽입 강도 관점에서 보면 삽입량에서 4배의 차이가 있는 동일한 형태의 로고영상을 사용하여 워터마크를 삽입한 뒤 PSNR 측정하여 보면 그 차이가 커지 않았다. 실험을 통해 워터마크의 비가시성을 위해서는 삽입 강도보다는 워터마크의 삽입 위치가 더 중요한 요소라는 것을 알 수 있었다.

본 논문에서 제안한 검출방법 중 하나인 검출방법 1에 의해 DWT된 주파수 영역에서 워터마크가 삽입되었을 때 삽입된 워터마크가 IDWT후 영상의 어떤 위치에 어떤 형태로 존재하는 지에 대해 알 수 있었다.

검출방법 2는 검출방법 1보다 저작권에 대해 보다 명확한 근거를 제공해준다. 하지만 로고영상의 크기가 작을 경우 NC는 높지만 가시적 관별의 객관성이 낮아지는 문제점이 있었다. 이로 인해 크기가 작은 로고영상을 사용한 경우에는 보다 단순한 형태만이 사용가능하다는 것을 알 수 있었다.

본 논문에서 제시한 워터마킹 기법은 워터마크 검출시 중복된 위치에서 검출된 워터마크에 대해 오차가 발생할 가능성이 있다는 것과 반드시 원영상을 가지고 있어야 한다는 단점을 가지고 있다.

향후 연구 계획은 원영상 없이 워터마크의 존재유무를 파악할 수 있는 강건한 워터마킹 알고리즘을 개발하고자 한다.

참 고 문 헌

[1] I. J. Cox and J. Kilian and T. Leighton, and T. Sharnoon, "Secure spread Spectrum watermarking for Multimedia," IEEE Trans. on Image Processing, Vol.6, No.12, pp.1673-1687, Dec., 1997.

[2] I. J. Cox and M. L. Miller, "A review of watermarking and the importance of perceptual modeling," in Proc. Electronic Imaging, Feb., 1997.

[3] M. L. Miller and I. J. Cox and JP M.G. Linnartz, "A review of watermarking principles and practices," Published in Digital Signal Processing in Multimedia Systems, Ed. K. K. Parhi and T. Nishitani, Marcell Dekker Inc., 461-485, 1999.

[4] Gerhard C. Langelaar and Iwan Setyawan and Reginald L. Lagendijk, "Watermarking digital image and video data," IEEE Signal Processing Magazine, pp.20-46, Sep., 2000.

[5] G. W. Braudaway, "Protecting publicly-available images with an invisible image watermark," in Proc. IEEE int. Conf. Image Processing, Vol.1, pp.524-527, Oct., 1997.

[6] X. G. Xia and C. G. Boncelet and G. R. Arce, "A Multiresolution Watermark for Digital Images," Proc. of IEEE ICIP, Vol.3, pp.548-551, 1997.

[7] G. Voyatis and I. Pitas, "Digital image watermarking using mixing systems," Comput. Graph, Vol.22, No.4, pp.405-416, 1998.

[8] K. T. Knox, "Reversible digital images," Proc. SPIE, Security and Watermarking of Multimedia Contents, Vol. 3637, pp.397-401, Jan., 1999.

[9] Chiou-Ting Hsu and Ja-Ling Wu, "Multi-resolution

Watermarking for Digital Images," IEEE Transactions on circuits and systems-II:Analog and Digital Signal Processing, Vol.45, No.8, pp.1097-1101, August, 1998.

[10] 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.

[11] M. Antonini and M. Barlaud and P. Mathieu, and I. Daubechies, "Image Coding using Wavelet Transform," IEEE Trans. Image Processing, Vol.1, No.2, pp.205-220, Apr., 1992.

[12] S. Mallat "A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation," IEEE Trans. Pattern Anal. Mach Intel., Vol.11, July, 1989.

[13] A. S. Lewis and G. Knowles, "Image compression using the 2-D wavelet transform," IEEE Trans. Image Processing, Vol.1, pp.244-250, Apr., 1992.

[14] H. J. Wang and C. C. Jay Kuo, "A multi-Threshold Wavelet Coder For High Fidelity Image Compression," IEEE Image Processing, Vol.1, pp.652-655, 1997.

[15] Paul Bao and Xiaohu Ma, "Image Adaptive Watermarking Using Wavelet Domain Singular Value Decomposition," IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, Vol.15, No.1, pp.96-102, January, 2005.



김 동 현

e-mail : dragondh@hanmail.net
 1993년 경희대학교 전자공학과(학사)
 1995년 경희대학교 전자공학과(공학석사)
 2005년~현재 경희대학교 전자공학과
 박사과정
 관심분야: 디지털 워터마킹, 영상처리, 멀티
 미디어 통신



전 계 석

e-mail : gsjun@khu.ac.kr
 1969년 연세대학교 전자공학과(학사)
 1973년 연세대학교 전자공학과(공학석사)
 1983년 연세대학교 전자공학과(공학박사)
 2002년 한국통신학회 회장
 1979년~현재 경희대학교 전자정보대학 교수
 관심분야: 마이크로파 소자설계, 초음파영상시스템, 센서네트워크



이 대 영

e-mail : dylee@khu.ac.kr
 1964년 서울대학교 물리학과(학사)
 1971년 캘리포니아주립대학교 컴퓨터학과
 (공학석사)
 1979년 연세대학교 전자공학과(공학박사)
 1999년 한국통신학회 회장
 1971년~현재 경희대학교 전자정보대학 교수
 관심분야: 컴퓨터네트워크, 디지털 워터마크, 지능형 홈네트워크