

# 웨이브릿 기반 디지털 워터마킹 방법 (Wavelet-Based Digital Watermarking Method)

이 경 훈\*  
(Kyung-Hoon Lee)

## 요 약

본 논문에서는 웨이브릿 변환 영역에 제안한 알고리즘으로 여러 공격에 강인한 워터마크를 삽입하고 성능을 분석하였다. 영상의 저작권 보호를 위해 웨이브릿 변환 영역의 LH와 HL의 부대역에 이진 워터마크를 삽입하였다. 제안한 방법의 강인성을 실험하기 위해 명도 변화, 크기 변화, 필터링, 잘라내기, 히스토그램 평활화, 손실압축과 같은 영상처리를 하였다. 실험 결과 제안한 방법은 화질의 열화를 최소로 하여 워터마크를 삽입할 수 있고 여러 공격에 대해서 추출된 워터마크는 높은 상관계수로 인지되었다.

## ABSTRACT

In this paper, I proposed the adaptive watermarking based on the discrete wavelet transform for the very robust watermarking against intentional distortion which attacks on image. A watermark is a binary image such as document(sign), and such watermark image is embedded in the LH and HL band of wavelet transformed domain for copyright protection of image data. To evaluate robustness of the proposed method, we applied some basic algorithm of image processing such as brightening, darkening, sharpening, blurring, cropping, histogram equalizing and lossy compression(JPEG, gif). As a result of experiment, the proposed method has the good image quality and the high perceptibility of watermark. It was demonstrated by experiments that the proposed algorithm can provide an excellent protection under various attacks.

## 1. 서론

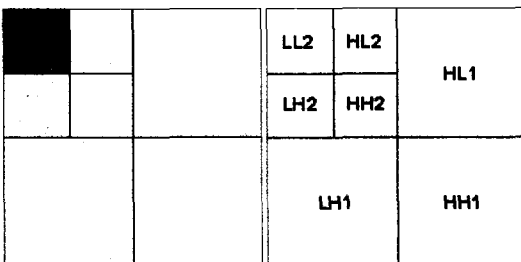
네트워크의 급속한 보급과 멀티미디어 통신 기술의 발달로 멀티미디어 데이터를 손쉽게 구할 수 있게 되었다. 이러한 디지털 데이터의 복사본과 변형본은 원본과 구별이 어렵다는 단점이 있다. 이러한 대량의 정보에 대해 소유권 보호(copyright protection)와 인증 문제가 대두되고 있다. 이에 대한 해결 방법 중의 하나로 디지털 워터마킹(watermarking) 기술이 제시되고 있다.

워터마크를 효과적으로 사용하기 위하여 요구되는 특성은 여러 가지가 있으나 기본적으로 다음 두 가지 조건을 만족해야 한다.

- 1) 비가시성(invisibility) : 삽입된 워터마크를 육안으로 확인할 수 없어야 하고 워터마크의 삽입으로 인한 원본의 훼손이 인지되지 않아야 한다.
- 2) 강인성(robustness) : 워터마크가 데이터의 어떠한 변형에도 쉽게 지워지지 않아야 한다. 손실 압축(lossy compression), 밝기 조정(contrast enhancement), 잘라내기(cropping) 등 다양한 신호의 손상에도 불구하고 워터마크는 추출이 되어야 한다.

\* 정희원 : 포항1대학 컴퓨터정보처리학과 조교수

영상 데이터의 워터마킹 방법은 크게 공간 영역(spatial domain)과 주파수 영역(frequency domain)에서 연구되어져 왔다. 공간 영역에서의 워터마킹 기법은 영상의 화소 자체를 조작하는 방법으로 단순하고 빠른 장점은 있지만 영상처리나 압축 등에 강인하지 못하다. 주파수 영역에서의 워터마킹 기법은 압축이나 잡음에 견고한 특성을 갖는다. 주파수 영역에서의 워터마킹 기법 중에 웨이브릿 변환은 DFT(Discrete Fourier Transform)나 DCT(Discrete Cosine Transform)와는 달리 공간과 주파수의 두 영역에서 영상을 표시할 수 있다. 그러므로 영상의 가장자리 등과 같은 공간적 특성과 저주파 영역에서 에너지가 밀집되어 있는 영상의 주파수적 특성을 보다 효율적으로 나타낼 수 있는 특징이 있다. 웨이브릿이란 임의의 함수를 시간-주파수 공간에서 동시에 지역성을 갖는 웨이브릿 모함수(mother wavelet)의 선형결합으로 표현하는 것이다. 웨이브릿 기저함수는 웨이브릿 모함수를 각각의 신호 특성에 맞게 선택하여, 이를 확장(dilate)하고 천이(translate)하여 얻어진 함수이다. 2차원 영상에서 웨이브릿 변환을 적용하면 그림과 같이 서로 다른 단계의 다해상도(multiresolution) 부대역 신호, 즉 저주파 성분(LL)과 대각 성분(HH), 그리고 수평 성분(LH)과 수직 성분(HL)의 부분 영상으로 분할할 수 있다. 이 4가지 영역 중에서 LL 부대역에 워터마크의 삽입은 저주파 영역이기 때문에 시각적인 화질저하를 가져올 수 있다. 그리고 HH 부대역에 삽입한 워터마크는 고주파 성분을 제거하는 손실 압축을 할 경우 추출할 가능성이 약간 희박해진다.



[그림 1] 2단계 웨이브릿 변환  
 [Fig. 1] Two level wavelet decomposition

**워터마크 삽입(Watermark Embedding)**

원 영상을 X라고 하고 이진 워터마크 영상을 W라고 하면 X와 W는 각각

$$X = \{ x(i, j), 0 \leq i, j < N \} \tag{1}$$

$$W = \{ w(i, j), 0 \leq i, j < M \} \tag{2}$$

로 표현되며 여기서 화소 값  $x(i, j) \in \{0, 1, 2, \dots, 2L-1\}$ 이고 L은 한 화소 값을 표현하는 비트 수이다. L은 8비트로 그레이 영상을 실험대상으로 하였다. 그리고  $w(i, j) \in \{-1, 1\}$ 이며 이진 워터마크 영상의 각 화소 값이다. N과 M은 원 영상과 워터마크 영상의 크기이다. N과 M은 각각 256, 64로 하였다. 원 영상(N × N × 8bit)을 2 Level의 haar 변환 후 LH2와 HL2의 부대역에 워터마크 영상(M × M × 2bit)을 제한한 식 (4)에 의해 삽입하였다.

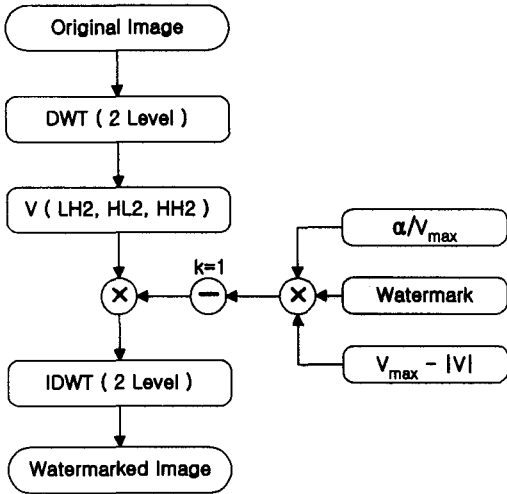
웨이브릿으로 변환한 부대역 V는

$$V = \{ v(i, j), 0 \leq i, j < \frac{N}{2} \} \tag{3}$$

로 표현된다. 부대역에서 저주파 성분(LL)을 제외한 3영역에 다음과 같이 식 (4)에 의해 워터마크를 삽입했다.

$$V^* = V(1 - \frac{\alpha}{V_{max}}(V_{max} - |V|)W) \tag{4}$$

여기서  $V_{max}$  값은 수평과 수직 성분 부대역은 128로 대각 성분 부대역은 64로 했다. 이진 워터마크 영상은 -1과 1값을 갖도록 하여 워터마크 배경 값도 워터마크 삽입에 영향을 미치지도록 하였다. 식 (4)에서  $V_{max} - |V|$ 는 LH와 HL의 부대역에서 워터마크 값을 가감할 경우에 상대적으로 고주파 성분보다 저주파수쪽에 가중치를 주기 위함이다. 기존의 영상 압축 기법이 인간 시각에 둔감한 고주파 성분을 많이 압축한다는 점을 고려할 때 강인성을 크게 하고자 할 경우 화질의 열화가 초래되기도 한다. [그림 2]는 식 (4)를 도식화한 그림이다.



[그림 2] 제안한 워터마크 삽입 알고리즘

[Fig. 2] Block diagram of proposed watermark embedding algorithm

워터마크 삽입에 의한 화질저하를 비교하기 위해 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)을 사용하였다. 식 (5)는 PSNR에 대한 식이다. 원 영상의 크기는  $N \times N$  이고  $x(i,j)$ 는 원 영상의 화소를  $x'(i,j)$ 는 워터마킹된 영상의 화소를 표시한다.

$$MSE = \frac{1}{N \times N} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} [x(i, j) - x'(i, j)]^2 \quad (5)$$

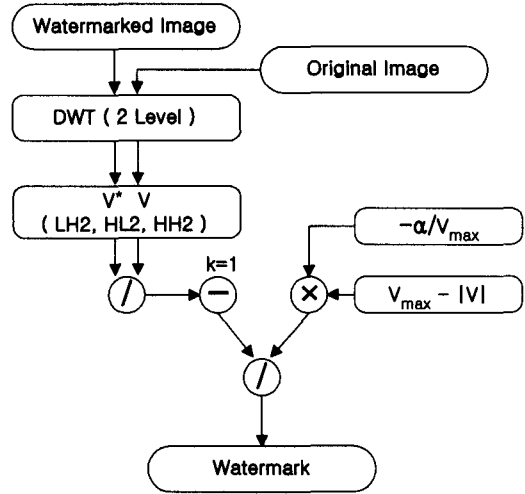
$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE}$$

**워터마크 추출(Watermark Detction)**

워터마크가 삽입된 영상에서의 워터마크 추출은 원본 영상을 사용하여 삽입방법과 거의 동일하게 이루어진다. 제안한 알고리즘의 워터마크 추출은 식 (6)과 같다.

$$W = \frac{\frac{V^*}{V} - 1}{\frac{-\alpha}{V_{max}} (V_{max} - |V|)} \quad (6)$$

[그림 3]은 식 (6)을 도식화한 그림이다.



[그림 3] 제안한 워터마크 추출 알고리즘

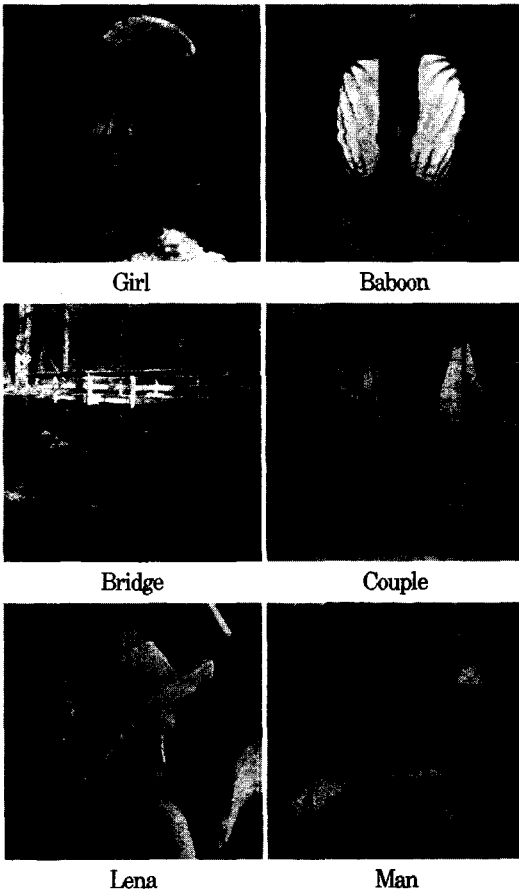
[Fig. 3] Block diagram of proposed watermark detection algorithm

원 워터마크와 추출된 워터마크 사이의 객관적인 유사성 측정을 위하여 정규화된 상관계수(normalized correlation)  $C_n$ 을 사용하여 나타내었다. 본 논문에서 사용한  $C_n$ 은 식 (7)과 같다. 여기서 워터마크의 크기는  $M \times M$ 이고  $w(i,j)$ 는 원 워터마크이며  $w'(i,j)$ 는 추출된 워터마크이다.

$$C_n = \frac{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{M-1} w(i, j)w'(i, j)}{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{M-1} [w(i, j)]^2} \quad (7)$$

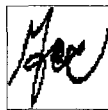
**2. 실험결과 및 성능분석**

제안한 기법의 성능을 평가하기 위하여 팬티엄 III, 메모리 128MB, Visual C++ 6.0으로 컴퓨터 시뮬레이션을 하였다. 실험에 사용된 영상은 [그림 4]의 256×256×8bit의 6개의 정지영상(Girl, Barboon, Bridge, Couple, Lena, Man)이며, 워터마크 영상은 [그림 5]의 64×64의 이진 영상이다. 식 (4)의 스케일 변수  $\alpha$ 는 0.6으로 하였다. 워터마킹 알고리즘의 성능 분석을 위하여 워터마크가 삽입된 영상의 화질저하 정도를 PSNR로 표현하였으며, 추출된 워터마크의 성능은 정규화된 상관계수  $C_n$ 을 사용하였다.



[그림 4] 실험에 사용된 원 영상(256×256)

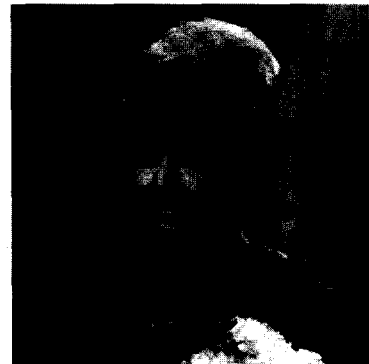
[Fig. 4] Original images for an experiment of watermarking



[그림 5] 실험에 사용된 워터마크(64×64)

[Fig. 5] Watermark for an experiment of watermarking

6개의 실험영상 중에 Girl 이미지의 실험결과에 대해서 살펴보고 나머지 5개 영상은 표로 표현하였다. 제안한 삽입 알고리즘으로 워터마킹한 이미지는 [그림 6]이다. 공격하지 않은 워터마킹한 이미지의 PSNR은 31.14이다.



[그림 6] 워터마크가 삽입된 Girl 이미지

[Fig. 6] Watermarked Girl image

강인성 실험에는 밝게(brightening), 어둡게(darkening), 선명하게(sharpening), 흐리게(blurring), 잘라내기(cropping), 평활화(equalizing), 크기변화(resizing)와 손실압축(JPEG, gif)을 사용하였다.

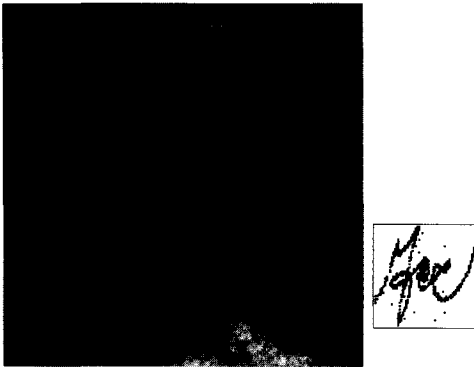
(1) 밝기에 대한 강인성 실험 결과

워터마크가 삽입된 영상을 밝게 또는 어둡게 처리한 후 추출된 워터마크를 분석한다. 픽셀 단위로 40을 더하여 밝게 처리한 경우(PSNR : 16.07)와 40을 빼서 어둡게 처리한 경우(PSNR : 16.32)강인성 실험 결과는 다음 [그림 7]과 [그림 8]처럼 워터마크의 Cn이 각각 0.9992와 0.9723으로 추출되었다.

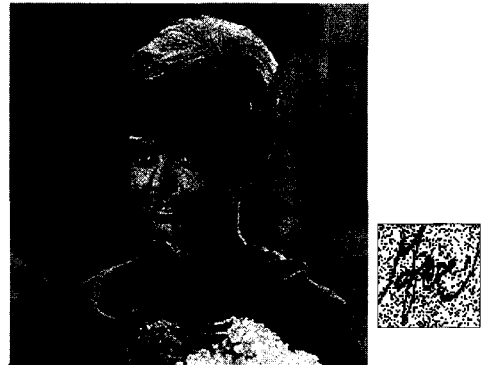


[그림 7] 밝게 처리한 영상의 강인성 실험 결과

[Fig. 7] Robustness of brightening



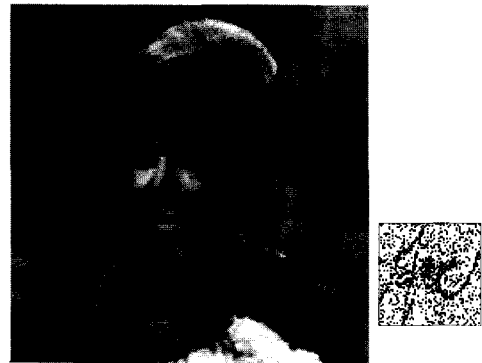
[그림 8] 어둡게 처리한 영상의 강인성 실험 결과  
[Fig. 8] Robustness of darkening



[그림 10] 고주파 강화 필터링에 대한 강인성 실험결과  
[Fig. 10] Robustness of sharpening

(2) 고주파 강화/차단 필터링에 대한 강인성 실험 결과

워터마크가 삽입된 영상을 3×3 마스크 연산을 이용하여 저주파 성분은 차단하고 고주파 성분을 부각시킨 선명화와 저주파 성분은 유지하고 고주파 성분을 제거하여 흐리게 한 후 추출된 워터마크를 분석하였다. 선명하게 하고 흐리게 하기 위해 사용한 마스크는 [그림 9] 이다. 선명화( $PSNR : 16.32$ )와 흐리게( $PSNR : 16.32$ ) 한 후의 추출된 워터마크의  $C_n$ 은 [그림 10]과 [그림 11]처럼 각각 0.5904와 0.6577로 다소 낮았다.



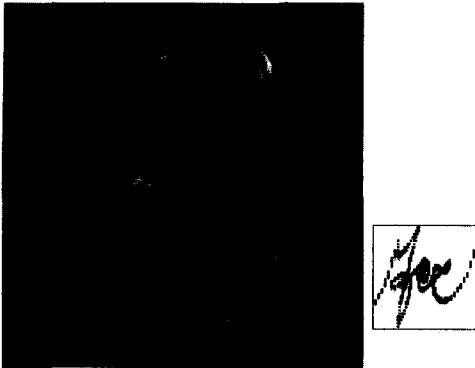
[그림 11] 고주파 차단 필터링에 대한 강인성 실험결과  
[Fig. 11] Robustness of blurring

0	-1	0	1/9	1/9	1/9
-1	5	-1	1/9	1/9	1/9
0	-1	0	1/9	1/9	1/9

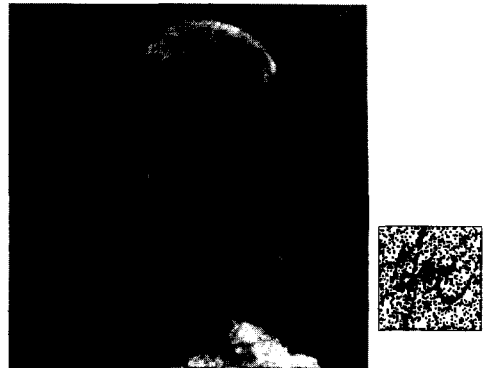
[그림 9] 고주파 강화/차단 필터링 마스크  
[Fig. 9] Filtering mask of sharpening/blurring

(3) 여백 잘라내기와 평활화에 따른 강인성 실험 결과

워터마크가 삽입된 영상을 여백 잘라내기 공격과 히스토그램 평활화 공격에 대한 워터마크의 강인성을 실험하였다. 워터마크를 수평과 수직으로 인터레이스 형태로 삽입을 하였기 때문에 여백 잘라내기에 대해서 잃어버린 워터마크의 정보가 다른 영역에서 찾을 수 있었다. [그림 12]처럼 여백 잘라내기의  $PSNR$ 은 12.82로 왜곡이 심하지만  $C_n$ 은 0.9760으로 높았다. 히스토그램의 평활화 공격에 대한 워터마킹 이미지의  $PSNR$ 은 11.78로 심하게 왜곡되어  $C_n$ 은 0.7132으로 약간 낮았지만 [그림 13]과 같이 시각적으로 쉽게 판별되었다.



[그림 12] 여백 잘라내기에 따른 강인성 실험 결과  
[Fig. 12] Robustness of cropping



[그림 14] 크기변화에 따른 강인성 실험 결과  
[Fig. 14] Robustness of resizing



[그림 13] 히스토그램 평활화에 따른 강인성 실험 결과  
[Fig. 13] Robustness of histogram equalize

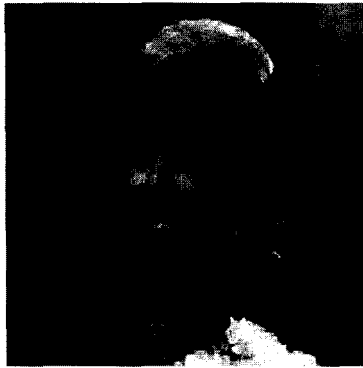
(4) 크기 변화에 대한 강인성 실험

크기 변환에 의한 공격 실험에서는 영상의 크기를 두 배 확대한 후 다시 원 영상의 크기로 축소하였을 때 보간법(Interpolation)에 의한 워터마크의 강인성을 분석했다. 영상의 크기 변환 공격은 압축이나 다른 영상처리 공격에 비하여 영상의 화질 열화를 가져와서 주파수 계수값의 변화가 심하게 일어나므로 워터마크된 영상에서도 워터마크의 손실을 가져왔다. 특히 축소 후 확대하는 경우에는 너무 많은 정보를 잃어버려서 워터마크의 추출이 어려웠다.

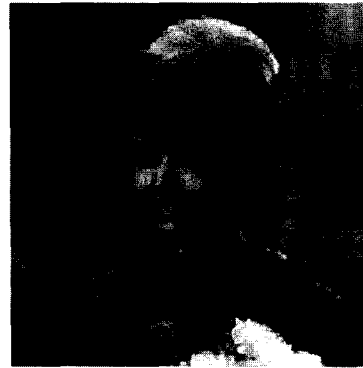
두 배로 확대한 후 다시 원 영상 크기로 축소한 경우에는 PSNR이 27.68로 큰 왜곡이 없음에도 다른 강인성 실험보다 추출이 어려웠다. 하지만 [그림 14]와 같이  $C_n$  값이 0.5720으로 시각적으로 워터마크의 판별이 가능했다.

(5) 손실압축에 대한 강인성 실험

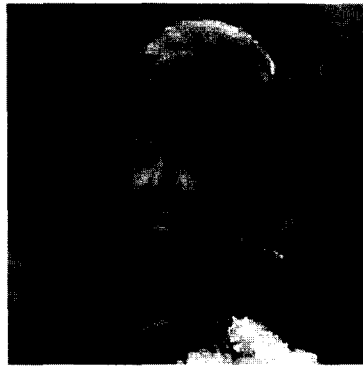
워터마크가 삽입된 영상을 손실 압축(JPEG, gif)한 후 추출된 워터마크를 분석했다. JPEG 압축은 압축화질(quality)을 60%, 40%, 20%로 낮춰가면서 워터마크의 추출 가능성을 분석하였다. gif 압축은 색상 수를 낮춰 압축한 경우에는 추출이 불가능하였다. 본 실험에서는 색상 수를 8bit(256)로 고정하고 어도비사의 포토샵에서 10%, 25%, 50%로 파일 손실율을 높이면서 워터마크의 추출을 분석하였다. JPEG 압축은 화질을 60%, 40%, 20%로 낮추었을 경우 Girl 영상의 파일 용량이 64KByte에 대해 각각 13.26KByte, 8.38KByte, 5.7KByte로 줄었다. GIF 압축은 10%, 25%, 50%로 파일 손실(lossy)을 높였을 경우 Girl 영상의 파일 용량이 64KByte에 대해 각각 34.77KByte, 23.58KByte, 16KByte로 줄었다. JPEG 압축의 경우 PSNR값은 각각 30.50, 30.14, 29.81로 왜곡이 적었으나 GIF의 경우 PSNR값은 각각 30.72, 29.68, 26.20으로 왜곡이 상대적으로 컸다. JPEG 경우  $C_n$  값은 각각 0.8016, 74.36, 70.07이고 GIF의 경우  $C_n$  값은 각각 73.91, 50.43, 35.20이다. JPEG 경우 GIF 보다 파일 용량을 더 줄여 많이 압축하였음에도 왜곡은 적어 워터마크의 추출이 [그림 15]와 [그림 16]처럼 우수하였다.



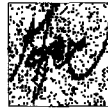
60% quality jpg



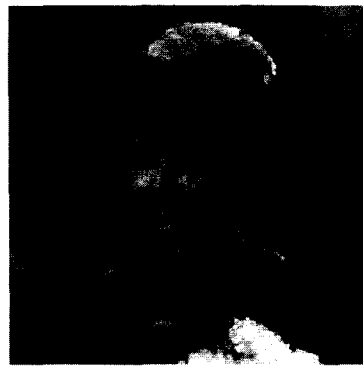
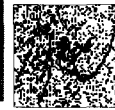
10% lossy gif



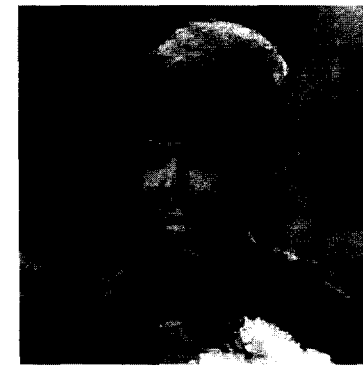
40% quality jpg



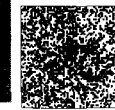
25% lossy gif



20% quality jpg



50% lossy gif









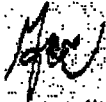





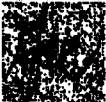








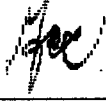

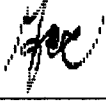


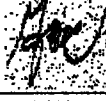


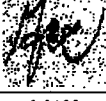





[그림 15] 손실 압축 JPEG에 대한 강인성 실험 결과  
[Fig. 15] Robustness of lossy compression(JPEG)

[그림 16] 손실 압축 gif에 대한 강인성 실험 결과  
[Fig. 16] Robustness of lossy compression(gif)

나머지 5개의 실험 영상에 대한  $PSNR$ 에 따른  $C_n$  값과 추출된 워터마크 영상을 <표 1>과 <표 2>로 나타냈다. 다른 실험 영상 또한 비슷한 결과의 강인성을 보였다.

<표 1> 강인성 실험결과

<Table 1> Simulation result of robustness

강인성 실험		실험 영상				
		Baboon	Bridge	Couple	Lena	Man
no attack	PSNR	37.34	36.99	38.13	39.10	38.59
뵈게	PSNR	16.13	16.02	15.97	16.02	16.17
	워터마크					
	$C_n$	0.9787	0.9848	0.9963	0.9988	0.9996
어둡게	PSNR	15.82	15.83	15.89	15.83	15.83
	워터마크					
	$C_n$	0.9768	0.9715	0.9807	0.9922	0.9844
선명화	PSNR	13.27	13.28	15.61	17.22	15.83
	워터마크					
	$C_n$	0.43	0.4381	0.4587	0.5176	0.5111
흐림	PSNR	21.40	21.56	23.08	25.14	23.96
	워터마크					
	$C_n$	0.6193	0.6262	0.5767	0.5852	0.5726
잘라내기	PSNR	11.15	9.79	9.79	9.00	10.79
	워터마크					
	$C_n$	0.9758	0.9758	0.9758	0.9758	0.9758
평활화	PSNR	18.95	18.77	17.09	18.09	17.74
	워터마크					
	$C_n$	0.8647	0.8704	0.7157	0.7804	0.8108
크기변경	PSNR	22.16	21.80	23.88	25.48	24.61
	워터마크					
	$C_n$	0.5260	0.5254	0.5024	0.5448	0.5113



<표 2> 손실 압축 공격에 따른 강인성 실험 결과  
 <Table 2> Robustness of lossy compression attack

강인성 실험 결과		실험 영상								
		Baboon	Bridge	Couple	Lena	Man				
no attack		PSNR	37.34	36.99	38.13	39.10	38.59			
JPEG	삽입 영상	60	PSNR	26.83	26.70	27.96	28.99	28.22		
		워터마크								
		$C_n$	0.8942	0.8933	0.8289	0.7890	0.8326			
		40	PSNR	25.80	25.63	27.38	28.49	27.45		
		워터마크								
		$C_n$	0.8255	0.8238	0.7498	0.7039	0.7541			
	20	PSNR	24.95	24.77	26.76	28.00	26.80			
		워터마크								
		$C_n$	0.7466	0.7458	0.6806	0.6529	0.6869			
		GIF	삽입 영상	10	PSNR	27.49	30.72	28.35	29.32	28.79
				워터마크						
				$C_n$	0.8919	0.8521	0.8029	0.7443	0.8012	
25	PSNR		26.64	28.94	27.30	28.17	27.64			
	워터마크									
	$C_n$		0.7525	0.6676	0.5922	0.5448	0.6470			
50	PSNR	24.35	26.37	24.91	25.75	25.21				
	워터마크									
	$C_n$	0.5781	0.5621	0.4337	0.3763	0.4732				

### 3. 결론

본 연구에서는 디지털 영상데이터의 저작권 보호를 위해 시각적으로 인지할 수 있는 이진 워터마크 영상을 원 영상에 삽입 및 검출할 수 있는 알고리즘

을 제안하였다. 제안 방법은 이산 웨이브릿을 사용하여 원 영상을 주파수 영역으로 변환 후 수평/수직 부대역에 워터 마크를 삽입하고 검출하는 방법을 제

안하였다. 제한한 식은 부대역의 저주파수 영역에 가중치를 두어 삽입하였고 삽입한 이진 워터마크는 -1과 1값을 가지도록 하여 원 영상에 가감하였다. 원 영상의 열화가 적은 정도에서 저주파에 가중치를 두었음에도 불구하고, 이 알고리즘 역시 기존의 알고리즘처럼 고주파 영역의 훼손에 따른 선명화와 흐리게 하는 공격에 대해서 다른 공격에 비해 상대적으로 약했다. 하지만 인간의 시각으로 판별하는데는 문제가 없었다. 또한 회전과 축소(Rotation, Scaling, Translation)에 강인하기 위한 방법으로 체인 코드(Chain Codes) 기법을 도입하여 연구 중이며, 향후 연구 과제는 여러 웨이브릿 방법을 사용하여 워터마크에 가장 적합한 웨이브릿을 연구하는 것과 정지영상 뿐만 아니라 동영상 데이터에 적용할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다.

※ 참고문헌

- [1] Houn-Jyn Mike Wang, Po-Chyi Su and C.-C. Jay Kuo, "Wavelet-based digital image water- marking", Optics Express 491, Vol. 3, No. 12, 1998.
- [2] I.J. Cox, M.L.Miller, "A Review of Waterking and the Importance of Perceptual Modeling," proc. SPIE conf. on Human Vision Electronic Imaging II, Vol. 3-16, pp. 92-99, Feb., 1997.
- [3] X. G. Xia, C. G. Bonecelet and G.R.Arce, "Wavelet transform based watermark for digital image," Optics Express 497, Vol. 3, No.12, 1998.
- [4] 표성신, "저작권 보호를 위한 디지털 정지 영상 워터마킹," 한양대학교 대학원 석사학위논문, 2000.
- [5] 한재혁, "임의의 암호 키를 갖는 웨이브릿 워터마킹," 충북대학교 대학원 석사학위논문, 2000.
- [6] 배미영, "이산 웨이브렛 변환 및 분산을 이용한 적응적 디지털 워터마킹," 안동대학교 대학원 석사학위논문, 2000.

- [7] 김용민, "다중가중치와 확산스펙트럼 방식을 이용한 견고한 패턴 디지털워터마킹," 동아대학교 대학원 석사학위논문, 2000.

이 경 훈



1991년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
 1993년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)  
 2001년 영남대학교 대학원 전자공학과 박사수료  
 1993년 ~ 현재 포항1대학 컴퓨터정보처리과 조교수  
 관심분야 : 워터마킹, 패턴인식, 멀티미디어