

웨이브렛 변환과 다중 가중치를 이용한 강인한 패턴 워터마킹

정희원 김현환*, 김용민*, 김두영*

Robust Pattern Watermarking Using Wavelet Transform and Multi-Weights

Hyun-Hwan Kim*, Yong-Min Kim*, Doo-Young Kim* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 디지털 영상 데이터의 내부에 시각적으로 인식 가능한 패턴(마크, 인장 또는 사인)을 삽입할 수 있는 새로운 워터마킹 방법을 소개한다. 먼저, 컬러 영상(RGB) 데이터에 대하여 YCbCr 모델로 좌표 변환한 후 Y 값만 웨이브렛 변환한다. 변환된 각 부대역의 계수값들은 인간의 시각체계를 고려한 다중 임계값으로 분류하였고 여기에다 확산스펙트럼통신에서 사용되는 의사잡음코드와 삽입할 패턴 워터마크 그리고 랜덤 발생기로 생성된 다중 워터마크 가중치를 이용하여 워터마크를 삽입한다. 워터마크 검출은 삽입시와 동일한 방법으로 Y 값을 웨이브렛 변환한 후 의사잡음코드와 각 부대역간의 차신호를 이용하여 검출한다. 제안한 방법에서는 웨이브렛 변환시 발생할 수 있는 양자화오차를 제거하기 위해 새로운 계산방법을 도입하여 양자화 오차를 제거할 수 있었다. 또한, 향후 하드웨어 구현이 쉽도록 하기 위하여 색좌표계 변환시 고정소수점 계산방법을 이용하여 구현하였다. 제안한 방법으로 여러 영상에 적용해 본 결과 우수한 영상의 화질을 얻을 수가 있었으며 JPEG 손실압축 뿐만 아니라 Brightness, Contrast, Filtering, Scaling 및 기하학적변형 등의 다양한 공격에서도 삽입한 패턴 워터마크를 쉽게 검출할 수 있었다.

ABSTRACT

This paper presents a watermarking algorithm for embedding visually recognizable pattern (Mark, Logo, Symbol, Stamping or Signature) into the image. First, the Color image(RGB model) is transformed into YCbCr model and then the Y component is transformed into 3-level wavelet transform. Next, the values are assembled with pattern watermark, PN(pseudo noise) code at spread spectrum communication method and multilevel watermark weights. This values are inserted into discrete wavelet domain. In our scheme, new calculating method is designed to calculate wavelet transform with integer value in considering the quantization error. And We used the color conversion with fixed-point arithmetic to be easy to make the hardware hereafter. Also, we made the new solution using multilevel threshold to robust to common signal distortions and malicious attack, and to enhance quality of image in considering the human visual system. The experimental results showed that the proposed watermarking algorithm was superior to other similar watermarking algorithm. We showed that it was robust to common signal processing and geometric transform such as brightness, contrast, filtering, scaling, JPEG lossy compression and geometric deformations.

* 동아대학교 전자공학과(hhkim@electro.donga.ac.kr)
논문번호: 99439-1116 접수일자: 1999년 11월 16일

I. 서론

최근 정보통신 기술의 눈부신 발달과 급속한 네트워크망의 보급, 그리고 인터넷과 같은 멀티미디어 통신기술의 발달로 다양한 멀티미디어 데이터-영상, 음성, 오디오, 비디오, 전자문서 등에 대한 저장 및 전송이 매우 손쉬워졌다. 그러나, 이러한 디지털 데이터들은 원본과 복사본 그리고 변형본의 구분이 불가능하다는 단점 때문에 디지털 데이터에 대한 복사방지, 저작권 보호, 인증에 대한 해결책이 보다 절실히 해졌다. 기존의 정보 보호 시스템인 암호처리, 방화벽(Fire Wall) 등은 이를 극복하기 위해 여러 측면에서 많은 방법들이 개발되고 있지만 이러한 것들은 데이터에 대한 접근 자체를 차단하므로 웹의 특성은 적합하지 못하다^[1]. 또한, 허가 받은 사용자들의 무단 복제와 변형에 대해서도 아무런 해결책을 갖고 있지 않다. 최근에 이러한 문제점 해결을 위해 디지털 워터마킹 연구가 활발히 진행되고 있다. 디지털 워터마킹은 멀티미디어 데이터에 특정 신호를 은닉하는 기술로써 인터넷이나 웹과 같은 분야에 적합한 저작권 보호 방법 중의 하나라고 할 수 있다. 디지털 워터마킹 방법에는 크게 공간 영역과 주파수 영역에서의 워터마킹 방법으로 분류할 수 있다. 공간 영역에서의 워터마킹 방법은 인간의 시각 체계가 영상의 미세한 밝기 값에 덜 민감하다는 것을 착안하여 픽셀의 LSB 값을 변화시키면서 워터마크를 삽입한다. 이 방법은 비가시성(Invisibility)만을 만족시키며 JPEG 손실 압축 등의 일반적인 영상 변형에는 매우 약한 것이 단점이다^[2]. I. Pitas 등은 영상을 크기가 같은 두 집합으로 나누고 한 집합의 픽셀 값을 상수 K 만큼씩 일정하게 증가시키는 워터마킹 방법을 제안하였다^[3]. 주파수 영역에서의 워터마킹 방법은 FFT, DCT, DWT 등과 같은 변환으로 영상 데이터를 주파수 공간으로 변환하여 워터마크를 삽입하게 된다. 이 방법은 앞의 방법보다 잠음이나 일반적인 영상처리, 압축 등의 실험에서 영상의 견고성(Robustness)을 유지한다는 데 장점이 있다^[4-5].

Cox 등은 영상 전체를 DCT 변환한 후, 영상에서 DC성분을 제외하고 계수 값을 정렬하여 n개의 큰 값을 선택하여 함수에 의한 순열(sequence)을 삽입하는 대역 확산 워터마킹 방법을 제안하였다^[6]. 또한 Koch와 Zhao는 영상을 8×8블록으로 분할하여 DCT 변환을 한 후, 저주파 부분에 워터마킹하는 방법을 제안하였다^[7]. 이처럼 최근까지 다양한

방법의 워터마킹 기술이 연구되어 왔으나 아직 완벽한 해결책은 나오지 않았다. 워터마킹 기술에 있어 견고성과 안정성(Security)에 못지 않게 중요한 것이 저작자의 판별을 분명하게 하는 명확성(Unambiguous)이라 할 수 있다. C.-T. Hsu, J.-L. Wu와 Wenjun Zeng, Bede Liu, Shawmin Lei 등의 제안 방법은 흑백 Lenna 영상을 DCT 변환을 한 후, 화질과 견고성을 고려하여 중간 주파수 내에 워터마크(인장 또는 문자)를 삽입하는 방법을 제안하였다^[8-9]. 본 논문에서도 디지털 영상 내부에 시각적으로 인식 가능한 패턴을 삽입함으로써 명확성을 만족시킬 수 있는 새로운 워터마킹 방법을 소개한다. 제안한 방법에서는 먼저 RGB 영상을 JPEG 영상압축 및 국제 비디오 디지털 규격에서 사용되는 YCbCr 모델로 좌표 변환하면 휘도(밝기)와 색차 신호로 분리된다. 인간의 시각 체계는 색차 신호의 변화보다 밝기 신호의 변화에 훨씬 민감하므로 본 논문에서도 이를 고려하여 Y성분만을 웨이브렛 변환하여 주파수 영역으로 변환한 후, 마지막 부대역의 AC성분 LH_3, HL_3, HH_3 에 패턴 워터마크를 삽입하도록 하였다. 또한 최소의 화질 저하와 견고성 향상 및 안정성(Security)을 위해 웨이브렛 변환영역의 계수값에 적용적인 다단계 임계치를 설정하고, 각 임계치 영역에 알맞은 워터마크 가중치는 랜덤발생기를 이용하여 결정하도록 하였다. 이렇게 생성된 워터마크 가중치와 확산 스펙트럼에서 사용되는 의사잡음코드 그리고 패턴 워터마크를 이용하여 워터마크를 삽입한다. 검출 방법은 원영상과 워터마크된 영상에서 Y값에 대하여 삽입시와 동일한 레벨로 웨이브렛 변환한 후 각 부대역간의 차를 구하여 의사잡음코드의 값에 따라 패턴 워터마크를 검출하였다.

II. 제안된 워터마킹 알고리즘

본 연구에서의 색좌표계 변환은 하드웨어 구현을 고려하여 JPEG표준의 정수처리 방식인 고정소수점 계산 방법을 사용하였다. 또한, 여기서 사용된 Wavelet 변환 방법은 양자화 오차를 완전히 제거할 수 있도록 Haar Wavelet 변환을 변경 설계하여 이용하였으며 2.1에서 보다 상세히 설명하고 있다.

2.1 Wavelet의 정수 모델링

웨이브렛 변환의 기본 개념은 임의의 함수를 시간-주파수 영역에서 동시에 극부성을 갖는 웨이브렛 기저함수의 선형결합으로 표현하는 것이다.

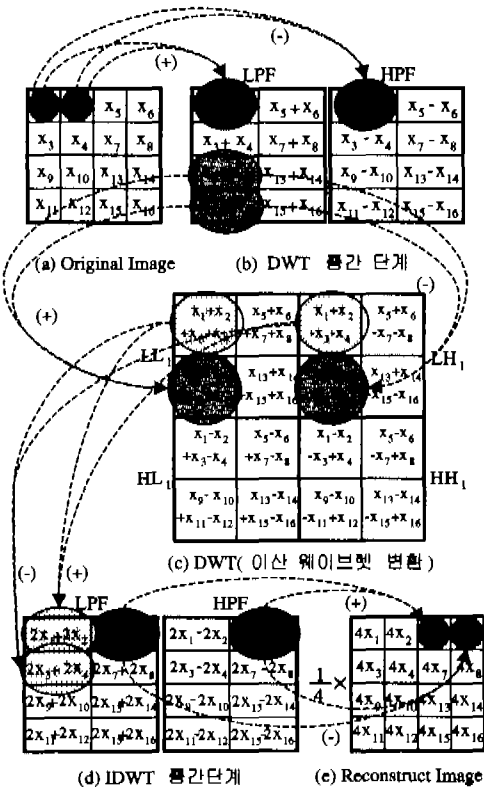


그림 1. 2차원 웨이브렛 변환의 분해와 복원

본 논문에서는 양자화 오차를 제거하기 위해서 Basis Vector를 $LPF=[1 \ 1]$, $HPF=[1, -1]$ 로 하였으며 IDWT (역 이산 웨이브렛 변환)과정에서는 마지막 단계의 값에 $\frac{1}{4}$ 을 곱하여 복원하였다. 전체적인 처리 과정은 그림 1과 같으며, (a)는 영상의 각 픽셀 값을 $x_i (i=1,2 \dots, 16)$ 로 표현하였으며, (c)는 (a)를 본 연구에서 설계한 방법으로 변환된 결과이다. LL_1 영역은 입력값이 단일 입력이 될 때까지 계속적으로 분해 가능하며 본 논문에서는 3단계 DWT를 사용하였다. 여기서, LL_3 은 3단계 DWT를 수행한 후의 DC성분을 의미한다.

2.2 대역확산통신 방식

영상 데이터를 주파수 형태로 변환했을 때의 각 주파수 성분을 통신 채널이라 가정하면 워터마크는 그 통신 채널로 통과하는 신호라고 볼 수 있다. 대역확산 방법은 워터마크(신호)를 영상(전송채널)이 갖고 있는 여러 주파수 영역으로 확산시킴으로써 특정 주파수 대역의 에너지를 감지하기 어렵게 만

든다. 그 신호가 잡음, 필터링, 압축전송 등에 영향을 받지 않고 효과적으로 전송될 수 있도록 대역 확산통신 방식을 도입한다. 즉, 워터마크(신호)를 영상(전송채널)이 갖고 있는 여러 주파수 영역으로 확산시킴으로써 특정 주파수 대역의 에너지는 감지하기 어렵게 한다⁶⁾. 본 논문에서는 영상의 변화를 감지 못하면서 잡음, 압축 및 일반적인 영상처리와 같은 다양한 공격에 대하여 강인하도록 하기 위해 패턴워터마크에 의사잡음코드를 곱하여 사용하였다. 여기서 사용된 의사잡음코드는 Gold Sequence이다.

2.3 패턴 워터마크 삽입 방법

의사잡음코드의 값을 PN_{ij} 라 하면 PN_{ij} 는 $\{-1, 1\}$ 로 구성되는 Sequence이고 V_{ij} 는 원영상, V_{ij}^* 는 워터마크된 영상, X_{ij} 는 삽입할 패턴 워터마크이다.

$$V_{ij}^* = V_{ij} + \alpha \times PN_{ij} \times X_{ij} \quad (1)$$

본 논문에서는 식(1)을 사용하여 워터마크를 삽입하였으며 전체적인 과정은 그림 2와 같다.

- 단계1. RGB영상을 YCbCr좌표계로 좌표계 변환
- 단계2. 변환된 영역의 Y값을 3단계 DWT수행
- 단계3. 의사잡음코드생성(31×31 Gold Sequence)
- 단계4. 다중 임계값 결정

변환된 주파수 영역에서 고주파성분 중에서 워터마크가 삽입될 영역의 계수값들을 정렬하여 적용적으로 4개의 임계값을 구한다.

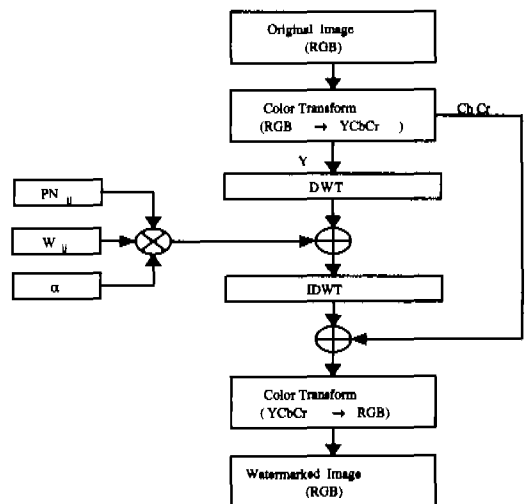


그림 2. 워터마크 삽입 알고리즘

단계5. 워터마크 가중치(a) 결정

- 4개의 임계값으로 나뉘어진 5개의 영역에 대하여 웨이트렛 계수 값(V_0)들이 큰 영역에 대해서는 a값을 크게, 작은 영역은 작게 한다.
- 최종적으로 워터마크된 영상과 원영상과의 픽셀 값 차이가 항상 $\pm 1 \sim \pm 8$ 의 범위가 되도록 a의 범위를 랜덤 발생기를 이용하여 조정한다.
- 예를 들면, V_0 의 값이 큰 경우는 a의 값에 따라 픽셀값이 $\pm 6 \sim \pm 8$ 정도 변화하도록 하고 반대의 경우는 a의 값에 따라 픽셀값이 $\pm 1 \sim \pm 2$ 정도의 아주 적은 값이 변화하도록 조정한다.

단계6. 워터마크 삽입

- 입력할 워터마크(W_0)와 외사잡음코드 그리고 랜덤 발생기로 생성된 다단계 워터마크 가중치를 이용하여 마지막 부대역의 AC성분(LH₃, HL₃, HH₃) 에만 식(1)과 같이 워터마크를 삽입한다.

단계7. 3단계 IDWT 수행

단계8. 워터마크된 영상 생성

- YCbCr좌표계에서 RGB영상으로 좌표계 변환

2.4 워터마크의 검출

워터마크된 영상으로부터 워터마크를 검출하기 위해서 삽입시와 동일한 방법으로 원영상과 외삽가는 워터마크된 영상을 각각 YCbCr 좌표 공간으로 변환한 후, Y 성분에 대해서만 3단계 Wavelet 변환을 수행한다. 이렇게 변환된 부대역 중에서 AC성분에 대해서만 각각의 차신호(δ)를 구하고 삽입시와 동일한 외사잡음코드를 이용하여 패턴 워터마크를 검출한다. 워터마크 검출 알고리즘은 그림 3과 같다. 이렇게 검출된 패턴 워터마크에 대하여 주관적

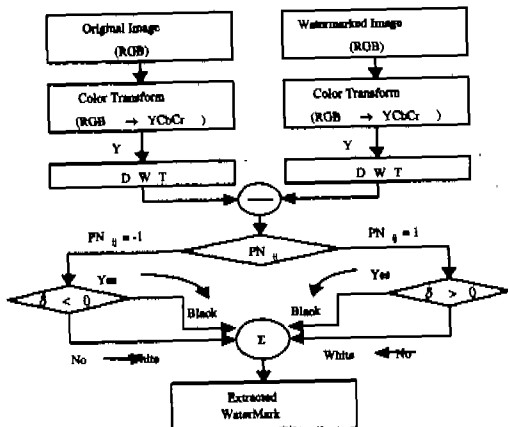


그림 3. 워터마크 검출 알고리즘

인 판단과 더불어 식(2-3)의 에러율과 식(4)의 NC를 측정하여 유효성을 판단하였다.

2.5 유효성 판단

(1) 에러율 측정^[10-11]

$$X_{ij}^* = Y_{ij} + Y_{ij}^*$$

Y_{ij} : 삽입된 위치에서 검출된 신호

Y_{ij}^* : 삽입하지 않은 위치에서 검출된 신호

X_{ij}^* : 검출된 워터마크신호

- 삽입된 위치에서 검출하지 못할 에러율

$$\epsilon_1 = \frac{M(X_{ij} - Y_{ij})}{M(X_{ij})} \times 100(\%) \quad (2)$$

X_{ij} : 워터마크신호

- 삽입하지 않은 위치에서 검출될 에러율

$$\epsilon_2 = \frac{M(Y_{ij}^*)}{M(U_{ij} - X_{ij})} \times 100(\%) \quad (3)$$

U_{ij} : 워터마크 영상 전체 집합

$M(X_{ij})$: X_{ij} 의 데이터 총 개수

(2) Normalized Correlation(NC)

NC수식은 원 패턴 워터마크와 추출된 패턴 워터마크가 일치될 때에 1이 되도록 상관관계를 표준화한 표현으로 다음과 같이 표현하여 유사도를 평가할 수 있다^[8].

$$NC = \frac{\sum_i \sum_j X_{ij} X_{ij}^*}{\sqrt{\sum_i \sum_j [X_{ij}^*]^2}} \quad (4)$$

III. 실험결과 및 성능 분석

3.1 비가시성 실험

디지털 워터마킹이 효과적으로 작용하기 위해서는 원영상에 비밀스러운 정보를 삽입 한 후에도 시각적인 손상이 최대한 적어야 한다.

$$\text{Compression ratio} = \quad (5)$$

$$\frac{\text{Number of bytes in the original data set}}{\text{Number of bytes in the compressed data set}}$$

3.2 견고성 실험

워터마크를 삽입한 이후에 손실압축을 통해 데이터의 양을 줄인다거나, 영상의 선명도를 높인다거나,



(a)Lenna원영상 (b)워터마크 (c)워터마크된 영상

그림 4. 비가시성 실험

표 1. 워터마크된 영상의 PSNR(dB)

No	lenna	F-16	Girl	Baboon	Peppers
1	47.47	47.81	47.52	46.71	46.89
2	47.50	47.35	46.72	46.92	46.84
3	47.83	47.44	47.87	46.71	46.84
4	47.15	46.69	46.72	47.49	47.61
5	47.83	46.69	47.46	47.30	47.93
평균	47.55	47.19	47.25	47.02	47.22

색상의 일부분 바꾸는 등의 의도적이거나 비의도적인 다양한 공격에도 워터마크를 찾아낼 수 있어야 한다. 다음의 실험을 통하여 제안한 방법의 견고성을 확인하였다.

- (1)JPEG 압축: 압축율은 10~90%
- (2)LSB Masking: 1Bit ~7Bit LSB Masking
- (3)Brightness: -80~80(Contrast: 0)
- (4)Contrast: -80~80(Brightness: 0)
- (5)Deformation: Circle, Pentagon, Skew, Pinch
- (6) 기타 영상처리
 - Median: 3×3 mask
 - Averaging: 3×3 mask
 - Embossing: 3×3 mask
 - Mosaic: 7×7 mask
 - Resizing: 128×128, 64×64

3.2.1. JPEG 압축률에 따른 검출된 워터마크

본 실험에서 사용한 압축비는 식(5)의 일반화된 수식을 따랐다¹²⁾.

표 3. Chiou-Ting Hsu, Ja-Ling Wu의 JPEG압축 실험

Compression Ratio	3.49	4.41	5.18	5.92	6.55	7.16	7.81	8.46	9.05	9.81	10.74
PSNR (dB)	33.78	35.52	34.74	33.84	33.15	32.56	32.07	31.75	31.47	31.41	31.27
Normalized Correlation	0.999	0.998	0.998	0.990	0.942	0.883	0.830	0.726	0.661	0.493	0.413

본 논문의 재판적인 평가를 위해 Chiou-Ting Hsu와 Ja-Ling Wu의 논문 결과를 이용하였다¹¹⁾. 이 논문은 DCT를 이용하여 인장을 워터마크로 삽입한 경우로 제안한 방법에서 본교의 마크를 워터마크로 사용한 경우와 직관적인 정보(Intuitive Information)를 이용했다는 부분이 유사하므로 참고하게 되었다.

표 2. JPEG 압축 결과

압축비	PSNR1 (dB)	ϵ_1 (%)	ϵ_2 (%)	NC	PSNR2 (dB)	주관적 판단
0	47.83	0	0	1	70	검출
4.17:1	34.80	0	0	1	70	검출
5.65:1	33.03	0	0	1	70	검출
7.11:1	32.05	0.29	0	0.99	29.82	검출
8.73:1	31.34	5.95	0	0.97	16.81	검출
10.11:1	30.81	13.69	0	0.95	13.19	검출
12.80:1	30.21	20.23	0	0.92	11.50	검출
17.45:1	29.45	27.67	0	0.90	10.14	검출
24.00:1	28.32	52.08	0	0.81	7.39	부분검출
38.40:1	26.05	77.97	0	0.72	5.64	부분검출

PSNR1 : 워터마크된 영상, PSNR2 : 검출된 Mark영상



4.17:1 5.65:1 7.11:1 8.73:1 10.11:1 12.8:1 17.45:1 24.0:1 38.40:1

디지털 워터마킹에 사용된 실험 Data나 압축비 등은 제안한 방법들의 차이로 모든 실험 환경을 일치시킨다는 것은 불가능하므로 Chiou-Ting Hsu와 Ja-Ling Wu의 논문에서 실험한 JPEG압축 공격에 대한 실험 결과를 그대로 인용하였다. Chiou-Ting Hsu와 Ja-Ling Wu의 논문에서는 압축비를 표 3에서 실험한 값 이상의 높은 압축을 가할 경우 영상의 화질이 많이 저하되기 때문에 높은 압축에서의 성능평가는 의미가 없다고 말하고 있다.

그러나, 실제 사용 목적에 따라 20:1이상의 고압축을 필요로 할 경우가 있으며 이를 위해서는 Chiou-Ting Hsu와 Ja-Ling Wu가 제안한 방법으로는 디지털 데이터에 대한 저작권 판별이 불가능함을 알 수 있다. 본 논문에서는 이러한 공격에서도 충분히 저작권 판별이 가능하였으며 표2에서 보는 바와 같이 38.4:1의 높은 JPEG압축에서도 0.72의 높은 NC값

을 얻을 수 있음을 확인 할 수 있었다. 그림 5에서는 두 방법을 압축비에 따른 NC값의 비교를 하였다.

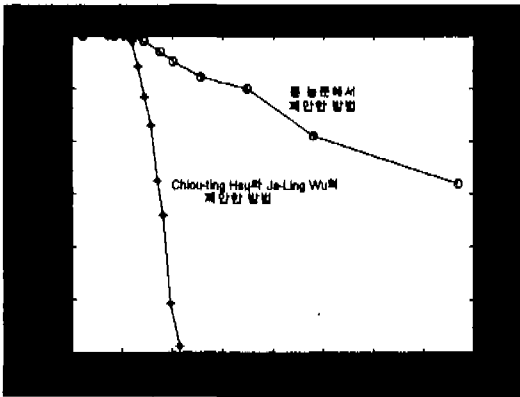


그림 5. 압축비에 따른 NC값의 비교

3.2.2. LSB Masking에 따른 검출된 워터마크

표 4. LSB 마스크

LSB Masking	PSNR1 (dB)	ϵ_1 (%)	ϵ_2 (%)	NC	PSNR2 (dB)	주관적 판단
1 Bit	45.74	0	0	1	70	검출
2 Bit	41.09	0	0	1	70	검출
3 Bit	35.18	0	0	1	70	검출
4 Bit	28.90	0.58	0	0.997	26.81	검출
5 Bit	22.74	2.08	0	0.992	21.37	검출
6 Bit	17.05	19.64	0	0.931	11.63	검출
7 Bit	10.11	64.58	0	0.774	6.46	부분검출



3.2.3 Brightness 에 따른 검출된 워터마크

표 5. Brightness 실험

Brightness (%)	PSNR1 (dB)	ϵ_1 (%)	ϵ_2 (%)	NC	PSNR2 (dB)	주관적 판단
-80	5.43	44.94	0	0.84	8.03	부분검출
-60	6.59	13.98	0	0.95	13.10	검출
-40	8.82	1.48	0	0.99	22.83	검출
-20	14.15	0	0	1	70	검출
0	47.83	0	0	1	70	검출
20	14.36	0	0	1	70	검출
40	8.99	3.57	0	0.98	19.03	검출
60	6.30	16.66	0	0.94	12.34	검출
80	5.36	55.35	0	0.80	7.13	검출



3.2.4 Contrast변화에 따른 검출된 워터마크

표 6. Contrast 실험

Contrast (%)	PSNR1 (dB)	ϵ_1 (%)	ϵ_2 (%)	NC	PSNR2 (dB)	주관적 판단
-80	14.80	0	0	1	70	검출
-60	17.27	0	0	1	70	검출
-40	20.90	0	0	1	70	검출
-20	26.91	0	0	1	70	검출
0	47.83	0	0	1	70	검출
20	25.46	0	0	1	70	검출
40	18.84	0	0	1	70	검출
60	14.54	0	0	1	70	검출
80	11.77	12.5	0	0.95	13.59	검출



3.2.5 Deformation 실험

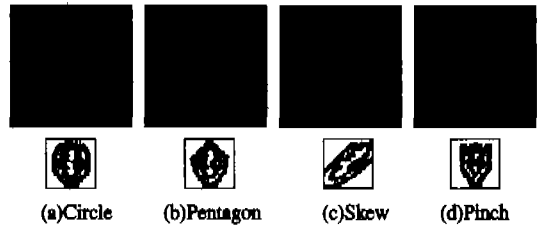
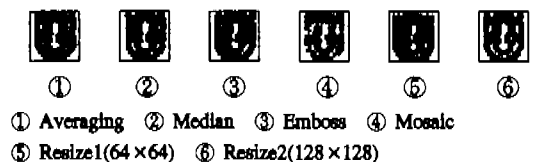


그림 6. Deformation 실험

3.2.6. 다양한 영상처리에 대한 검출된 워터마크

표 7. 다양한 영상처리

구분	PSNR1 (dB)	ϵ_1 (%)	ϵ_2 (%)	NC	PSNR2 (dB)	주관적 판단
Averaging (3x3)	30.49	0	35.84	0.76	6.32	검출
Median (3x3)	24.72	0	31.04	0.79	6.94	검출
Emboss (3x3)	22.18	4.46	39.36	0.72	5.66	검출
Mosaic (7x7)	12.14	11.90	23.04	0.80	7.17	검출
Resize (64x64)	17.36	6.25	42.4	0.70	5.26	검출
Resize (128x128)	20.12	7.14	23.84	0.81	7.44	검출



김 두 영(Doo-Young Kim)

정회원



1972년 부산대학교 전자공학과
졸업(공학사)
1975년 부산대학교 대학원
전자공학과 졸업(공학석사)
1983년 경북대학교 대학원
전자공학과 박사수료
1977년 3월~현재 동아대학교
전자공학과 교수

<주관심 분야> 디지털신호처리, 영상처리 및 컴퓨터비전