

선형계수확장 기반의 새로운 웨이블릿 워터마킹

준회원 박영일*, 정회원 김석태**^o

A New Wavelet Watermarking Based on Linear Bit Expansion

Yong-Ri Piao* Associate Member, Seok-Tae Kim** Regular Member

요약

본 논문에서는 선형계수확장 기반의 웨이블릿 워터마킹 기법을 제안하였다. 워터마크의 안정성을 위해 먼저 워터마크에 대해 Arnold 변환을 한 후, 선형계수확장을 적용하여 확대된 워터마크를 웨이블릿 변환된 영상의 저주파대에 일정한 강도로 삽입하였으며 추출 시에는 기존 방법과 달리 F-노름(norm) 함수를 적용하였다. 실험결과 본 논문에서 제안한 방법은 충실도와 강인성 측면에서 우수한 특성을 가짐을 확인하였다.

Key Words : Arnold Transform, Linear Bit-expansion, Wavelet transform, F norm Function

ABSTRACT

This study proposes a new wavelet watermark technique based on the Linear Bit Expansion. To ensure the security of the watermark, enlarged watermark by applying linear bit expansion is inserted in a given intensity to a low frequency subband of the image which is wavelet transformed after the Arnold Transformation. When detecting the presence of watermark, F norm function is applied unlike the existing methods. The experiment results verify that the proposed watermarking technique has outstanding quality in regards to fidelity and robustness.

I. 서론

최근, 디지털 콘텐츠에 대한 유료화가 가속화되면서 이들에 대한 저작권 보호를 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 디지털 워터마킹은 가장 널리 사용되는 저작권 보호 기술로서, 저작권자의 고유정보를 사람의 인지 능력으로 감지하기 어렵도록 삽입한 후, 차후 저작권 분쟁이 발생할 경우 저작권 정보를 다시 추출함으로써 저작권자의 소유권을 입증할 수 있는 기술이다. 워터마킹에 요구되는 특성에는 삽입 후 콘텐츠의 충실도(Fidelity), 삽입된 정보가 여러 공격에도 살아남을 수 있는 강인성(Robustness) 등 여러 가지가 있다¹⁾.

지금까지 주파수 영역에서의 워터마킹에서는 주

로 DCT변환을 기반으로 강인성을 확보하려는 방법들이 많이 제안되었다²⁻³⁾. 이는 기존의 JPEG, MPEG1-2와 같은 DCT변환을 기반으로 하는 표준 압축 방식을 고려하였기 때문이다. 그러나 최근 제정된 영상/비디오 압축의 국제 표준에서는 압축의 기본기술로 웨이블릿 변환을 사용함에 따라 웨이블릿 변환 영역에서의 워터마킹 기법이 주목을 받고 있다.

주파수 영역을 기반으로 한 대다수의 워터마킹 방법은 인간의 시각에 민감하게 반응해 현저한 화질의 열화를 초래하는 저주파 영역은 워터마크 삽입 대상에서 제외시키고 중간 주파수 영역을 대상으로 하는 연구가 주로 이루어져 왔다⁴⁻⁶⁾. 이들 방법 중에는 워터마크를 Descending 순서로 재배열한 후

* 부경대학교 정보통신공학과 ** 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부(^o: 교신저자)

논문번호 : KICS2006-07-303, 접수일자 : 2006년 7월 10일, 최종논문접수일자 : 2006년 12월 28일

웨이블릿 중간 주파수 영역에 삽입하는 방법^[4], 웨이블릿 중간 주파수 영역에 서로 다른 가중치를 설정하여 워터마크를 삽입하는 방법^[5], 워터마크에 Arnold 변환을 진행한 후 웨이블릿 변환 후의 중간 주파수 영역에 단순 삽입하는 방법^[6] 등이 있다. 그러나 이러한 방법들은 외부공격에 의해 원 신호와의 간섭현상으로 인해 신호 대 잡음비(SNR)가 낮아지는 문제점을 갖고 있다. 본 논문에서는 저주파영역에 워터마크를 삽입하면서도 심한 화질 열화가 일어나지 않고, 중간 주파수영역을 워터마크의 삽입 공간으로 하는 기존 방법보다도 워터마크의 강인성을 보장하는 방법을 제안한다. 본 방법은 워터마크를 삽입 할 때는 Arnold변환을 하여 워터마크의 상관성을 제거하고 웨이블릿 변환 후 선형계수확장을 적용하여 워터마크를 삽입한다. 워터마크의 추출할 때는 기존의 방법과 달리 F norm 함수를 적용하여 추출된 워터마크와 원 워터마크의 유사도를 비교한다. 실험 결과 본 논문에서 제안한 방법이 화질열화가 적고, 각종 공격과 영상처리 후에도 강인성을 가짐을 확인할 수 있었다.

II. 제안한 워터마킹 방법

2.1 워터마크의 삽입과정

본 논문에서 제안한 워터마크의 삽입과정은 다음과 같이 4단계로 진행된다.

2.1.1 Arnold 변환

워터마크의 공간적 상관성을 제거하고 워터마크의 안정성을 높이기 위하여 워터마크에 대하여 Arnold변환[7]을 한다.

워터마크를 $N \times N$ 크기라고 가정하면 Arnold 변환은 식(1)과 같다.

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ k & k+1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \pmod{N} \quad (1)$$

여기서 $x, y \in \{0, 1, 2, \dots, N-1\}$ 이다. 본 논문에서는 $k=1$ 로 설정한다. k 의 값에 따라 화소가 재배열되어 공간적 상관성이 제거된다.

그림 1은 원 워터마크와 Arnold변환 후의 워터마크를 나타내고 있다.

2.1.2 웨이블릿 변환

본 논문에서는 원영상에 Haar 웨이블릿 변환을 한 단계(1레벨) 수행하여 그림 2와 같이 LL1, HL1, LH1, HH1 네 개 대역을 얻는다.



그림 1. 원 워터마크와 Arnold 변환 후 워터마크
Fig. 1 Original watermark and Arnold transformed watermark

LL1	LH1
HL1	HH1

그림 2. 1레벨 웨이블릿 변환
Fig. 2 1 Level Wavelet Transform

2.1.3 선형계수확장

워터마킹의 알고리즘에서는 선형비트확장을 이용하여 워터마크를 삽입할 때 워터마크의 크기가 워터마크의 삽입공간보다 작은 문제를 해결한다. 적용한 선형비트확장은 식(2)과 같다.

$$w'(i, j) = (2^N - 1) \left(\frac{w(i, j) - w_{\min}}{w_{\max} - w_{\min}} \right) \quad (2)$$

여기서 $w(i, j)$ 는 Arnold변환 후의 워터마크이고 $w'(i, j)$ 은 워터마크의 화소값을 선형N비트 확장한 결과 값이고, w_{\max} 과 w_{\min} 은 워터마크의 화소값 중에서 최대값과 최소값을 나타낸다. 만약 $N \times N$ 크기에 n bit/pixel 그레이영상을 워터마크로 선택하면 $w_{\max} = 2^n - 1$ 이고 $w_{\min} = 0$ 이므로 식(2)은 식(3)과 같이 확장된다.

$$\begin{aligned} w'(i, j) &= \frac{(2^N - 1)}{(2^n - 1)} w(i, j) = \frac{(2^{nK} - 1)}{(2^n - 1)} w(i, j) \quad (3) \\ &= \left[\sum_{k=1}^K 2^{n(k-1)} \right] \cdot w(i, j), \quad K는 정수 \end{aligned}$$

식(3)을 이용하여 8bit/pixel의 워터마크를 32bit/pixel로 비트확장하면 확장된 비트열은 4 개의 8bit/열의 반복으로 구성된다. 이러한 원리를 이용하여 워터마크를 선형 32비트 확장을 하고 그림 3과 같이

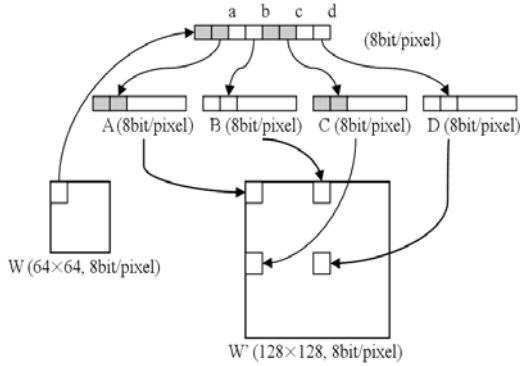


그림 3. 선형비트확장 과정
Fig. 3 Linear bit-expansion process

배열하면 새로운 공간 $w'(i, j)$ 가 형성된다. 선형비트 확장은 데이터열의 순서를 반복되는 비트열로 재배열하기 때문에 외부 공격에 인해 에러가 발생하더라도 여러 개의 반복된 비트열로부터 손실된 비트열을 복구할 수 있기 때문에 워터마크의 강인성을 높일 수 있다.

2.1.4 워터마크의 삽입

본 논문에서는 먼저 워터마크의 안정성을 위하여 64x64 사이즈의 워터마크에 대하여 Arnold 변환을 수행한 후, 선형계수확장을 거쳐 64x64 크기의 워터마크를 128x128 크기로 확대하여 웨이블릿 저주파 대역에 삽입한다. 본 방법에서는 워터마크 된 영상의 열화를 최소화하기 위하여 식(4)을 이용하여 워터마크를 삽입한다. α 는 워터마크의 삽입강도를 결정하는 파라미터이고 시각적으로 화질변화를 인지할 수 없는 범위로 설정한다. 식(4)에 의해 얻어진 결과를 웨이블릿 역 변환하면 그림 4와 같이 워터

마크가 삽입된 영상을 얻을 수 있다.

$$I'(i, j) = I_{wave}(i, j) + \alpha \cdot w'(i, j) \quad (4)$$

여기서 $I'(i, j)$ 는 워터마크 된 영상, $I_{wave}(i, j)$ 는 웨이블릿 변환 후의 영상, $w'(i, j)$ 는 Arnold 변환을 한 다음 선형계수확장을 한 워터마크이다.

2.2 워터마크의 추출과정 및 검증

워터마크의 추출은 원영상을 필요로 한다. 먼저 워터마크가 삽입된 영상과 원영상을 웨이블릿 변환하여 LL계수를 얻은 다음 선형계수확장에 의해 재배치된 네 곳을 식 (5)을 이용하여 화소값(A₁, A₂, A₃, A₄)을 얻는다.

$$W_{INT}(x, y) = \frac{Y_{LL}(x, y) - X_{LL}(x, y)}{\alpha} \quad (5)$$

여기서 $X_{LL}(x, y)$ 는 워터마크 된 영상의 LL계수이고 $Y_{LL}(x, y)$ 는 원영상의 LL 계수이다. 추출된 A₁, A₂, A₃, A₄는 공격에 의해 변형될 수 있기 때문에 워터마크 화소의 선택은 식(6)을 이용한다. 먼저 추출된 A₁, A₂, A₃, A₄의 평균편차 D_i를 구한다.

$$D_i = |A_i - M|, \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (6)$$

여기서 M은 A₁, A₂, A₃, A₄의 평균값을 나타낸다. 그 후 식(6)을 이용하여 표준편차 σ 를 계산한다. 표준편차 σ 는 식(7)과 같다.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 D_i^2} \quad (7)$$

정규분포일 경우 표준편차는 일반적으로 M- σ 과 M+ σ 값의 68.27% 사이에 포함된다. 추출된 A₁, A₂, A₃, A₄의 D_i가 68.27% 보다 적다면 최소 평균편차 값 D_i를 갖는 화소값이 최적 워터마크로 선택된다. 만약 D_i가 68.27% 보다 클 경우에 공격에 의해 손실이 큰 것으로 판단하고 그 화소값을 제외한 나머지 화소값으로 다시 평균 편차를 구해서 최소 평균 편차 값을 갖는 화소값을 워터마크로 선택한다. 이렇게 추출한 워터마크를 Arnold 변환을 거쳐 최종 워터마크를 재구성한다.

추출해낸 워터마크의 유사도 검증은 기존의 정규화 된 상관계수방법이 아닌 F-노름(norm) 함수라는 개념을 도입하여 유사도를 측정한다. F-노름 함수로 유사도를 측정하는 방법은 식(8), 식(9)과 같다. 만

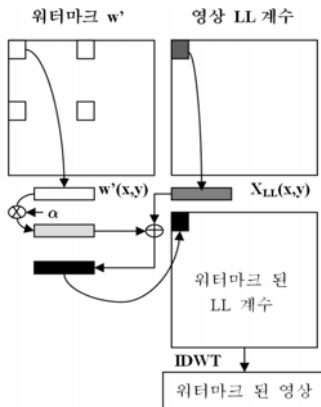


그림 4. 워터마크 삽입과정
Fig. 4. Watermark insertion process

약 A 를 $N \times N$ 크기의 영상이라고 가정하면, 즉

$$A = \begin{bmatrix} a_{0,0} & a_{0,1} & \dots & a_{0,n-1} \\ a_{1,0} & a_{1,1} & \dots & a_{1,n-1} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n-1,0} & a_{n-1,1} & \dots & a_{n-1,n-1} \end{bmatrix} \quad (8)$$

A 의 F-노름 함수는 식(9)과 같다.

$$\|A\|_F = \sqrt{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} a_{i,j}^2} \quad (9)$$

그중에서 $A_i (i=1,2,\dots,n)$ 는 A 의 부분집합이라고 하면 식(10)과 같다.

$$A_i = \begin{bmatrix} a_{0,0} & a_{0,1} & \dots & a_{0,i-1} \\ a_{1,0} & a_{1,1} & \dots & a_{1,i-1} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{i-1,0} & a_{i-1,1} & \dots & a_{i-1,i-1} \end{bmatrix} \quad (10)$$

이때 ΔA_i 는 식(11)과 같다.

$$\Delta A_i = \|A_i\|_F - \|A_{i-1}\|_F, \|A_0\|_F = 0 \quad (11)$$

ΔA_i 는 행렬 A_i 에서 첫 번째 행과 열에 분포된 에너지를 나타낸다. 이때 영상 A 와 영상 B 사이의 유사도[SIM]를 식(12)과 같이 정의한다.

$$SIM = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{\Delta A_i \Delta B_i}}{\|A\|_F} \quad (12)$$

영상의 행과 열의 화소값에 대한 상관성을 비교해, 원 워터마크와 추출해낸 워터마크의 유사도를 측정한다. F-노름 함수를 이용한 유사도 검증 방법은 영상의 대각선 방향의 화소값을 중심으로 그 값을 포함한 행과 열에 분포된 화소의 에너지에 대한 상관도를 비교하여 유사도를 측정하기 때문에 기존의 상관계수방법보다 측정능력이 뛰어나다.

III. 실험 결과

본 논문에서는 제안한 알고리즘의 성능을 확인하기 위하여 256 그레이 레벨을 갖는 256×256 크기의 영상들을 사용하여 실험을 하였다. 워터마크는 64×64 크기의 256 그레이 레벨을 가지는 영상을 사용하였고 원영상에 Haar 웨이블릿 변환을 한 단계 진행한 후 선형계수확장 된 워터마크를 저주파 영역에 삽입한다. 원영상과 워터마크 된 영상, 그리

고 공격을 가한 후의 영상의 유사도를 객관적으로 비교하기 위해 PSNR(Peak Signal to noise ratio)을 도입한다. PSNR은 식(13)과 같다.

$$PSNR = 20 \log \left(\frac{255}{RMSE} \right) [dB] \quad (13)$$

여기서 $RMSE$ 는 식(14)과 같다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N^2} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} [F(i,j) - \hat{F}(i,j)]^2} \quad (14)$$

$F(i,j)$ 및 $\hat{F}(i,j)$ 는 원영상 및 재구성된 영상의 픽셀 값을 나타내고, N 은 영상크기를 나타낸다. PSNR은 원 신호와 잡음신호의 비로서 PSNR이 클수록 신호의 왜곡이 작다는 것은 의미하는데 PSNR > 35 dB 이면 일반적으로 시각적인 화질 열화를 느낄 수가 없다.

그림 5는 제안한 알고리즘을 이용하여 256그레이 레벨을 가지는 Baboon 영상에 워터마크를 삽입한 것을 나타내고 있다. 워터마크 된 영상에서 시각적 손실은 거의 없음을 알 수 있다. 또한 표 1은 다양한 영상을 가지고 실험한 결과를 나타내고 있는데 워터마크 된 영상의 PSNR은 모두가 39dB 이상으로 화질 열화에 대해 우수한 충실도를 가짐을 알 수 있다.

그림 6은 가우시안 잡음, 미디언 필터, 블러링(Blurring) 등 영상처리 공격을 가한 영상을 나타내고 그림 7은 JPEG 손실 압축을 진행한 영상들을 나타내고 있다.

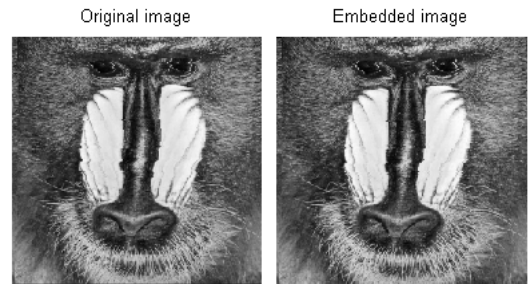


그림 5. 원영상과 워터마크 된 영상
Fig. 5 Original image and Embedded image

표 1. 워터마크 된 영상의 PSNR
Table. 1 PSNR for Watermarking Images

실험영상 및 워터마크 된 영상의 PSNR(dB)				
Barbara	Baboon	Lena	Girl	Peppers
41.15dB	41.02dB	39.92dB	43.13dB	40.20dB

표 2는 가우시안 잡음, 블러링, 샤프닝, 미디언 필터 및 JPEG 압축 공격한 영상의 워터마킹 실험 결과를 나타내고 있다. 잡음 첨가 실험에서 가우시안 노이즈는 4단계로 첨가하였고 블러링과 같은 영상처리 공격은 3×3 크기의 필터를 적용하였다. 실험결과로부터 제안한 방법은 90%~99% 정도의 유사도를 가져 JPEG 압축공격 및 일반적인 영상처리 공격에 대해서 강인성을 가짐을 확인할 수 있었다.

표 3에 Hsieh방법[4], Lee방법[5] 그리고 Huang 방법[6]과 제안한 방법의 샤프닝과 블러링 공격에 대한 유사도 비교를 나타낸다. 제안한 방법이 Hsieh방법, Lee방법, Huang방법보다 2.5%~32% 정도 높아 영상처리 공격에 대해 강인성 측면에서 매우 우수함을 알 수 있다.

그림 8에 워터마킹 된 영상과 공격당한 영상에서 추출한 워터마크를 나타낸다. 왼쪽 영상은 워터마크 된 영상과 공격당한 영상을 나타내고 오른쪽은 추출해낸 워터마크를 나타내고 있다. 공격을 당한 영상의 품질은 현격히 떨어졌으나 워터마크는 양호하게 추출되었다.

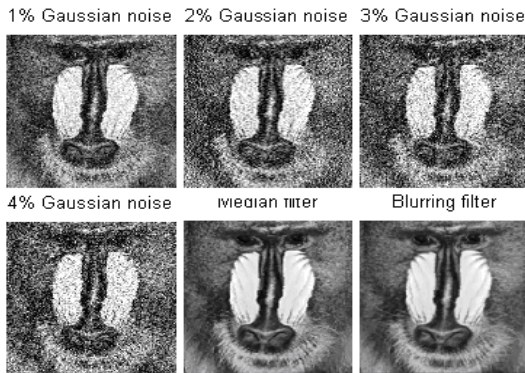


그림 6. 공격을 가한 영상
Fig. 6 Image from Attacks

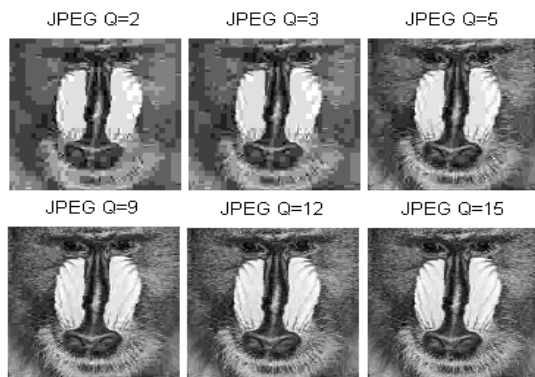


그림 7. JPEG 압축을 진행한 영상
Fig. 7 Image from JPEG Compression

그림 9에 Baboon 영상에 대해 JPEG 압축정도에 따른 워터마크 검출 유사도를 제안한 방법과 Huang 방법[6]을 그래프로 나타낸다. 제안한 방법이 Huang 방법보다 유사도가 2% 정도 높게 나타나 제안한 방법이 JPEG 압축공격에 대해 강인함을 확인할 수 있다.

표 2. 실험 결과
Table. 2 Experimental Results

강인성 실험			실험영상	
			Barbara	Baboon
Gaussian Noise	1%	PSNR (dB)	35.10 dB	34.72 dB
		SIM (%)	0.9891	0.9860
	2%	PSNR (dB)	33.56 dB	33.45 dB
		SIM (%)	0.9653	0.9642
	3%	PSNR (dB)	31.41 dB	31.30 dB
		SIM (%)	0.9528	0.9422
	4%	PSNR (dB)	30.19 dB	30.11 dB
		SIM (%)	0.9175	0.9137
Blurring	3 by 3	PSNR (dB)	25.01 dB	22.59 dB
		SIM (%)	0.9546	0.9351
Sharpening	3 by 3	PSNR (dB)	20.27 dB	19.86 dB
		SIM (%)	0.9017	0.9427
Median Filter	3 by 3	PSNR (dB)	23.44 dB	23.19 dB
		SIM (%)	0.9431	0.9427
JPEG Compression	Quality Q=2	PSNR (dB)	20.15 dB	19.88 dB
		SIM (%)	0.9263	0.9121
	Quality Q=3	PSNR (dB)	20.43 dB	20.14 dB
		SIM (%)	0.9504	0.9323
	Quality Q=5	PSNR (dB)	21.47 dB	21.26 dB
		SIM (%)	0.9653	0.9582
	Quality Q=9	PSNR (dB)	22.83 dB	22.59 dB
		SIM (%)	0.9809	0.9853
	Quality Q=12	PSNR (dB)	23.52 dB	23.19 dB
		SIM (%)	0.9820	0.9862
	Quality Q=15	PSNR (dB)	24.16 dB	23.67 dB
		SIM (%)	0.9847	0.9879

표 3. 영상처리 공격에 대한 유사도 비교
Table. 3 The Comparison of SIM for Image processing attacks

	Baboon	Sharpening	Blurring
Hsieh SIM(%)		0.910	0.885
Lee SIM(%)		0.671	0.615
Huang SIM(%)		0.927	0.910
제안방법 SIM(%)		0.941	0.935

IV. 결론

본 논문에서는 선형계수확장 기반의 새로운 웨이블릿 워터마킹 방법을 제안하였다. 워터마크의 안정성을 높이기 위하여 먼저 워터마크에 대하여 Arnold변환을 하고 원영상에 웨이블릿 변환을 한다. 다음 선형계수확장을 적용하여 워터마크를 삽입하려는 영역만큼 확대하여 일정한 삽입강도로 워터마크를 삽입한다. 워터마크추출 시에 기존의 정규화 된

상관계수를 이용하는 방법과 달리 F-노름 함수를 사용하여 워터마크의 유사도를 측정하였다. 실험결

과 워터마킹 된 영상은 선형계수확장을 이용하여 4개의 똑같은 워터마크를 웨이블릿 저주파 영역에 삽입하였기 때문에 우수한 화질(PSNR>39dB)을 유지하면서 외부공격에 대한 강인성이 하나의 워터마크를 저주파 영역에 삽입하는 방법보다 향상됨을 확인하였다. 또한 F-노름 함수를 이용하므로 상관계수를 이용하는 방법보다 정확하게 유사도를 측정할 수 있었다. 본 방법은 콘텐츠인증, 복사방지, 거래추적 등에 응용될 수 있을 것으로 사료된다.

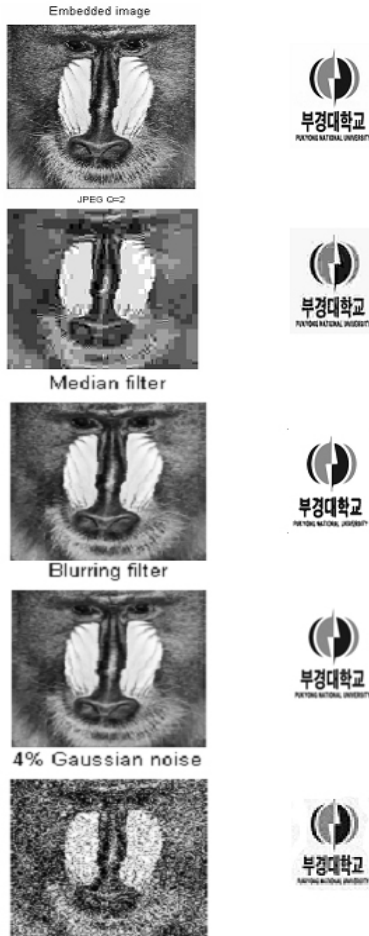


그림 8. (a) 공격을 가한 영상 (b) 추출한 워터마크
Fig.8 (a) Attacked image (b) Extracted watermark

참 고 문 헌

- [1] J. S. Pan, H. C. Huang and L. C. Jain, Intelligent Watermarking Techniques, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2004.
- [2] W. C. Chu, "DCT- Based Image Watermarking Using Subsampling," IEEE Trans. on Multimedia, Vol. 5, No. 1, pp. 34-38, 2003.
- [3] M. A. Suhail and M. S. Obaidat, "Digital Watermarking-Based DCT and JPEG Model," IEEE Trans. on Instrumentation and Mesurement, Vol. 52, No.5, pp. 1640-1647, 2003.
- [4] M. S. Hsieh, D. C. Tseng, and Y. H. Huang, "Hiding Digital watermarks using Multiresolution Wavelet Transform," IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 48, No. 5, pp. 875-882, 2001.
- [5] K. H. Lee, Y. H. Kim and T. H. Yi, "A Robust pattern Digital Watermarking Method using Wavelet Transform," Journal of Korea Multimedia Society, Vol. 7, No. 1, pp. 98-105, 2004.
- [6] Jianyong Huang and Changsheng Yang, "Image Digital Watermarking Algorithm Using Multiresolution Wavelet Transform," Proc. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Hague, The Netherlands, pp. 2977-2982, 2004.
- [7] M. Arnold, "Audio Watermarking: Features, Applications and Algorithms," Proc. International Conference on Multimedia and Expo, New York, USA, Vol. 2, pp. 1013-1016, 2000.

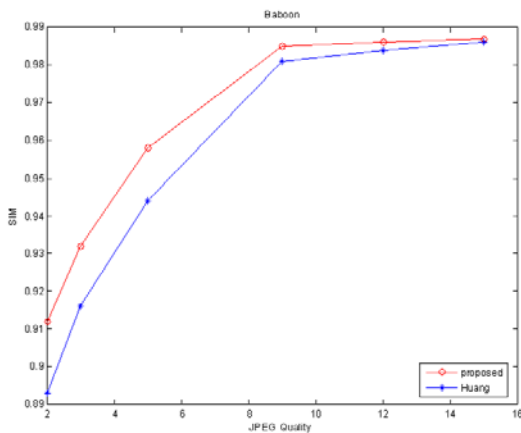


그림 9. JPEG 공격에 대한 유사도 비교
Fig. 9 Robustness from JPEG

박 영 일 (Yong-Ri Piao)

준회원



2003년 8월 JiLin University 통
신공학과, 공학사

2005년 8월 부경대학교 정보통
신공학과, 공학석사

2006년 9월~현재 부경대학교 정
보통신공학과, 박사과정

<관심분야> 영상처리, 워터마킹,

Cellular automata.

김 석 태 (Seok-Tae Kim)

정회원



1983년 2월 광운대학교 전자공
학과, 공학사

1988년 3월 Kyoto Institute of
Technology, 전자공학과, 공학
석사

1991년 3월 Osaka대학교 통신공
학과, 공학박사

1999년 Univ. of washington, 방문교수

1991년~현재 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부
재직, 교수

<관심분야> 영상처리, 패턴인식, Cellular automata.