

웨이브릿 변환영역에서 지각적 동조특성을 갖는 적응적 디지털 워터마킹

김현천[†] · 장봉주^{**} · 서용수^{***} · 김종진[†]

요 약

본 논문에서는 보다 강인하면서 화질의 열화를 최소화할 수 있는 워터마크의 은닉을 위해 9/7 쌍직교 웨이브릿 변환영역에서의 지각적 동조 (tuned) 특성과 정상상태 일반화 가우시안 (stationary generalized Gaussian) 모델에서의 NVF (noise visibility function)를 적용하는 방법을 제안한다. 이 방법은 웨이브릿 영역에서 각 부대역에 대한 문턱값을 결정한 다음 지각적 중요 계수를 찾은 후 이 지각적 중요계수에만 적응적인 삽입강도를 갖는 워터마크를 은닉한다. 워터마크는 3레벨로 분해된 웨이브릿 변환영역에서 영상의 인간시각 시스템에서 계산된 JND 값과 통계적 다해상도 특성을 기반으로 정상상태 일반화 가우시안 모델에 따라 각 계수들의 값에 따라 은닉된다. 실험 결과 제안한 방법에서 NVF를 이용함으로써 예지나 텍스처 영역에 더 강하게 삽입할 수 있고 각 부대역에 대한 지각특성을 이용할 수 있어 우수한 비가시성과 강인성을 확인하였다.

Adaptive Digital Watermarking with Perceptually Tuned Characteristic Based on Wavelet Transform

Hyun-Chun Kim[†], Bong-Ju Jang^{**}, Yong-Su Seo^{***} and Jong-Jin Kim[†]

ABSTRACT

In this paper, we propose the image retrieval method based on object regions using bidirectional round filter in the wavelet transform domain. A conventional method that includes unnecessary background information reduce retrieval efficiency, because of the extraction of feature vectors from the whole region of subband. On proposed method, it extracts accurate feature vectors and keep certainly retrieval efficiency in case of reduced feature vectors, because of the extraction of feature vectors from the only extracted object region. Furthermore, it improve retrieval efficiency by removing unnecessary background information. Consequently, the retrieval efficiency is improved with 2.5%~5.5% values, which have a little chances to vary according to characteristics of image.

Key words: 디지털 워터마킹, 웨이브릿 변환, 지각적 동조특성, NVF 함수

1. 서 론

오늘날 컴퓨터의 발전은 하루가 다르게 그 활용범위를 넓혀가고 있다. 그에 따라 일상생활의 거의 모

든 것들이 그러한 컴퓨터와 쉽게 연동할 수 있는 디지털이란 개념으로 대체되어가고 있다. 게다가 최근 초고속 네트워크의 발달은 디지털매체의 방대한 데이터 용량과 저장, 전송은 속도와 거리에 제약을 받지 않을 만큼 자유로워 졌다. 그것은 또한 디지털 정보의 최대의 장점인 손실 없는 전송과 복제를 가능하게 했는데, 그러한 장점은 무분별한 디지털 정보의 무단 복제의 남용으로 인해 저작권의 침해라는 큰 문제점을 낳았다. 이런 디지털 오디오, 사운드, 영상,

이 논문은 2003년도 Brain Busan 21사업에 의하여 지원되었음.

접수일 : 2003년 4월 14일, 완료일 : 2003년 7월 7일

[†] 정희원, 부경대학교 전자정보통신공학부

^{**} 준희원, 부산외국어대학교 디지털정보공학부

^{***} 동서대학교 정보시스템공학부

동영상 등의 디지털 콘텐츠의 불법 복제 및 무분별한 유통에 대한 해결책으로 암호화 기법과 디지털 워터마킹 등에 대한 연구가 이루어지고 있다. 유일의 암호화 기법만으로는 라이선스를 얻은 합법적인 사용자로부터의 무단 배포나 불법복제 등의 경우에는 적절하지 못하다. 또한 불법 사용자와 저작권자의 소유권 분쟁이 있을 경우 기존의 암호화만으로는 소유권 분쟁을 해결하지 못한다. 따라서 이러한 문제의 해결책으로서 디지털 콘텐츠 내에 의미 있는 잠음 부호 혹은 정보비트인 워터마크를 사용자의 지각으로 인지할 수 없는 형태로 은닉하는 방법이 디지털 워터마킹 기법이다. 이러한 디지털 워터마킹에서 가장 중요하게 필요로 하는 요구조건이 있는데 이는 투명성 (transparency) 혹은 비가시성 (invisibility)과 강인성 (robustness)을 들 수 있다. 이들 특성은 상호 trade-off 관계에 있다 하겠는데 이들 사이에서의 최적의 알고리즘을 구현하는 것이 중요하다[1]. 영상의 경우 영상에 삽입된 워터마크는 저장, 전송 등의 일반적인 데이터 처리는 물론 필터링, 압축코딩, 잡음 첨가, 기하학적 변환 등의 워터마크를 제거하려는 의도적 혹은 비의도적인 노력에 대해서 강인성을 가져야 한다. 그리고 투명성은 삽입된 워터마크로 인해 원 콘텐츠의 질을 변화시키지 않고 은닉되어야 한다. 원 영상과 같은 화질의 영상을 제시하여 사용자가 워터마크된 영상에 대해 워터마크의 존재 여부를 알 수 없어야 한다.

Lumini 등[2]은 모든 영상의 주파수나 통계적 특성이 다른 것을 이용하여 삽입강도를 영상 특성에 따라 다르게 하여 삽입하는 방법을 제시하였다. 4레벨로 DWT하여 분해된 영상에 낮은 해상도의 부대역들에 대하여 계수들의 평균값보다 큰 크기를 갖는 계수들에 대하여, 원 영상에 대응되는 위치의 국부 분산 (local variance)을 구한 후 분산값이 문턱값보다 큰 개수에 따라 다른 값을 사용한다. 이는 영상에 적응적이지만 인간 시각에 미치는 영향을 고려하지 않고 한 영상 내에는 동일한 삽입 강도를 사용해서 비가시성이 떨어진다. Dugard 등[3]은 DWT를 통하여 3레벨로 분해된 부대역들 중 기저 대역을 제외한 모든 고주파 부대역에 특정 문턱값보다 큰 계수들을 선택하여 이 계수들의 절대값에 비례하는 워터마크 삽입 방법을 제안하였다. 이 방법은 워터마크의 삽입을 위해 선택되는 계수들의 강도 (strength)를 동일

하게 하여 삽입된 영상에 화질의 열화를 초래한다. Voloshynovskiy 등[4]은 내용 기반 적응 디지털 워터마킹을 구현하기 위하여 통계적 모델링 기법을 제안하였다. Podilchuk 등[5]은 인간 시각 모델 (human visual model)을 이용한 방법을 제시하였다. DWT 기반에서 효과적인 영상압축을 위한 JND (just noticeable difference)값을 문턱값으로 사용하고 이보다 큰 계수들에 대해서만 삽입한다. 각 부대역의 방향성과 레벨에 대한 JND값은 그 부대역의 삽입강도로 사용된다. 이 방법은 같은 부대역 내의 웨이브릿 계수는 모두 같은 삽입강도로 삽입되므로, 계수가 아닌 부대역이 인간 시각에 미치는 영향만 고려하였다. 따라서 이러한 방법들은 비가시성 및 강인성을 동시에 만족시키는 방법이 필요하다. 따라서 다해상도로 분해된 웨이브릿 계수들의 통계적 특성을 이용하여 계수의 특성에 맞는 삽입강도를 찾는 연구가 계속되고 있다. Kwon 등[6]은 멀티웨이브릿 변환영역에서 SSQ (successive subband quantization)와 비정상 상태 모델에 대한 지각특성을 갖는 워터마킹 기법을 제안하였다.

본 논문에서는 9/7 쌍직교 웨이브릿 변환영역에서 통계적 특성 및 지각적 동조모델을 적용한 워터마크 은닉방법을 제안한다. 지각적 중요 계수는 JND 문턱값을 이용해서 문턱값보다 큰 계수로 선택된다. 통계적 다해상도로 구해지는 정상상태 일반화 가우시안 모델에서의 NVF를 구해서 영상의 통계적 특성을 이용한다. 이는 국부 영상 특징을 갖게되어 에지나 텍스처 영역과 평탄 영역에 따른 적응적 척도로 사용될 수 있어 에지나 텍스처 영역을 구분하여 더 강하게 워터마크를 삽입할 수 있다. Stirmark benchmark 3.1에 근거한 실험 결과 제안한 방법의 NVF와 지각적 동조특성을 적용한 경우 비가시성을 유지하면서 강인성의 우수함을 확인하였다.

2. 제안한 방법의 워터마크 은닉

2.1 지각적 중요계수의 선택

워터마크는 9/7 쌍직교 웨이브릿을 이용해 3레벨로 분해한 후 분해된 웨이브릿 계수들 중에서, 각 부대역에 Watson 등[8]에서 영상 압축시의 지각적 양자화와 적응적 비트할당을 위해 사용했던 값을 표 1의 문턱값을 이용해 선택된 지각적 중요계수 (PSC,

perceptually significant coefficient)에만 은닉되게 된다. 그림 1 및 그림 2는 Lena 영상과 Airplane 영상에 대해 표 1을 문턱값으로 하여 선택된 PSC를 나타낸 그림이다.

표 1. PSC선택을 위한 문턱값

orientation \ level	1	2	3
HL	12.707	14.685	23.028
LH	12.707	14.685	23.028
HH	19.54	28.408	58.756



그림 1. Lena 영상에 대한 지각적 중요계수

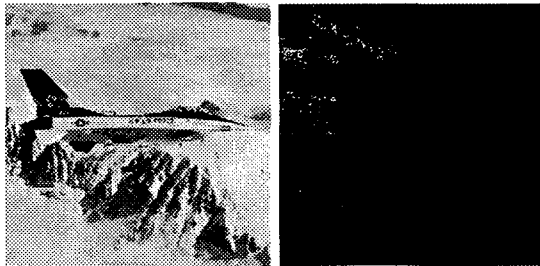


그림 2. Airplane 영상에 대한 지각적 중요계수

2.2 정상상태 일반화 가우시안 모델에서의 NVF

본 논문에서는 웨이브릿 변환영역에서 국부 영상 특성을 갖는 NVF에 따라 선택된 지각적 중요 계수의 통계적 특성과 워터마크의 통계적 추정에 의해 추출을 용이하게 하기 위한 적응적 워터마크 은닉기법을 제안한다. 이 방법은 최적의 NVF를 결정하기 위하여 정상상태 일반화 가우시안 모델로 워터마크를 추정해서 분해된 웨이브릿 계수에 은닉하는 방법이다. 워터마크 삽입은 3 레벨 9/7 웨이브릿 영역 내에서 각 부대역의 평균 연산과 분산을 이용해서 에지와 텍스처에 따른 적응적 척도를 얻는다. 적응적 워

터마크 알고리즘을 갖는 모델은 워터마크를 에지와 텍스처 영역에 더욱 강하게 삽입할 수 있게 한다. 워터마크를 잡음으로 간주해서 워터마크와 영상의 통계적 특성에 따른 NVF를 계산한다. 정상상태 일반화 가우시안 모델을 갖는 NVF는 식 (1)과 같다.

$$NVF(i, j) = \frac{\omega(i, j)}{\omega(i, j) + \sigma_x^2(i, j)} \quad (1)$$

여기서 $\sigma^2(i, j)$ 는 영상의 분산을 나타내고 영상의 에지나 텍스처 영역에서는 이 값이 커지므로 NVF는 작아지게 된다. $w(i, j)$ 는 가중치를 나타내는 값들로서 식 (2)~(5)와 같이 계산한다.

$$w(i, j) = \gamma [\eta(\gamma)]^{-1} \frac{1}{\|a(i, j)\|^{2-\gamma}} \quad (2)$$

$$a(i, j) = \frac{I(i, j) - I(i, j)^*}{\sigma_x(i, j)} \quad (3)$$

$$\eta(\gamma) = \sqrt{\frac{\Gamma(\frac{3}{\gamma})}{\Gamma(\frac{1}{\gamma})}} \quad (4)$$

$$\Gamma(t) = \int_0^{INF} e^{-u} u^{t-1} du \quad (5)$$

또한 $w(i, j)$ 는 적응적 워터마크의 은닉을 위해 식 (5)와 같은 감마 함수를 이용하며, $I(i, j)^*$ 는 원영상 $I(i, j)$ 의 국부 평균을 의미한다. $\sigma_x(i, j)$ 는 국부 영상의 표준편차를 나타낸다. γ 는 형상계수로서 모멘트 정합 방법[7]에 의해서 계산된다. 일반적으로 형상계수는 $0.3 < \gamma < 1$ 의 범위에 있다. 그림 3은 제안한 적응적 워터마크 은닉모델의 블록도 이다.

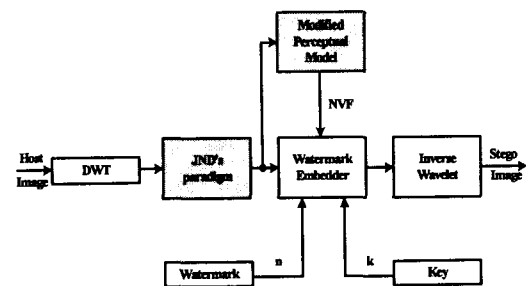


그림 3. 제안한 방법의 적응적 모델

3. 워터마크은닉을 위한 삽입강도의 선택

본 논문에서 제안한 워터마크의 삽입은 주파수 영

역에서 행하는 방법으로 쌍직교 웨이브릿을 사용한다. 따라서 영상을 3레벨로 분해한 다음 분해된 부대역들 중에 에너지가 집중된 최저주파 부대역은 화질의 열화를 고려하여 삽입에서 제외하고, 고주파 부대역들에 대해서만 Watson 등[8]이 영상 압축을 위해 제시한 정적 JND 모델을 사용하여 각 부대역에 대한 문턱값을 결정한다. 이 문턱값은 레벨과 방향성에 대한 각 부대역내의 지각적 중요계수를 판단하는데 사용된다. 식 (6)에서와 같은 방법으로 워터마크는 부가잡음 형태로 원 영상의 웨이브릿 계수에 삽입된다.

$$v' = v + \{(1 - NVF) S_{ET} + NVF \cdot S_F\} \cdot w_i \quad (6)$$

위 식 (6)에서 v 와 v' 는 각각 원 영상과 워터마크가 은닉된 영상을 나타내고, w_i 는 i.i.d. 가우시안 랜덤 분포를 갖는 시퀀스로 삽입되는 워터마크이다. NVF는 2절에서 수학적으로 계산된 값들을 사용한다. S_{ET} 는 에지와 텍스처 영역에서의 삽입 강도이고 S_F 는 영상의 평탄 영역에서의 삽입 강도이다. 본 논문에서는 각 부대역의 특성에 따라 계산된 NVF 값들을 이용하여 가중치를 부여한다. S_{ET} 는 Watson 등[8]에서 영상 압축시의 지각적 양자화와 적응적 비트할당을 위해 사용했던 값을 적용하였으며 S_F 는 Safranek 등[9]에서 영상 압축을 위해 적용했던 적응적 지각특성을 나타내는 동조모델의 값을 사용하였다. 다음 그림 4 및 그림 5에 각 부대역에 적용한 값을 나타내었다. 이 방법은 워터마크의 강도를 각 부대역의 특징에 맞게 삽입하여 화질의 열화를 최소화하면서 강인성을 증가시키려는 목적으로 제안하였다.

	LH3 12.707	HL3 12.707	LH1 8.33
	HL3 12.707	HH3 19.54	LH1 8.33
	HL2 14.986	HH2 23.408	LH1 23.028
	HL1 23.028		HH1 58.756

그림 4. 에지와 텍스처 영역의 삽입강도

	LH3 0.5		LH1 8.33
HL3 0.5	HH3 0.66		LH1 8.33
	HL2		LH1 8.33
	HL1 6.75		HH1 10.11

그림 5. 평탄 영역의 삽입강도

4. 실험결과 및 고찰

본 논문에서 제안한 방법의 특징들을 비교하기 위해 주된 실험 영상은 512×512 화소크기를 갖는 LENA와 AIRPLANE 영상을 사용하였다. 먼저 9/7 쌍직교 웨이브릿 변환으로 영상을 3 레벨로 분해한다. 은닉되는 워터마크는 시드값 (seed number) 200을 갖는 i.i.d. 가우시안 분포의 단위분산, $N(0,1)$ 이다. 워터마크의 길이는 선택되는 지각적 중요 계수의 개수와 일대일 대응이다. 실험의 두 번째 단계로 각 부대역에 적응적 문턱값인 표 1을 이용해서 지각적 중요 계수를 찾는다. 그리고 다해상도로 분해된 계수들을 이용하여 II장 2절에 따라 통계적 방법으로 정상상태 일반화 가우시안 모델인 경우의 NVF를 계산한다. 선택된 PSC에 계산된 NVF와 삽입강도를 적용시켜 워터마크를 은닉한다. 워터마크를 제거하려는 여러 가지 공격은 Stirmark 벤치마크 3.1을 이용하였다.

그림 6은 본 논문에서 제안한 방법으로 워터마크를 은닉한 영상이고, 그림 7은 삽입된 워터마크를 나타내었다. 또한 그림 8에 워터마크가 삽입된 영상이 Stirmark 공격 후에도 화질의 열화가 없음을 보였다.

그림 9는 워터마크가 삽입된 후 공격 없이 추출한 워터마크의 유사도를 상관관계(CR, correlation response)를 이용해 나타낸 그림이다. 워터마크의 삽입 시 시드값 200th를 사용했기 때문에 200의 값에서 원래의 워터마크와 가장 큰 유사도(CR=74.30)를 보이는 것을 알 수 있었다.



PSNR = 40.41[dB] PSNR = 38.92[dB]

그림 6. LENA와 AIPLANE 영상에 대한 워터마크가 삽입된 영상

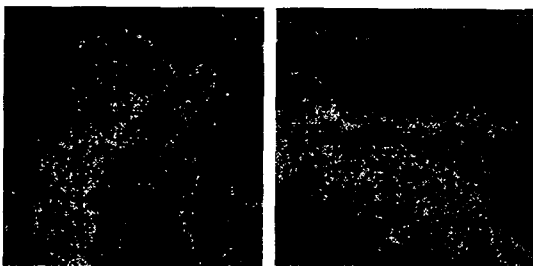


그림 7. 원 영상과 워터마크가 삽입된 영상의 차영상



그림 8. Stirmark random bend 공격후의 영상

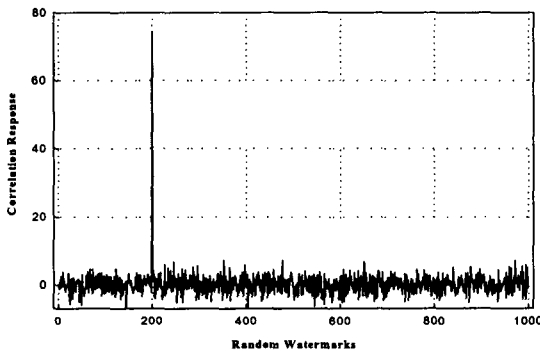


그림 9. 추출한 워터마크와 원래의 워터마크와의 유사도 (CR=74.30)

그림 10은 LENA 영상의 JPEG 압축률 변화에 따른 유사도를 나타낸 그림이다. 본 논문에서는 제안한 방법과 Podilchuk 등[5]이 제안한 방법을 비교하였다. 실험의 객관성을 위해 Podilchuk의 방법을 9/7 쌍직교 웨이브릿으로 3레벨로 분해하였다. 실험 결과 제안한 방법이 압축률 20%~60%에서 더 우수함을 확인할 수 있었다. 또한 워터마크 은닉의 비가시성을 나타내는 PSNR(peak signal noise ratio)에서 제안한 방법이 압축률을 높일수록 더 우수한 특성을 나타냄을 그림 11을 통해 확인할 수 있다. 이는 평탄 영역에서보다 에지나 텍스처 영역에 워터마크가 더 강하게 삽입되었기 때문이다.

아래 표 2 및 표 3은 각각 워터마크 된 LENA 영상과 AIRPLANE 영상의 일반적인 영상처리 후 워터마크를 추출한 결과이다. 제안한 방법이 비가시성은 비슷했지만 강인성에서 더 우수함을 알 수 있었다.

표 4는 워터마크가 삽입된 영상을 JPEG 압축률 80%로 압축 한 후 잘라내는 비율을 10%~90%로 변

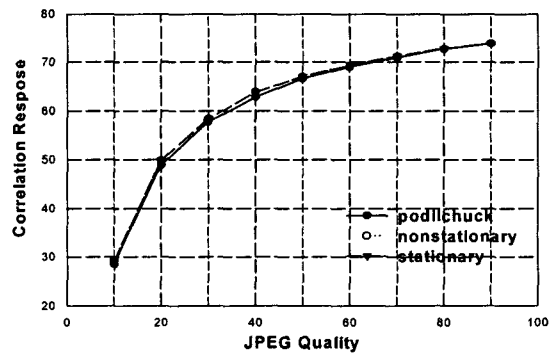


그림 10. LENA 영상의 JPEG 압축률 변화에 따른 유사도

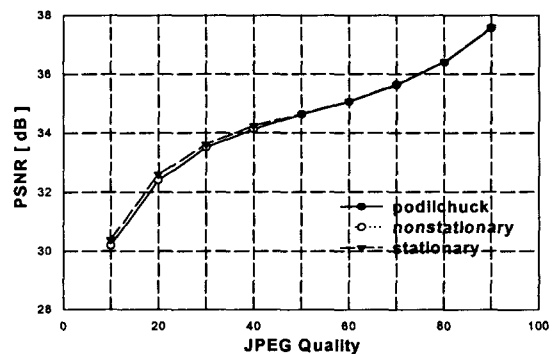


그림 11. LENA 영상의 JPEG 압축률에 따른 PSNR

표 2. LENA 영상의 일반적인 영상처리 비교

Attack	Stationary		Nonstationary		Podilchuck	
	PSNR[dB]	CR	PSNR[dB]	CR	PSNR[dB]	CR
Gaussian 필터링	33.32	45.08	33.31	45.12	33.34	43.24
Sharpening	21.50	43.63	21.50	43.60	21.50	41.45
Median 필터링	30.44	48.29	30.43	48.49	30.43	47.93
FMLR	32.28	29.77	32.07	29.81	32.07	27.50

표 3. AIRPLANE 영상의 일반적인 영상처리 비교

Attack	Stationary		Nonstationary		Podilchuck	
	PSNR[dB]	CR	PSNR[dB]	CR	PSNR[dB]	CR
Gaussian 필터링	32.51	41.39	32.51	41.44	32.49	41.03
Sharpening	21.69	49.30	21.69	49.29	21.69	48.65
Median 필터링	29.11	49.70	29.07	49.37	29.09	49.22
FMLR	32.25	44.29	32.25	44.31	32.25	43.99

표 4. JPEG Q-factor 80%에서의 Cropping 실험

Cropping Ratio	Stationary		Nonstationary		Podilchuck	
	PSNR[dB]	CR	PSNR[dB]	CR	PSNR[dB]	CR
10%	36.93	69.62	36.92	69.60	36.94	69.51
20%	37.42	66.66	37.41	66.64	37.43	66.54
30%	38.15	62.01	38.15	62.00	38.17	61.89
40%	39.02	56.97	39.03	56.97	39.05	56.87
50%	40.37	48.86	40.38	48.85	40.39	48.74
60%	42.24	39.86	42.27	39.84	42.27	39.72
70%	44.60	30.89	44.62	30.87	44.62	30.54
80%	47.99	21.17	47.97	21.15	47.99	21.15
90%	53.31	12.24	53.27	12.34	53.28	12.36

화시키면서 각각에 대한 PSNR과 유사도를 나타낸 표이다. 실험에서와 같이 기하학적 공격과 손실압축이 복합된 공격에서도 워터마크가 충분히 살아있음을 알 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 3레벨 웨이브릿 영역에서 NVF를 적용하여 각 부대역에 적응적인 삽입강도를 사용하는 워터마크 은닉 기법을 제안하였다. 워터마크가 삽입되는 웨이브릿 계수는 JND 특성에 따라 시각적 중요계수를 선택하였다. 최적의 NVF를 계산하기 위해 정상상태 일반화 가우시안 모델에 따라 통계적 다해상도 특성을 이용하였다. 실험 결과 여러 가지 가능한 공격에 대해 비가시성과 강인성을 높일 수 있었으며 제안한 방법의 우수성을 확인할 수 있었다. 실험 결과 제안한 방법에서 NVF를 이용함으로써 워

터마크가 에지나 텍스처 영역에서 더 강하게 삽입할 수 있었고, 각 부대역에 대한 지각적 동조특성을 이용하여 우수한 비가시성과 강인성을 확인하였다. 또한 제안한 방법이 Podilchuk 방법보다 압축률20%~60%에서 더 우수함을 확인할 수 있었으며, 워터마크 은닉의 비가시성을 나타내는 PSNR에서 제안한 방법이 압축률을 높일수록 더 우수한 특성을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] I. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shamon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," in *NEC Research Institute Tech Rep.* 95-10, 1995.
- [2] A. Lumini and D. Maio, "A Wavelet-based Image Watermarking Scheme," *Proc. IEEE*,

Special Issue on Intelligent Signal Processing, under review, 43 pages, 1997.

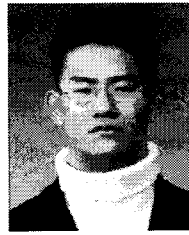
- [3] R. Dugad, K. Rarakonda, and N. Ahuja, "A NewWavelet-based scheme for WatermarkingImages," *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. 2, pp. 419-423, 1998.
- [4] S. Voloshynovskiy, A. Herrigel, N. Baumgaertner, and T. Pun, "A Stochastic Approach to Content Adaptive Digital Image Watermarking," *Third Information Hiding Workshop*, 1999.
- [5] C. I. Podilchuk and W. Zeng, "Image Adaptive Watermarking Using Visual Models," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 16, no. 4, pp.525-539, May 1997.
- [6] K. R. Kwon, S. G. Kwon, J. H. Nam and A. H. Tewfik, "Content Adaptive Watermark Embedding in the Multiwavelet Transform Using a Stochastic Image Model," in *IWDW*, pp. 293-304, Nov. 2002.
- [7] S. Mallat, "A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 11, No 7, pp 674-693, 1989.
- [8] A. B. Watson, G. Y. Yang, J. A. Solomon, and J. Villasenor, "Visual thresholds for Wavelet Quantization Error," *Proc. SPIE Human Vision and Electronic Imaging*, vol. 2657, pp. 381-392, 1996.
- [9] I. H. L. J. Karam, R. J. Safranek, "A Perceptually Tuned Embedded ZeroTree Image Coder," *ICIP*, 1997.



김 현 천

1988년 2월 부경대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1991년 8월 경성대학교 대학원 산업정보학과 졸업(공학 석사)
 1993년 10월~1997년 1월 KT 연구원

1997년 1월~현재 (주)온세통신
 1999년 8월 부경대학교 대학원 전자공학과 박사 수료
 관심분야 : 병렬분산처리, 멀티미디어 정보보호, 컴퓨터 통신망



장 봉 주

2002년 2월 부산외국어대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 2003년 현재 부산외국어대학교 전자컴퓨터공학과 석사과정학중

관심분야 : Digital Watermarking, Digital Signal Processing, and Multimedia Application, Computer Processing.



서 용 수

1975년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1982년 2월 동아대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1992년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
 1994년 3월~현재 동서대학교 정보시스템공학부 부교수.

관심 분야 : 영상처리, 패턴인식, Remote Sensing 등임.



김 종 진

1983년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1985년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)
 1995년 경북대학교대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
 1985년 3월~1987년 3월 한국통신 전임연구원

1987년 3월~현재 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 교수
 관심분야 : 병렬분산처리, 상호접속망, 컴퓨터구조

교신저자

김 종 진 608-737 부산시 남구 대연 3동 599-1 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부