

웨이브릿 변환 영역에서 스토캐스틱 영상 모델을 이용한 적응 디지털 워터마킹

김현천[†] · 권기룡^{**} · 김종진^{***}

요 약

본 논문에서는 쌍직교 웨이브릿 변환 영역에서 워터마크를 삽입할 수 있는 연속 부대역 양자화 및 스토캐스틱 다해상도 특성을 갖는 지각 모델을 제안한다. 적응 워터마킹 알고리즘을 갖는 지각모델은 보다 강인한 워터마크 은닉을 위한 방법으로 연속 부대역 양자화(successive subband quantization: SSQ)에 의해서 텍스처 및 에지 영역에 삽입한다. 워터마크 삽입은 국부 영상 특성을 갖는 NVF(noise visibility function)함수에 의해 계산된다. 이 방법은 워터마크가 노이즈 특성을 갖기 때문에 영상의 통계적 특성에 기초한 비정상상태(non-stationary state) 가우스 모델과 정상상태(stationary state) 일반화 가우스(generalized Gaussian: GG)모델을 이용한다. 정상상태 GG 모델의 삽입은 다해상도 내의 각 부대역별 분산과 형상계수(shape parameter)를 사용한다. 형상계수를 추정하기 위하여 모멘트 정합 방법을 사용한다. 비정상상태 가우스 모델은 각 부대역의 국부 평균 및 분산을 이용한다. 실험결과 우수한 비가시성과 강인성을 확인하였으며, 공격에 대한 실험으로 Stirmark 3.1 benchmark test를 수행하였다.

Adaptive Digital Watermarking using Stochastic Image Modeling Based on Wavelet Transform Domain

Hyun-Chun Kim[†], Ki-Ryong Kwon^{**} and Jong-Jin Kim^{***}

ABSTRACT

This paper presents perceptual model with a stochastic multiresolution characteristic that can be applied with watermark embedding in the biorthogonal wavelet domain. The perceptual model with adaptive watermarking algorithm embeds at the texture and edge region for more strongly embedded watermark by the SSQ. The watermark embedding is based on the computation of a NVF that has local image properties. This method uses non-stationary Gaussian and stationary Generalized Gaussian models because watermark has noise properties. The particularities of embedding in the stationary GG model use shape parameter and variance of each subband regions in multiresolution. To estimate the shape parameter, we use a moment matching method. Non-stationary Gaussian model uses the local mean and variance of each subband. The experiment results of simulation were found to be excellent invisibility and robustness. Experiments of such distortion are executed by Stirmark 3.1 benchmark test.

Key words: Digital Watermarking, Stochastic Image Modeling, Wavelet Transform

본 논문은 정보통신부 정보통신연구진흥원에서 지원하고 있는 정보통신기초연구지원사업의 연구결과입니다.

접수일 : 2002년 8월 21일, 완료일 : 2003년 2월 20일

[†] 정회원, 부경대학교 대학원 전자공학과 박사 수료

^{**} 중신회원, 부산외국어대학교 컴퓨터전자공학부 부교수

^{***} 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 교수

1. 서 론

멀티미디어 콘텐츠 보호 기술이 멀티미디어 및 인터넷 시대의 핵심 산업으로 자리 잡아가고 있다. 인터넷과 네트워크 등의 정보통신 기술의 발달은 편리한 만큼 개방적이고 분산된 네트워크와 비대면성이라는 특징을 지니고 있기 때문에 디지털 콘텐츠들을 불법복제 및 편집, 저장 및 분배가 용이하고, 해킹 등 각종 정보보호의 역기능에 취약한 구조를 갖고 있다. 따라서 이러한 디지털 콘텐츠들은 원본과 복사본의 구분이 불가능하여 불법복제 문제와 이를 방지하고자 하는 저작권 관리 및 보호 기술이 절실히 요구되고 있다. 그 대표적인 예로서 멀티미디어 디지털 콘텐츠의 저작권 보호(copyright protection)를 위하여 멀티미디어 보안(multimedia security) 및 정보은닉(information hiding) 기술인 디지털 워터마킹(digital watermarking) 알고리즘 개발이 활발히 연구되고 있다.

워터마킹은 인간이 지각적으로 인지 할 수 없는 의미 있는 표시인 워터마크를 디지털 미디어에 은닉한 후, 그 표시를 찾아냄으로써 저작자임을 입증할 수 있는 기술이다[1]. 따라서, 워터마크가 삽입된 미디어는 삽입된 워터마크로 인해 품질의 저하가 없어야하고, 추출할 때 완벽하게 워터마크를 추출 할 수 있어야 소유권을 주장 할 수 있다. 다시 말해 호스트 데이터의 품질의 열화를 피하기 위해 투명하게 은닉되어야 하고, 손실압축, 필터링, 기하학적 처리 등에 의해 변형된 미디어에 대해서도 은닉된 워터마크를 검출할 수 있어야 한다.

정보은닉을 위한 주체인 워터마크로서 대역확산기법은 랜덤신호를 이용한 워터마크로서 전 주파수 대역에 걸쳐서 평탄하게 분포하는 통계적 성질을 이용하여 대역확산(secure spread spectrum) 기법을 이용하는 것이다. 이는 주로 $N(0, 1)$ 의 Gaussian 분포인 표준정규분포의 성질을 이용하는 방법과 (0, 1)이거나 (-1, 1)의 균등분포(uniform distribution)를 갖는 의사랜덤신호(pseudo random signal)를 이용하는 방법이 있다. 이 신호를 워터마크로 사용하는 방법은 전 주파수 대역에 분포를 하므로 해커의 공격에 강인성이 우수하다. 그러나 워터마크의 세기에 따라 가시성이나 화질에 영향을 줄 수 있다. 또한 로고, 인장, 마크, 라벨 신호: 특정 마크나 로고를 워터마크로 사용하는 방법은 우선 이 신호를 2진 신호로 만든다. 그리고 원영상(cover image)에 삽입하는 방법으로 주로 사용하는 것

이 해싱(hashing) 방법과 permutation 방법을 사용한다. 랜덤신호를 워터마크로 사용하는 방법은 검출이론(detection theory)을 이용하여 단지 워터마크의 유무를 검출만을 하는 것인데 반하여 이 방법은 워터마크 추출 시 확실한 마크 영상이 추출됨으로써 소유권자나 공격의 유무를 쉽게 판별이 가능하다. 또한 로고의 이진영상을 원영상에 hashing 함으로써 영상의 화질에 대한 열화를 덜하나 공격을 당했을 때 강인성이 부족한 단점이 있다.

현재까지 진행되고 있는 워터마킹 알고리즘에 대한 연구는 크게 공간 영역(spatial domain)과 주파수 영역(frequency domain)에서 워터마크를 삽입하는 두 가지 방법으로 나뉜다.

Dautzenberg 및 Boland[2]는 영상에 워터마크를 삽입하기 위하여 모든 화소의 LSB(least significant bit)에 랜덤이진(0 혹은 1) 워터마크를 삽입하는 방법을 제시하였다. 그러나 이 방법은 JPEG 등과 같은 손실 압축 부호화에서 LSB의 무작위 변화로 인하여 화질의 열화가 심하다. 따라서 공간 영역에서의 워터마킹 방법은 알고리즘이 간단하여 빠른 수행 시간을 갖는 장점이 있지만, 일반적으로 주파수 영역에서의 워터마킹에 비하여 잡음이나 손실 부호화(lossy coding) 등에 약하다는 단점이 있다.

주파수 영역에서의 워터마킹의 방법으로 Tewfik 등[3]은 모든 DCT 블록에 대하여 동일한 주파수 특성의 계수를 갖는 시각모델을 제시하였다. 주파수 계수는 기저함수에만 의존하며 국부영상이나 다른 서브밴드에서는 적용되지 않는다. 이는 영상의 모든 DCT 값에 대하여 일정한 크기의 문턱값을 기반으로 모든 블록내에서 동일한 값으로 적용하였다. 주파수 영역에서의 대표적인 워터마킹 알고리즘은 1997년 Cox 등[4]이 제안한 대역확산방법이다. 이 방법은 먼저 전체 영상을 DCT(discrete cosine transform)를 이용하여 주파수 영역으로 변환한 후, DC 계수를 제외한 DCT 계수 중 크기가 큰 1000개의 계수에 대하여 워터마크를 삽입한다. 그러나 DCT 영역에서 큰 계수값은 대부분 저주파 성분이므로 화질의 열화가 발생할 수 있다. 또한 일반적으로 고주파 성분을 제거하는 저역 통과 필터, 손실 부호화 등에는 견고할 수 있지만 잡음, 영상 처리, 및 기하학적 변환 등과 같은 다양한 공격에 대하여 견고하지 못하다는 단점이 있다.

Podilchuk 등[5]은 임계 검출 문턱값(just noticeable difference, JND)을 이용한 시각 모델(per

ceptual model)을 갖는 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 이 방법에서는 DCT 및 DWT 변환하여 각 블록 및 부대역에 따라서 기저대역을 제외한 각 DCT 및 DWT 계수들에 대한 임계 검출 문턱값에 근거하여 워터마크를 적응적으로 조절하여 삽입한다. 삽입방법은 각 계수들에 대한 JND와 각 계수들을 비교하여, JND 보다 큰 계수들에 대하여서만 워터마크를 삽입한다. 그러나 이 방법은 워터마크 검출시 원영상이 필요하다. Kutter[6]는 인간 시각 시스템을 갖기 위하여 휘도 신호의 민감도에 비례한 마스킹 함수를 이용한 워터마킹 알고리즘을 제시하였다. 이 방법은 영상의 기하학적 변환(geometrical transform)이 있을 때에도 워터마크를 할 수 있는 방법이다. 그러나 이 방법은 웨이브릿 압축이나 디노이징 공격 등에 취약하다는 단점이 있다.

Raunaidh 등[7]은 Fourier Mellin 변환을 이용하여 회전, 스케일 및 이동에 불변인 워터마킹 시스템을 제안하였다. 이 방법은 푸리에 영역내에서 동일한 세기(strength)의 워터마크를 중간 주파수 대역에 삽입하는 것으로서 영상의 평탄영역에서 시각적 artifact가 발생하는 문제점이 있다. Voloshynovskiy 등[8]은 내용 적응 디지털 워터마크를 위해 통계적 모델링 기법을 제안하였다. 원 영상 및 워터마크의 통계적 모델을 이용하여 고전적 Bayesian 및 다해상도 paradigm에 따른 워터마크를 추정 및 검출하였다. Khamy 등[9]은 DWT 영역에서 Watson 모델을 이용한 JND 기법과 HVS 기법을 이용한 시각적 워터마크 삽입 기법을 제안하였다. 이 기법은 워터마크를 대역확산 기법이 아닌 작은 영상을 signature 데이터로 사용하여 비가시성은 우수하나 공격에 대한 강인성이 약하다.

기존의 워터마크 기법은 영상 특성에 대한 전체(global) 정보를 기반으로 하여 영상의 국부 특성에 관계없이 전체 원 영상에 대하여 동일한 워터마크 강도(strength)를 갖는 랜덤 노이즈로서 워터마킹 신호를 삽입한다. 그러므로 이것의 삽입 방법은 작은 변화에 대하여 민감한 평탄 영역에 artifact를 초래하게 한다. 이러한 artifact를 줄이기 위하여 주어진 워터마크의 강도를 줄여야 한다.

본 논문에서는 보다 효과적이고 강인한 워터마크 은닉을 위한 방법으로 웨이브릿 변환 영역에서 영상의 통계적 특성에 기초한 비정상상태 가우스 모델과 정상상태(stationary) 일반화 가우스(generalized Gaussian: GG)모델을 이용한 시각적(perceptual) 방법의 적

용 워터마크 은닉 기술을 제안한다. 워터마크는 고주파 영역에서 연속 부대역 양자화를 이용하여 다해상도 영상의 웨이브릿 계수 중에서 시각적 중요 계수(perceptual significant coefficients: PSC)를 선택하여 삽입한다. 워터마크를 은닉하기 위한 지각모델은 비정상상태 및 정상상태의 스토케스틱 특성을 이용한다. 워터마크 은닉을 위한 지각 모델은 국부 영상 특성을 갖는 NVF함수에 의해 계산된다. 이 방법은 워터마크가 노이즈 특성을 갖기 때문에 영상의 통계적 특성에 기초한 비정상상태 가우스 모델과 정상상태 일반화 가우스 모델을 이용한다. 정상상태 GG 모델의 삽입은 다해상도 내의 각 부대역별 분산과 형상계수를 사용한다. 형상계수를 추정하기 위하여 모멘트 정합 방법을 사용한다. 비정상상태 가우스 모델은 각 부대역의 국부 평균 및 분산을 이용한다. Stirmark 3.1 benchmark test에 대한 실험에서 강인성과 비가시성에서의 우수함을 확인하였고, 비정상상태의 경우와 정상상태의 경우를 비교하였다.

2. 통계적 모델에 의한 NVF 추정

2.1 Non-stationary Gaussian model

기존의 워터마크 기법은 노이즈 성격의 단순한 랜덤신호를 사용하여 영상의 화질 열화와 비가시성 및 강인성이 결여되어 있다. 따라서 본 연구에서는 워터마크의 영상의 특성에 최적한 추정을 위하여 통계적 성질을 이용한 스토케스틱 이론의 추정 및 검증(estimation and detection) 방법을 사용한다. 본 방법은 워터마크가 노이즈 성격의 랜덤신호임에 착안하여 정상상태인 경우와 비정상상태인 경우에 대한 통계적 성질을 이용하여 워터마크 알고리즘을 개발하고자 한다. 본 연구에서 수행하고자 하는 워터마크에 대한 간단한 스토케스틱 추정 방법으로 일반적인 워터마크의 수식은 다음과 같다.

$$y = x + n \quad (1)$$

여기서 y 는 stego 영상이고, x 는 원 영상, 및 n 은 노이즈 성격의 워터마크이다. 워터마크를 추정하기 위하여 원 영상 x 의 추정신호인 \hat{x} 을 구하면 추정할 워터마크 \hat{n} 을 같이 구할 수 있다.

$$\hat{n} = y - \hat{x} \quad (2)$$

비정상상태의 가우시안 모델의 경우 NVF 함수는

$$NVF(i, j) = \frac{1}{1 + \sigma_x^2(i, j)} \quad (3)$$

이다. 여기서 $\sigma_x^2(i, j)$ 는 화소좌표 (i, j) $1 \leq i, j \leq M$ 을 중심으로 한 국부 분산을 나타낸다. 워터마크는 단위 분산, $N(0, 1)$ 을 갖는 i.i.d. Gaussian 분포함수이다. 국부 분산을 추정하기 위하여 ML(maximum likelihood) 추정 기법을 사용한다. 국부영상에 대한 분산 및 평균에 대한 ML 추정 기법은

$$\sigma_x^2(i, j) = \frac{1}{(2L+1)^2} \sum_{k=-L}^L \sum_{l=-L}^L (x(i+k, j+l) - x(i, j))^2 \quad (4)$$

$$x(i, j) = \frac{1}{(2L+1)^2} \sum_{k=-L}^L \sum_{l=-L}^L x(i+k, j+l) \quad (5)$$

이다. 여기서 $(2L+1) \times (2L+1)$ 은 추정을 위한 3×3 윈도우 크기를 나타낸다.

2.2 Stationary GG model

최적의 NVF를 결정하기 위해 정상 상태의 NVF는 영상의 국부특성에 따라서 복원영상의 작은 변화에도 시각적 artifact를 줄이기 위하여 웨이브릿 영역의 각 부대역의 분산과 형상계수를 이용한다.

정상상태의 일반화 가우스 모델의 경우 NVF 함수는

$$NVF(i, j) = \frac{w(i, j)}{w(i, j) + \sigma_x^2(i, j)} \quad (6)$$

$$w(i, j) = \gamma [\eta(\gamma)]^\gamma \frac{1}{\|a(i, j)\|^{2-\gamma}} \quad (7)$$

$$a(i, j) = \frac{x(i, j) - \overline{x(i, j)}}{\sigma_x} \quad (8)$$

$$\eta(\gamma) = \sqrt{\frac{\Gamma(\frac{3}{\gamma})}{\Gamma(\frac{1}{\gamma})}} \quad (9)$$

이다. 여기서 $\sigma_x^2(i, j)$ 는 웨이브릿 변환된 계수들의 분산이고, $\overline{x(i, j)}$ 는 영상의 평균값이다. γ 는 형상계수이다. 이 형상계수를 추정하기 위하여 모멘트 정합방법을 사용한다. 본 논문의 실험에서 추정한 형상계수 γ 는 0.67이다. 워터마크는 비정상 상태의 경우와 같이 단위 분산, $N(0, 1)$ 을 갖는 i.i.d. Gaussian 분포함수이다.

3. 제안한 통계적 적응 워터마크 은닉 모델

3.1 연속 부대역 양자화

적용 워터마크 삽입 모델은 쌍직교 웨이브릿 변환을 한 다음 최상위 레벨의 고주파 부대역(HH1, LH1, HL1)들에 위치한 웨이브릿 계수는 워터마크 삽입 단계에서 제외한다. 이 부대역들은 손실 압축이나 기하학적 변환과 같은 일반 영상처리 기법에 의해 워터마크가 손실되거나 변형되기 쉬운 영역이기 때문이다.

기저대역에 대한 PSC는 시각적으로 중요한 계수로 크기 값이 큰 계수들을 선정한다. 이는 워터마크 삽입에 따른 계수값의 변동율을 작게하여 비가시성의 열화를 줄이기 위한 것이다. 이를 위하여 기저대역의 모든 계수들을 문턱값 TH 와 비교하여 이 문턱값보다 큰 계수들을 워터마크를 삽입하기 위해 PSC들로 선정한다. PSC를 선택하기 위한 부대역 적응 문턱값은

$$TH_i = 2^{\lceil \log_2 T_i \rceil} - 1 \quad (10)$$

이다. 여기서 T_i 는 각 부대역의 최대값을 나타낸다. 워터마크는 부대역 적응 문턱값보다 더 큰 PSC에만 삽입된다.

그리고 기저 대역과 1 레벨에 속한 부대역들을 제외한 고주파 부대역들에서의 PSC들을 선택하기 위하여, 서로 다른 주파수 대역과 방향성을 나타내는 각각의 고주파 부대역들에 대하여 순차적 부대역 양자화를 행한다. 이 방법에서는 각 부대역내의 계수값들의 크기에 의해 각 부대역의 문턱값을 정한 후 가장 큰 문턱값을 갖는 부대역에 대하여 그 문턱값보다 크기가 큰 계수들을 PSC로 선택한 후, 이 문턱값의 절반을 그 부대역의 새로운 문턱값으로 갱신한다. 새롭게 갱신된 문턱값을 갖는 부대역과 나머지 다른 부대역에 대하여 위의 과정을 다시 수행한다. 이러한 고주파 부대역들에서의 PSC 선정에 사용된 순차적 부대역 양자화 과정[10]을 자세히 설명하면 다음과 같다.

1 단계: 각 고주파 부대역들에 대하여 최대 크기값을 갖는 계수에 대하여 그 계수 크기의 절반을 각 부대역에서의 초기 문턱값으로 설정한다.

2 단계: 1 단계에서 설정된 각 부대역의 문턱값들 중 가장 큰 문턱값과 이 문턱값이 속한 부대역의 계수들을 비교하여, 크기값이 이 문턱값보다 큰 계수들을 그 부대역에서의 PSC로 선택한다.

3 단계: 2 단계에서 선택된 PSC수들이 속한 부대역

의 문턱값의 절반을 그 부대역에 대한 새로운 문턱값으로 갱신한다.

4 단계: 원하는 개수의 시각적으로 중요한 계수들이 선택될 때까지, 위의 2 및 3 단계를 수행한다.

이상에서와 같이 1레벨의 고주파 부대역을 제외한 모든 고주파 부대역들과 기저대역에 대하여 서로 다른 방법으로 PSC를 선정할 후, 이렇게 선정된 PSC들에 대하여 워터마크를 삽입한다. Lena 영상에 대하여 4레벨로 분해한 다음 선택된 PSC는 그림 1과 같고, 워터마크는 각 부대역의 PSC에 대한 비가시성 및 강인성을 제공하는 NVF를 기본으로 하여 삽입된다.

3.2 적응 워터마크 삽입

비정상상태 모델과 정상상태 GG 모델을 이용하여 추정된 NVF 함수를 이용한 적응 워터마크 삽입 식은 다음과 같다.

$$x' = x + (1 - NVF)nA + NVFnB \quad (11)$$

여기서 x' , x 및 n 은 워터마크가 삽입된 영상, 원 영상 및 워터마크를 나타낸다. 그리고 A 는 텍스처영역과 에지영역의 워터마크 삽입강도이고 B 는 평탄영역의 삽입강도이다. 이는 Cox 등이 제시한 삽입 방법과 다르게 워터마크 정보를 추정된 NVF 값과 곱하여 삽입한다. NVF=1이 되면 텍스처영역과 에지영역의 워터마크 삽입강도인 A 부분이 0이 되므로 이를 방지하기 위하여 평탄영역의 삽입강도 B 에도 영향을 미치도록 하였다.

본 논문에서의 워터마크 삽입방법은 워터마크의 강도를 증가함에 의해서 강인성을 증가시키는 목적과 시각적 artifact를 동시에 줄일 수 있는 방법을 제안하였다. 제안한 적응 워터마크 은닉 모델은 그림 2와 같다.

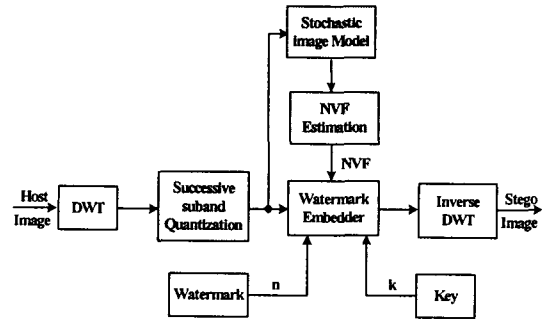
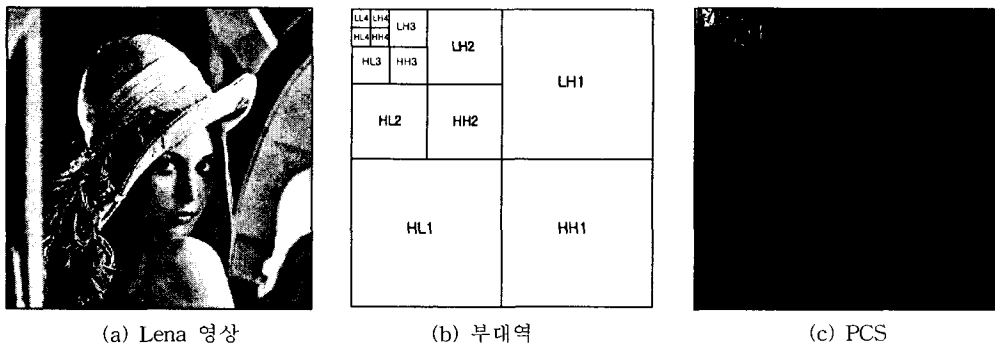


그림 2. 제안한 적응 워터마킹 모델

4. 실험결과 및 고찰

제안한 웨이브릿 영역에서 내용 적응 워터마크 삽입 방법의 주된 특징을 설명하기 위하여 512×512 크기의 여러 영상에 대하여 실험을 하였다. 사용한 웨이브릿 기법은 9/7 쌍직교 웨이브릿이며, 4레벨로 분해하였다. 단위 분산을 갖는 Gaussian random sequence 1000개를 워터마크로 사용하였다. 최상위 고주파 부대역은 워터마크 삽입과정에서 제외한다. 웨이브릿으로 다해상도 분해된 원 영상에 대해 첫 단계로 SSQ에 의해 PSC를 선택한다. 두 번째 단계로 비정상상태와 정상상태의 두 모델을 사용하여 각각 NVF를 추정한다. 다음으로 추정된 NVF를 삽입강도를 달리하여 두 모델에 대하여 각각 수행한 후 PSNR(peak signal to noise ratio)을 비교한다. 마지막으로 워터마크를 추출하여 유사도를 구하고, 두 모델을 비교한다. 강인성에 대한 척도로 원래의 워터마크와 추출한 워터마크와의 유사도(correlation response)를 사용하고[1], 비가시성의 척도로 PSNR을 사용하였다.

그림 3은 워터마크 삽입강도에 해당하는 A 를 변화

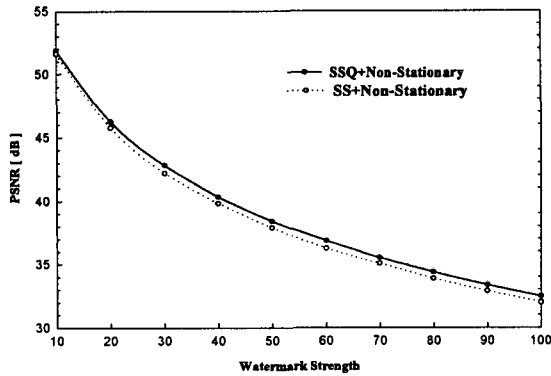


(a) Lena 영상

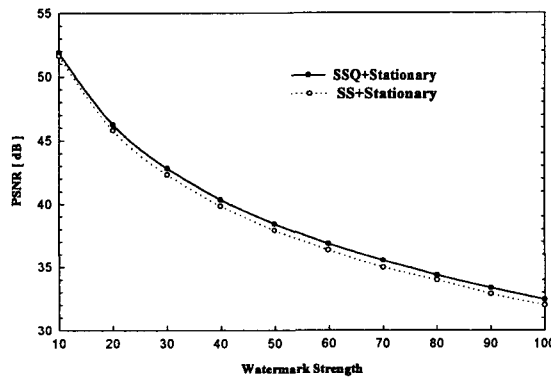
(b) 부대역

(c) PCS

그림 1. Lena 영상에 대한 PSC



(a) Non-Stationary Gaussian model



(b) Stationary generalized Gaussian model

그림 3. 삽입강도에 따른 PSNR 비교

시키면서 워터마크가 삽입된 영상의 PSNR을 나타내었다. A는 에지 및 텍스트 영역의 삽입강도이고 B는 평탄 영역의 삽입강도인데 일반적으로 A가 중요하며 B는 평탄 영역의 삽입강도로서 가시성에 민감하므로 값을 작게 하여야만 한다. 본 논문에서 반복적 실험의 결과 A의 값은 30.0을 사용하였고, B의 값은 0.1을 사용하였다. 워터마크의 삽입강도가 커질수록 PSNR은 떨어지고 강인성이 증가함을 알 수 있었다. SSQ를 사용하지 않은 모델에서 보다 PSNR이 약 0.5[dB] 더 좋은 것을 알 수 있었고, 정상상태의 모델이 비정상상태 모델보다 약 0.05[dB] 더 우수함을 알 수 있었다. 그림에서 SSQ+Non-stationary는 제안한 방법이고 SS+Non-stationary는 기존의 방법[8]이다.

표 1은 Lena영상에 대한 Stirmark 3.1 benchmark에 근거한 여러 가지 공격에 대한 PSNR과 유사도를 보였다. 비가시성의 척도인 PSNR은 정상상태 모델이 우수하며, 강인성의 척도인 유사도는 비정상상태 모델

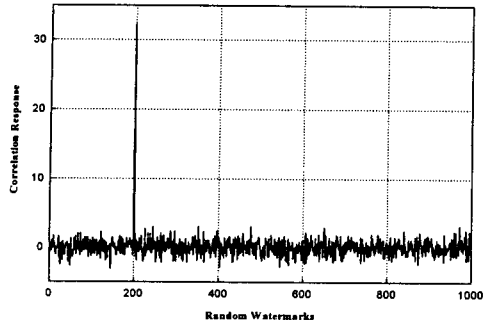
표 1. Lena 영상에 대한 여러 가지 공격 실험

Lena 512×512				
구분	비정상상태 모델		정상상태 모델	
	PSNR[dB]	유사도	PSNR[dB]	유사도
Sharpening	21.74	16.75	22.50	6.61
Median 3×3	30.47	20.90	31.50	8.31
Gaussian 3×3	33.23	27.77	34.53	17.40
JPEG Q=50%	35.02	31.75	37.18	29.74
Cropping 50%	49.47	19.31	47.51	19.34

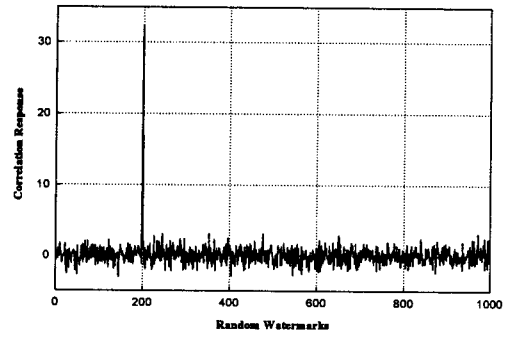
이 우수함을 알 수 있었다. 그리고, 본 논문에서 삽입한 워터마크의 key 값은 200번째의 seed를 사용하였으며 워터마크가 삽입된 영상에 공격이 없이 추출된 워터마크의 유사도를 그림 4 및 5에 보였다. 그림 4는 비정상상태의 유사도로서 공격이 없는 경우 유사도는 32.1761을 가졌으며, 그림 5는 정상상태의 유사도로서 공격이 없는 경우 32.1785를 가졌다. 따라서 두 모델의 유사도는 거의 일치함을 알 수 있었다. 그러나 Gaussian 공격, sharpening 공격, median 공격을 했을 경우에 대한 비정상상태 및 정상상태의 유사도를 비교해 보면 비정상상태의 유사도가 좋을 수 있다. 이는 비정상상태 모델이 더 견고성이 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 비가시성을 나타내는 척도인 PSNR을 비교해 보면 정상상태 모델이 더 우수함을 알 수 있었다.

JPEG 공격 하에 강인성을 평가하기 위하여 JPEG Q-factor를 10%에서 90%로 변화시켰을 때의 PSNR을 그림 6에 나타내었고, 유사도를 그림 7에 나타내었다. 그 결과 JPEG 압축에 대한 워터마크 구조의 탄성(resilience)을 알 수 있었다. JPEG 압축 실험에서도 정상상태 모델이 비정상상태 모델보다 비가시성이 우수함을 알 수 있었고, 유사도는 비정상상태 모델이 정상상태 모델보다 우수함을 알 수 있었다.

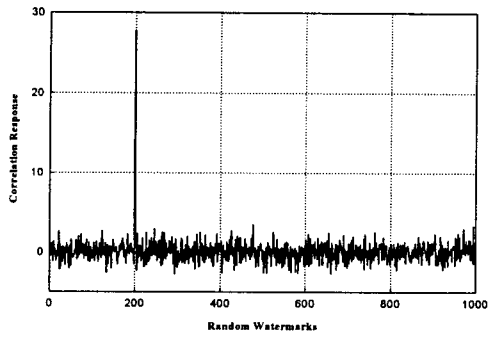
그림 7은 워터마크가 삽입된 영상을 Q-factor 80%에서 JPEG 압축한 다음 영상 데이터의 내부 10%에서 90%까지 절단한 경우 워터마크의 존재유무에 대한 강인성을 실험한 결과이다. 지금까지의 실험에서 비정상상태의 Gaussian 모델의 경우는 강인성에서, 정상상태의 GG 모델의 경우는 비가시성에서 더 좋은 결과를 확인하였다. 그 결과 PSNR은 정상상태 모델이 비정상상태 모델보다 현저하게 우수함을 알 수 있으나 유사도는 정상상태 및 비정상상태 모델이 비슷함을 알 수



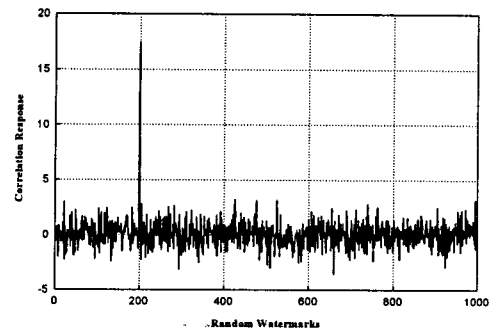
(a) No attack(32.1761)



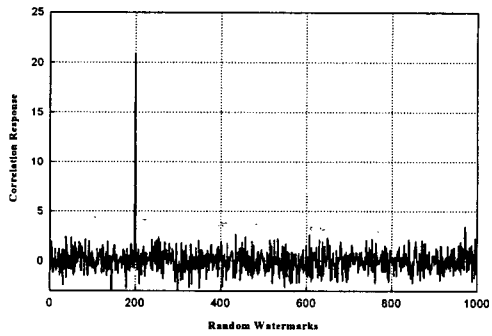
(a) No attack(32.1785)



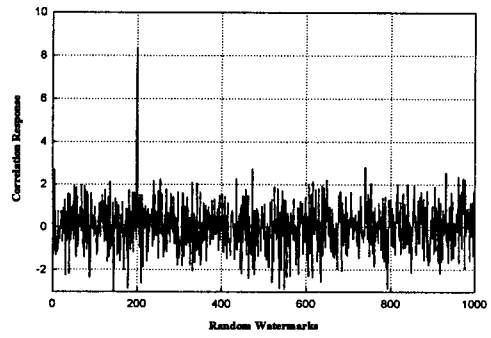
(b) Gaussian attack(27.77)



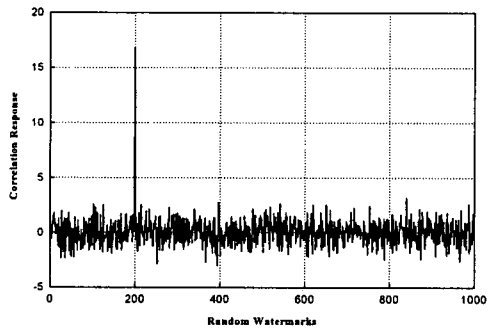
(b) Gaussian attack(17.40)



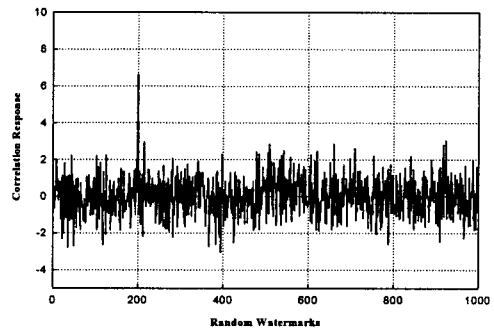
(c) Median attack(20.90)



(c) Median attack(8.31)



(d) Sharping attack(16.75)



(d) Sharping attack(6.61)

그림 4. 비정상상태 모델의 유사도

그림 5. 정상상태 모델의 유사도

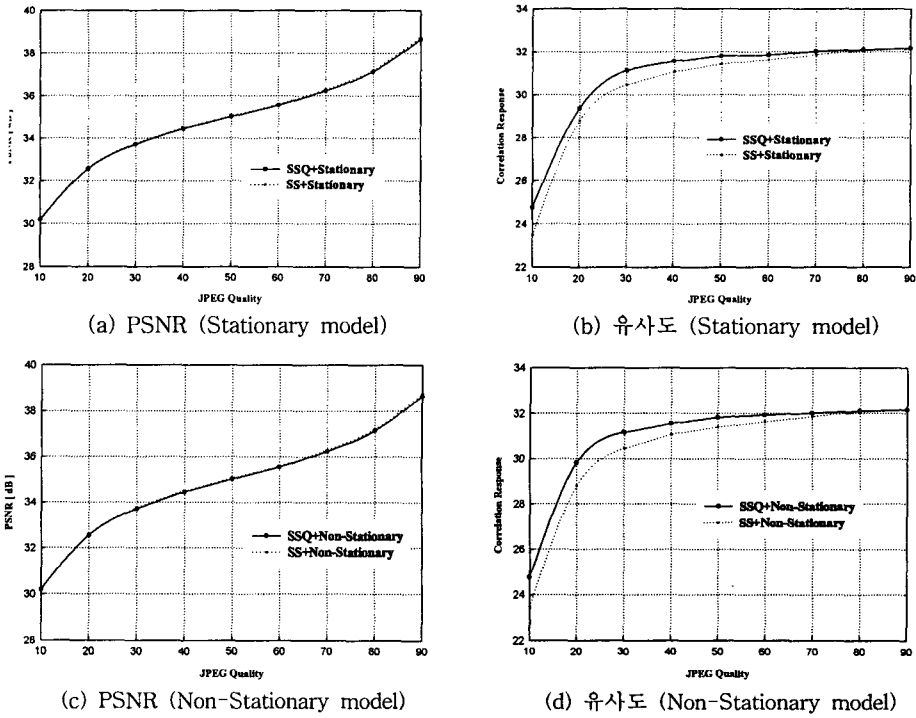


그림 6. JPEG 압축률 변화에 따른 PSNR 및 유사도 비교

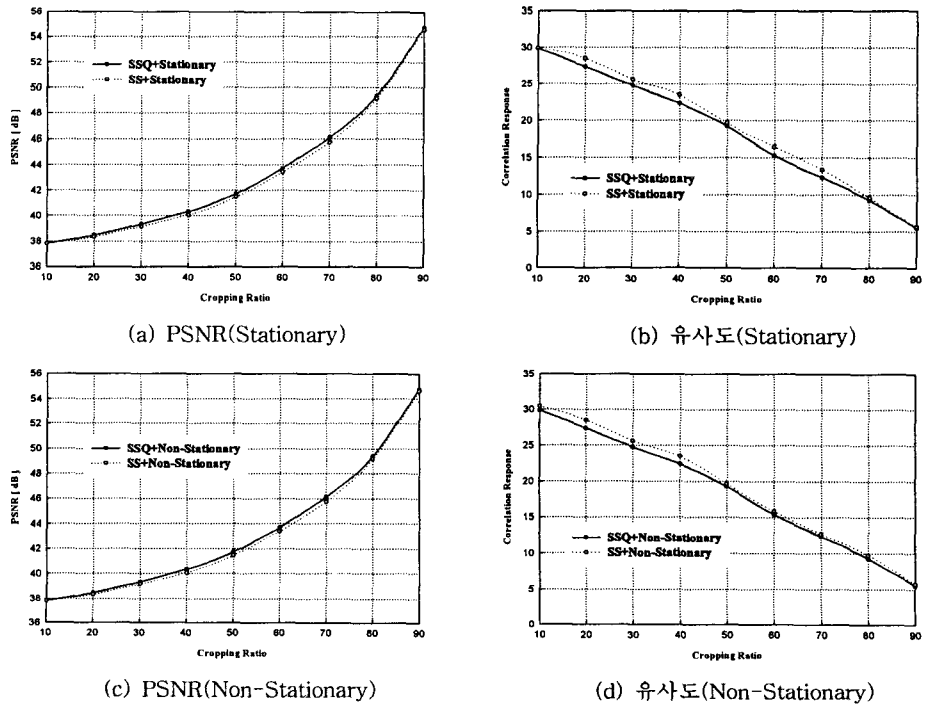


그림 7. JPEG 압축률 80%에서 Cropping을 변화에 따른 PSNR 및 유사도 비교

있었다. 따라서 이런 한 경우 정상상태 모델이 비정상상태 모델보다 우수함을 알 수 있다.

그림 8(a)는 비정상상태 모델에 대한 워터마크가 삽입된 Lena영상과 Barbara영상을 (b)는 Stirmark random bend 공격에 대해서 화질의 열화가 없음을 보였다. 그림 9(a)는 정상상태 모델에 대한 워터마크가 삽입된 Lena영상과 Barbara영상을 (b)는 Stirmark 공격 후에도 화질의 열화가 없음을 알 수 있다.



(a) Watermarked image (b) Attacked image

그림 8. 비정상상태 모델



(a) Watermarked image (b) Attacked image

그림 9. 정상상태 모델

5. 결 론

본 논문에서는 다해상도를 갖는 웨이브릿 변환영역에서 지각 모델 및 통계적 특성의 비정상상태 가우스 모델과 정상상태 GG 모델을 이용한 적응 워터마크 은닉 기술을 제안하였다. 워터마크는 4레벨로 분해된 웨이브릿 계수들 중에서 연속 부대역 양자화를 이용하여 시각적으로 중요한 계수에만 워터마크를 삽입하였다. 워터마크를 은닉하기 위한 지각모델은 SSQ와 통계적 특성을 이용하였으며, 삽입 모델은 국부영상 특성을 갖는 NVF 함수에 의하여 설계되었다. 이 방법은 워터마크가 노이즈 특성을 갖기 때문에 영상의 통계적 특성에 기초한 비정상상태 가우스 모델과 정상상태 일반화 가우스 모델을 이용하였다. 정상상태 GG 모델의 워터마크 삽입은 다해상도 내의 각 부대역별 분산과 모멘트 정합 방법을 이용한 형상계수를 사용하였다. 비정상상태 가우스 모델은 각 부대역의 국부 평균 및 분산을 이용하였다. Stirmark 3.1 benchmark test에 근거로 하여 여러 가능한 왜곡에 대한 실험 결과 제안한 워터마크 삽입 모델은 비정상상태와 정상상태에서 강인성과 비가시성에서의 우수함을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] M. Swanson, M. Kobayashi, and A. Tewfik, "Multimedia Data-Embedding and Watermarking Technologies," *Proceedings of the IEEE*, Vol. 86, No. 6, pp. 1064-1087, June 1998.
- [2] C. Dautzenberg and F. M. Boland, "Watermarking Images," *Technical report*, Dept. of Elec. Eng., Trinity College Dublin, 1994.
- [3] M. D. Swanson, B. Zhu, and A. H. Tewfik, "Data Hiding for Images," *Proc. of the IEEE Digital Signal Processing Workshop*, pp. 37-40, Loen, Norway, Sep. 1996.
- [4] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shanon, "Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," in *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol. 6, No. 12, pp. 1673-1687, Dec. 1997.
- [5] C. Podilchuk and W. Zeng, "Adaptive Watermarking Using Visual Models," in *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, Vol.

- 16, No. 4, pp. 525-539, May 1998.
- [6] M. Kutter, "Watermarking Resisting to Translation, Rotation and Scaling," in *Proc. of SPIE*, Boston, USA, Nov. 1998.
- [7] J. J. K. Ruanaidh, Thierry Pun, "Rotation, Scale, and Translation Invariant Spread Spectrum Digital Watermarking," *Signal Processing*, Vol. 66, pp.303-317, 1998.
- [8] Sviatoslav Voloshynovskiy, A. Herrigel, N. Baumgaertner, and T. Pun, "A Stochastic Approach to Content Adaptive Digital Image Watermarking," in *Proc. of Third Information Hiding Workshop*, pp. 1-26, 1999.
- [9] S. E. Khamy, M. A. Lotfy, and R. A. Sadek, "A New Technique for Perceptual Wavelet Based Image Watermarking," in *19th National Radio Science Conference*, pp. 336-343, March 2002.
- [10] S. G. Kwon, S. W. Ban, I. S. Ha, K. R. Kwon, K. I. Lee, "Highly Reliable Digital Watermarking Using Successive Subband Quantization and Human Visual System," *ISIE (International Symposium on Industrial Electronics)*, pp. 205-209, June 2001.



김 현 천

1988년 2월 부경대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1991년 8월 경성대학교 대학원 산업정보학과 졸업(공학석사)
 1993년 10월~1997. 1월 KT 연수원
 1997. 1월~현재 (주)온세통신
 1999년 8월 부경대학교 대학원 전자공학과 박사 수료
 관심분야 : 병렬분산처리, 멀티미디어 정보보호, 컴퓨터 통신망



권 기 룡

1986년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1990년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1994년 8월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
 2000년 7월~2001년 8월 Univ. of Minnesota, Post-Doc. 과정
 1996년 3월~현재 부산외국어대학교 컴퓨터전자공학부 부교수
 2002년~현재 한국멀티미디어학회 총무이사
 관심분야 : 멀티미디어 정보보호, 멀티미디어 통신, 웨이브릿 변환



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 현 천 608-738 부산광역시 남구 우암동 산 55-1번지
 부산외국어대학교 컴퓨터전자공학부