

## 멀티웨이브릿 변환 기반에서 연속 부대역 양자화 및 지각 모델을 이용한 적응 워터마킹 기술

권기룡, 강균호, 조영웅, \*문광석, \*\*이준재  
부산외국어대학교 컴퓨터전자공학부, \*부경대학교 전자정보통신공학부,  
\*\*동서대학교 게임및인터넷공학부  
전화 : 051-640-3176 / 핸드폰 : 016-553-3176

### Adaptive Watermarking Using Successive Subband Quantization and Perceptual Model Based on Multiwavelet Transform

Ki-Ryong Kwon, Kyun-Ho Kang, Young-Ung Jo, \*Kwang-Seok Moon, \*\*Jun-Jae Lee  
Division of Computer and Electronic Eng., Pusan Univ. of Foreign Studies  
\*Division of Electronic and Telecommunication Eng., Pukyong Nat'l Univ.  
\*\*Division of Game and Internet Eng., Dongseo Univ.  
E-mail : krkwon@taejo.pufs.ac.kr

#### Abstract

This paper presents an adaptive digital image watermarking scheme that uses successive subband quantization (SSQ) and perceptual modeling. Our approach performs a multiwavelet transform to determine the local image properties optimal and the watermark embedding location. The multiwavelet used in this paper is the DGHM multiwavelet with approximation order 2 to reduce artifacts in the reconstructed image. A watermark is embedded into the perceptually significant coefficients (PSC) of the image in each subband. The PSCs in high frequency subbands are selected by setting the thresholds to one half of the largest coefficient in each subband. After the PSCs in each subband are selected, a perceptual model is combined with a stochastic approach based on the noise visibility function to produce the final watermark.

#### I. 서론

오늘날 디지털 콘텐츠와 멀티미디어 데이터의 급격한 증가로 인하여 불법 복제와 무단 배포를 쉽게 한다. 디지털 워터마킹은 불법복제로부터 멀티미디어 데이터의 저작권을 보호하기 위해 사용될 수 있다. 워터마크는 미디어 데이터로부터 검출하기 위해 그 미디어 내용 안에 인지할 수 없는 신호로 직접 삽입된다. 디지털 워터마킹 시스템의 은닉과 추출은 미디어의 소유

권과 원본의 확인, 사용 허가 등에 사용될 수 있다.

데이터 은닉 시스템의 중요한 요구조건은 은닉 알고리즘의 투명성과 강인성 사이의 타협이 필요하다[1]. 무엇보다 먼저 워터마크는 편집, 저장 혹은 워터마크 검출을 교묘하게 제거하려는 목적으로 미디어 콘텐츠에 접근하는 공격에 대해 강인성을 가지고 있어야 한다. 이런 공격들은 손실압축, 필터링, 잡음 첨가, 기하학적 변형 등이 해당한다. 두 번째로 워터마크는 원영상의 질을 저하시키지 않도록 하기 위해 투명하게 은닉되어, 사용자가 워터마크가 은닉된 영상을 봤을 때 워터마크의 존재여부를 알 수 없어야 한다.

Swanson 등[2]은 인간 시각시스템과 DCT 영역에서의 블록들을 이용한 방법을 이용한 워터마킹 방법을 제안하였다. Podilchuk 등[3]은 DCT 블록과 웨이브릿 대역에서 각각 워터마크를 조절할 수 있는 내용 적응 구조를 개발하였다. Kutter 등[4]은 HVS의 luminance sensitivity function을 기반으로 한 내용기반 적응 시스템을 개발하였다. 이 함수는 워터마크의 삽입을 위하여 영상의 휘도 추정을 기본으로 하지만 웨이브릿 압축 및 디노이징과 같은 공격에는 효과적이지 못하였다. Voloshynovskiy 등[5]은 내용 적응 디지털 워터마크를 위하여 통계적 모델링 기법을 제안하였다. 원영상 및 워터마크의 통계적 모델을 이용하여 고전적 Bayesian 및 다해상도 paradigm에 따라서 워터마크의 추정 및 검출을 하였다.

기존의 워터마크 기법은 영상 특성에 대한 전체(global) 정보를 기반으로 하여 영상의 국부 특성에 관계없이 전체 원영상에 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 위터마크의 세기를 줄여야 한다.

본 논문에서는 멀티웨이브릿 변환영역에서 지각적 모델과 연속 부대역 양자화[6]를 이용한 적응적 위터마킹 기법을 제시한다. 이 모델은 위터마크를 더 강하게 삽입하기 위한 최적의 위터마크 삽입 위치를 결정하기 위해 영상의 국부적 특성을 이용한다. 멀티웨이브릿은 벡터값을 가지는 웨이브릿으로 단일 웨이브릿에서 불가능한 대칭성, 간결한 서포트, 연속성 및 정규 직교성, 등을 동시에 제공한다. 본 논문에서 사용한 멀티 웨이브릿은 복원된 영상의 화질 열화를 줄이기 위해 근사차수가 2인 DGHM 멀티웨이브릿을 사용한다. 위터마크의 삽입을 위해 이산 멀티웨이브릿으로 영상을 4레벨로 분해 한 후, 각 부대역의 PSC에 위터마크를 삽입한다. 고주파 부대역의 PSC는 각 대역의 최대 계수의 반을 문턱값으로 하여 SSQ(successive subband quantization)에 의해 선택된다. PSC선택 후, 위터마크의 삽입을 위한 지각적 모델은 [5]에 의해 제안된 국부영상 특징을 갖는 NVF(noise visibility function)의 계산에 의한 통계적 방법을 적용한다. 적응적 위터마킹을 위한 지각모델은 보다 강한 위터마크의 삽입을 위해 에지와 텍스처영역에 삽입한다. 실험 결과 비가시성 및 강인성이 우수함을 확인하였다.

## II. 멀티웨이브릿 변환

멀티웨이브릿은 여러 개의 스케일링 함수를 갖는 여러 개의 웨이브릿 함수로 구성되어 있다. 따라서 길이를 보존하며, 경계영역에서 좋은 성능을 가지며, 고차수의 근사화를 가져서 완전복원을 한다. 멀티웨이브릿은 단일 웨이브릿에서는 불가능한 대칭성, 간결한 서포트, 연속성 및 정규 직교성을 동시에 제공하는 이점이 있다. 신호의 완벽복원을 위한 직교 멀티웨이브릿 필터뱅크들은 그림 1과 같다.

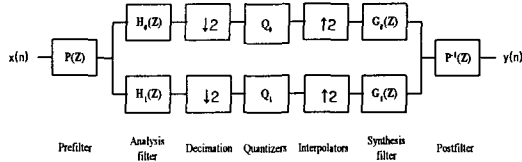


그림 3. 멀티웨이브릿 필터뱅크

$H_0(z), H_1(z)$ 는 분해필터뱅크 이고,  $G_0(z), G_1(z)$ 는 합성필터뱅크이다.  $P(z)$ 는 전처리 필터이고,  $P^{-1}(z)$ 는 후처리 필터이다.  $V_0$ 는  $N$  스케일링 함수  $\phi_1(t-k), \phi_2(t-k), \dots, \phi_N(t-k)$ 로부터 벡터의 원소에 의해 발생된다. 벡터

$\Phi(t) = [\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_N]^T$ 는 다음과 같은 matrix dilation 방정식을 만족한다.

$$\phi(t) = \sum_k C[k] \phi(2t-k) \quad (1)$$

계수  $C[k]$ 는 스칼라 대신  $N \times N$  행렬이다.  $W_0$ 는  $N$  웨

이브릿 벡터에  $\Psi(t) = [\phi_1(t), \dots, \phi_N(t)]^T$ 에 의해서 발생되고, 다음과 같은 matrix wavelet 방정식을 만족한다.

$$\Psi(t) = \sum_k D[k] \Psi(2t-k) \quad (2)$$

계수  $D[k]$ 는 스칼라 대신  $N \times N$  행렬이다. DGHM 멀티웨이브릿 시스템은 두 개의 스케일링 함수  $\phi_1(t), \phi_2(t)$ 와 두 개의 웨이브릿 함수  $\psi_1(t), \psi_2(t)$ 로 구성된다.

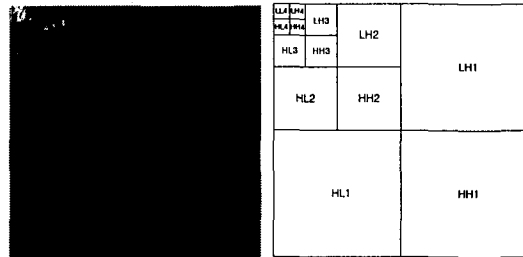
## III. 적응적 위터마크 삽입

### 3.1 연속 부대역 양자화

고주파 부대역의 PSC는 SSQ에 의해서 선택된다. 이는 각 서브밴드의 최대 계수값의 반으로 선택되어진다. 고주파 부대에서 선택된 각 계수는 계수값의 지각적 모델에 따라 영상에 투명하게 삽입된다. PSC를 선택하기 위한 서브밴드 적응 문턱값은 다음과 같다.

$$TH_i = 2^{\lceil \log_2 T_i \rceil} - 1 \quad (3)$$

여기서,  $T_i$ 는 각 부대역의 가장 큰 계수를 나타내고,  $\lceil X \rceil$ 는  $X$ 보다 크지 않은 정수를 나타낸다. 위터마크는 부대역 적응적 문턱값보다 큰 PSC에만 삽입한다. 위터마크는 고주파 부대역의 PSC에 대해 비가시성 및 강인성을 제공하기 위해 NVF를 기본으로 하여 삽입된다. 위에서 설명한 것처럼 멀티웨이브릿 계수 중에 PSC는 기저 대역이나 고주파 부대역에 선택적으로 삽입된다. 그림 3은 레나 영상에 대한 선택된 PSC와 멀티웨이브릿 부대역을 나타낸다.



(a) PSC

(b) 부대역

그림 2. 레나 영상에 대한 PSC

### 3.2 통계적 특성 모델

본 논문은 멀티웨이브릿 변환영역에서 위터마크 은닉에 사용되는 통계적 다해상도를 갖는 지각 모델을 소개한다. 이 은닉방법은 [5]에서 제시한 국부 영상 특성을 갖는 NVF에 기초한다. 적응적 위터마크 알고리즘을 갖는 모델은 SSQ에 의해 더욱 강하게 삽입하기 위해 텍스처와 에지영역에서 삽입한다. 이 방법은 위터마크가 노이즈 특성을 갖기 때문에 수정된 비정상상태 가우시안 모델 특성을 이용한다. 최적의 NVF를 결정하기 위해 우리는 위터마크를 노이즈로서 간주한다. 위터마크 삽입은 멀티웨이브릿 영역 내에서 각 부대역의 평균과 분산을 이용한다. 그것은 에지와 텍스처에 따른 적응적 criteria를 얻는다. 그림 3은 제안한 멀티

웨이브릿 변환영역에서의 적응적 워터마크 은닉모델의 블록도이다.

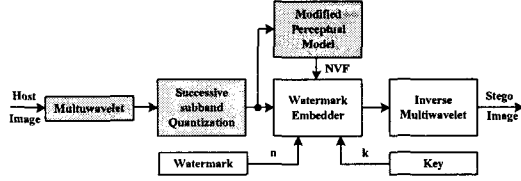


그림 3. 제안한 방법의 적응적 모델

(1) 비정상상태 가우시안 모델을 갖는 NVF

비정상상태 가우시안 모델의 경우 NVF는

$$NVF(i, j) = \frac{1}{1 + \sigma_x^2(i, j)} \quad (4)$$

이다. 여기서,  $\sigma_x^2(i, j)$ 는 화소 좌표 $(i, j)$ ,  $1 \leq i, j \leq M$ ,를 중심으로 한 국부 분산을 나타낸다. 그리고, 워터마크는 단위 분산,  $N(0, 1)$ 을 갖는 i.i.d. Gaussian 분포함수이다. 국부 분산을 추정하기 위하여 ML(maximum likelihood) 추정 기법을 사용하는데, 국부영상에 대한 평균과 분산에 대한 ML 추정 기법은

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

$$\mu_x(i, j) = \frac{1}{(2L+1)^2} \sum_{k=-L}^L \sum_{l=-L}^L x(i+k, j+l) \quad (6)$$

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

(2) 적응적 워터마크 삽입

NVF를 이용한 적응적 워터마크의 삽입은 다음 식과 같이 삽입된다.

$$v = v + (1 - \alpha)(1 - NVF)wA + \alpha NVFwB \quad (7)$$

여기서,  $v$ ,  $v$  및  $w$ 는 워터마크가 삽입된 영상, 원 영상 및 워터마크를 나타내고, A는 에지와 텍스처영역의 삽입 강도이고, B는 평탄영역에서의 삽입 강도이다. 본 워터마크 삽입방법은 워터마크의 강도를 증가함에 의해서 강인성을 증가시키는 목적과 화질의 열화를 동시에 줄일 수 있는 방법으로 제안하였다.

#### IV. 실험결과 및 고찰

제안한 웨이브릿 영역에서 내용 적응 워터마크 삽입 방법의 주된 특징을 설명하기 위하여  $512 \times 512$  크기의 여러 영상에 대하여 실험을 하였다. 멀티웨이브릿 변환으로 영상을 4 레벨로 분해하였다. 사용되는 워터마크는 1000개의 단위 분산을 갖는 가우시안 랜덤 시퀀스를 사용하였다. 그리고, 강인성을 위해 가장 고주파에 해당하는 부대역은 삽입과정에서 제외하였다.

실험의 첫 번째 단계로 각 부대역의 최대값을 갖는 계수의 반을 문턱값으로 하여 SSQ에 의해 PSC를 선택한다. 다음 단계로 원 영상의 스토캐스틱 모델에 따라 NVF를 계산한다. 계산된 NVF를 적용하여 식(7)에 따라 워터마크를 삽입한다.

그림 4는 비정상상태의 가우시안 모델에 근거하여 NVF를 적용한 워터마크가 삽입된 영상이며, StirMark 공격후의 영상을 그림 5에 보였다. 워터마크가 삽입된 영상과 StirMark 공격 후의 영상 모두 화질의 열화거의 없음을 알 수 있었다.



그림 4. 워터마크가 삽입된 영상      그림 5. StirMark 공격 후의 영상

그림 6에서는 비정상상태 NVF모델을 적용한 경우의 여러 가지 삽입 강도에 따른 PSNR을 멀티웨이브릿과 단일 웨이브릿영역의 경우를 비교하였다. 그림 6으로부터, 멀티웨이브릿 영역에서의 워터마크의 삽입은 단일 웨이브릿 영역에서보다 더 우수한 성능이 있음을 알 수 있다. 강인성을 증가시키기 위해 삽입강도를 높이면 시각적 열화 또한 더 심해진다.

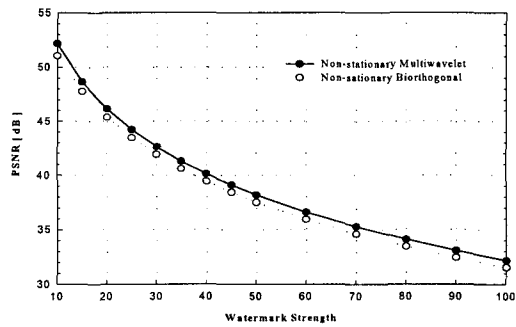
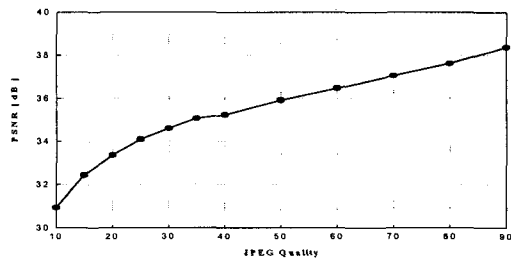
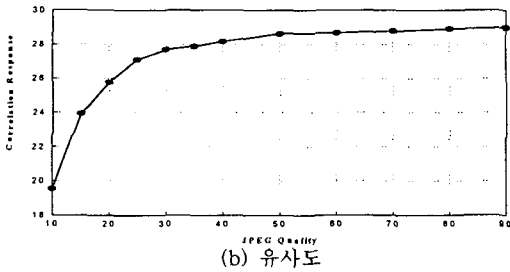


그림 6. 삽입 강도에 따른 워터마크 삽입영상의 비교  
JPEG 손실압축하의 워터마크의 강인성을 위해 워터마크가 삽입된 영상의 JPEG 압축률 변화에 따른 PSNR과 유사도(correlation response)를 그림 7에 나타냈다.



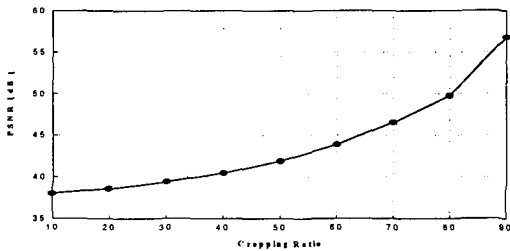
(a) PSNR



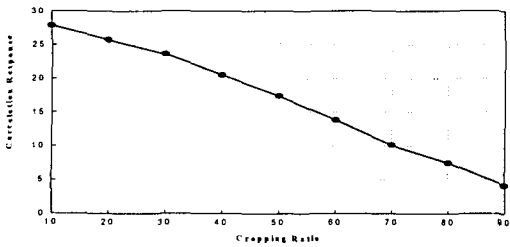
(b) 유사도

그림 7. JPEG 압축률 변화에 따른 PSNR과 유사도

그림 8은 워터마크가 삽입된 영상에 대해 JPEG 압축률을 80%에서 cropping율을 10%에서 90%까지 변화시키면서 PSNR과 유사도를 측정된 결과이다. 실험 결과 JPEG 압축의 손실압축과 cropping의 기하학적 공격이 결합된 상태에서도 우수함을 알 수 있다.



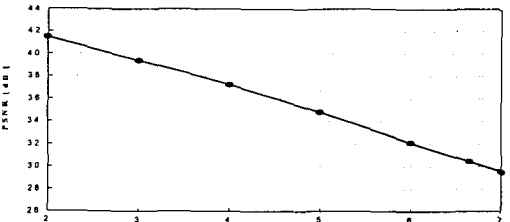
(a) PSNR



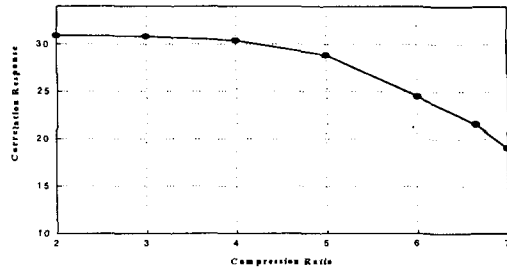
(b) 유사도

그림 8. JPEG 압축률 80%에서 cropping을 변화에 따른 PSNR과 유사도

그림 9는 계층적 트리 구조에 의한 영상 압축방법인 SPIHT 압축을 적용한 실험 결과이다. 역시 제안한 방법의 강인성과 비가시성을 알 수 있었다.



(a) PSNR



(b) 유사도

그림 9. SPHT 코딩에 대한 PSNR과 유사도

## V. 결론

본 논문은 멀티웨이브릿 변환 영역에서의 새로운 적응적 워터마크 은닉기법을 제시하였다. 이 연구는 최적의 워터마크 삽입 위치를 결정하기 위하여 영상의 국부적 특성을 가지는 비정상상태 가우시안 모델을 사용한 스토캐스틱 모델링을 근거로 했다. 멀티웨이브릿 변환은 복원된 영상의 화질을 고려하여 근사 차수가 2인 DGHM 멀티웨이브릿을 사용하여 영상을 4 레벨로 분해하였다. 그리고 고주파 부대역의 PSC는 SSQ에 의해 선택된 PSC에 대해 워터마크를 삽입하였다. 또한 지각적 모델을 위해 영상의 국부적 특성을 가지는 NVF함수를 계산함으로써 워터마크 삽입에 통계적 모델을 적용하였다. StirMark benchmark test결과 제안한 방법의 강인성과 비가시성에서 우수함을 확인하였다.

“이 논문은 2001년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음. (KRF-2001-002-E00075)”

## 참고문헌

- [1] I.Cox, J.Kilian, T.Leighton, and T.Shamoon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," in *NEC Research Institute Tech Rep.* 95-10, 1995.
- [2] M. Swanson, B. Zhu, and A. Tewfik, "Transparent Robust Image Watermarking," *ICIP96*, vol. 3, pp.211-214, 1996.
- [3] C.Podilchuk and W.Zeng, "Image adaptive watermarking using visual models," *IEEE J. of SAC*, vol. 16, no. 4, pp. 525-539, May 1998.
- [4] M. Kutter, "Watermarking Resisting to Translation, Rotation and Scaling," *SPIE*, Nov. 1998.
- [5] S. Voloshynovskiy, A. Herrigel, N. Baumgaertner, and T. Pun, "A Stochastic Approach to Content Adaptive Digital Image Watermarking," *Third Information Hiding Workshop*, 1999.
- [6] I.S. Ha, S.G. Kwon, S.J. Lee, K.R. Kwon, and K.I. Lee, "A New Wavelet-Based Digital Watermarking Using the Human Visual System and Subband Adaptive Threshold," in *IS&Ts and PICS*, April 2001.