

적응 양자화를 이용한 디지털 워터마킹

황 희 근, 이 동 규, 이 두 수
한양대학교 전자공학과
전화 : 02-2290-0358

Digital Watermarking Using Adaptive Quantization

Hee-Keun Hwang, Dong-Gyu Lee, Doo-Soo Lee
Dept. of Electronic Engineering, Hanyang University
E-mail : tosarx@ihanyang.ac.kr

Abstract

In this paper, we present a novel digital watermarking technique based on the concept of multiresolution decomposition and Human Visual System(HVS). Proposed watermarking is to embed watermark by quantization, that is to construct 'perceptually lossless' quantization matrix, by using a quantization factor for each level and orientation and variance within a band.

We compare our approach with another wavelet domain watermarking methods. Simulation results show the superior performance of robustness for variety image distortions.

I. 서론

디지털 워터마킹(Digital Watermarking)이란 저작권이나 인증 정보를 디지털 데이터에 삽입하는 것으로, 삽입된 정보를 워터마크라 하며, 위조(tempering)나 저작권 침해(piracy)여부를 확인하는 방법이다. 워터마크는 정지영상, 음성신호, 디지털 비디오 등에 삽입되어질 수 있는데, 다음과 같은 특징을 가져야한다.

- (1) 원본신호(host signal)에 삽입되어질 때, 눈에 띄지 않아야 한다.
- (2) 저작권자의 워터마크 추출은 용이해야 하며, 또한 추출된 마크는 신뢰성을 주어야 한다.

- (3) 불법적인 워터마크 추출이 불가능해야 한다.
- (4) 필터링, 압축, 외부잡음 인가, 기하학적 변형 등의 신호왜곡에 강인해야 한다.

워터마킹은 삽입과정에서 어느 영역에 삽입하느냐에 따라 주파수영역과 공간영역으로 나누어진다. 주파수 영역은 DCT와 웨이블릿 변환, 푸리에 변환을 이용한 방법이 있다. 공간영역에 삽입하는 방법은 원본신호의 화소 값을 직접적으로 변경하여 워터마크를 삽입하는 것으로, 필터링 같은 간단한 신호왜곡에 훼손되며, 또한 고의적인 워터마크의 조작이 가능하게 된다[6]. 그러므로 신호 왜곡에 더 강인한 주파수 영역에 워터마크를 삽입한다. 본 논문에서는 공간 국부화(spatial location)와 워터마크의 주파수 확산(frequency spread)을 동시에 가능하게 하는 웨이블릿 영역에 워터마크를 삽입한다. 이는 필터링, 크로핑 등의 신호왜곡에 대해 더 강인한 특징을 갖기 때문이다[1].

II. 워터마킹 방법

인간 지각력에 관한 연구에서, 인간의 망막은 영상을 몇 개의 주파수 채널로 나누고, 채널의 신호들을 각각 독립적으로 처리한다. 이와 비슷하게 다중해상도 분할은 영상을 동일한 밴드크기로 분할하며, 분해된 요소들은 밴드간의 상호 영향 없이 독립적으로 처리된다. 그러므로 워터마킹시 더 효과적인 마크삽입을 가능하게 한다. 또한 추출과정에서 원본 영상이 필요치 않기에 광범위한 멀티미디어 응용에 사용할 수 있어 실용적이다. 그러나 강인함(robustness)이 요구된다.

2.1 워터마크 삽입

워터마크는 길이 N_w 인 $\{-1, 1\}$ 로 구성된다. 마크는

저자의 서명이나 ID를 키로 하여 의사랜덤(pseudo random)하게 만드는데, 대역 확산(spread spectrum)을 이용한다[2, 5].

이진 워터마크는 키값을 가지고 원본영상의 웨이블릿 계수에 직접 삽입되는데, 키 값은 랜덤한 특정 밴드의 위치, 마크의 길이, 사용된 DWT 와 구하여진 적응 잡음인지 임계치(Δ)가 된다.

삽입하는 방법은 3단계로 다음과 같다.
단계 1 : 원본영상을 L-레벨 이산 웨이블릿 변환한다. 각 레벨별로 3L 세부영상, 즉 수평(h), 수직(v), 대각영상(d)과 가장 거친(coarse)레벨에서 근사화 영상을 얻는다. 레벨 l 의 k 번째 세부영상을 $f_{k,l}(m, n)$ 로 나타내고, 근사화 영상을 $f_{a,l}(m, n)$ 로 나타낸다. 여기서 $k = h, v, d$ 이며, $l = 1, \dots, L$ 이다.

단계 2 : 근사화 영상과 가장 정교한 세부영상을 제외한 중간 주파수 영역에 워터마크를 삽입한다.

삽입하는 방법은 그림 1과 같이 키 값에 대응하는 위치의 웨이블릿 계수를 양자화한다. 여기서 양자화 인자(Δ)는 사용자가 정의하는 값으로, 워터마크의 강인함과 가시성에 대한 적절한 타협(trade-off)관계에 있다. 즉, Δ 값이 크면 더 강인한 워터마크를 삽입할 수 있으나, 원본 영상은 Δ 값만큼 훼손된다. 그러므로 인간시각특성을 이용하여 Δ 값을 최적화 시켜야한다.

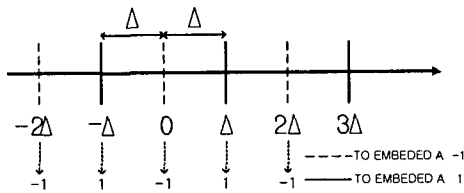


그림 1. 워터마크를 삽입하는 양자화 과정

단계 3 : 워터마크된 영상에 역 이산 웨이블릿 변환한다. 전체적인 과정은 그림 2와 같다.

2.2 워터마크 추출과 검출

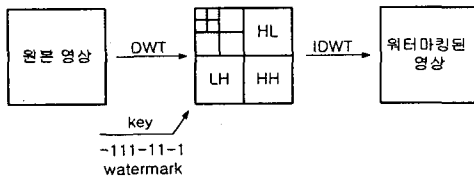


그림 2. 워터마크 방법
 워터마크 추출과정의 목적은 다양한 영상왜곡에 대해 신뢰할 수 있는 워터마크를 추출하는 것이

다. 워터마크된 영상을 $r(m, n)$ 이라 하면, 왜곡된 영상

$\tilde{r}(m, n)$ 로부터 삽입된 워터마크 $w(m, n)$ 을 추출하는 과정에서, 키 $k(m, n)$ 값과 마크를 알고 있어야 한다.

추출하는 방법은 다음의 3단계이다.

단계 1 : $\tilde{r}(m, n)$ 을 L-레벨 DWT 한다. 이때레벨 l 의 k 번째 세부영상을 $\tilde{r}_{k,l}(m, n)$ 이라 한다.

단계 2 : 키 k 를 사용하여 삽입된 위치에서 웨이블릿 계수를 양자화한다. 양자화 인자 Δ 는 삽입할 때 사용된 값과 같은 값을 사용한다.

단계 3 : 만약 추출된 워터마크 $\tilde{w}(n)$ 와 주어진 워터마크 $w(n)$ 의 상관도($\rho(w, \tilde{w})$)가 미리 정의된 임계치 (T) 보다 크면 워터마크는 검출된다. 검출조건은 식 (1)과 같다.

$$\rho(w, \tilde{w}) = \frac{\sum w(n)\tilde{w}(n)}{\sqrt{\sum w^2(n)}\sqrt{\sum \tilde{w}^2(n)}} \geq T(1)$$

여기서 n 은 $1 \sim N_w$ 범위에 있다.

III. 적응 잡음인지 임계치의 측정

영상의 가시적인 손상 없이 더 강인한 워터마크를 삽입하기 위해서, HVS를 이용한 최적화된 양자화 인자를 구해야 한다. DWT 균일(uniform) 양자화 잡음은 단일 밴드의 웨이블릿 계수에 대한 양자화시 발생하는 에러이다. 그러므로 DWT 균일 양자화 잡음에 대한 인간시각이 지각하지 못하는 임계치를 구해야한다. 이 임계치를 가시적 검출 임계치(visual detection threshold)라 한다.

3.1 가시적 검출 임계치의 측정

레벨과 방향, 디스플레이 해상도(display visual resolution)의 함수인 DWT 잡음 검출임계치(DWT noise detection threshold)에 대한 실험적인 수학적 모델을 만든다[3]. 이는 이론상 가시적 임계치 보다 낮은 에러 값을 갖는, 지각적으로 손실 없는(perceptually lossless) 양자화 행렬을 구하는 것이다. 이 모델은 또한 적응 양자화 과정에서 사용된다.

실험에 사용된 DWT는 선형 위상 9/7 필터를 사용하는데, 이는 대칭적(symmetrical)이며 영상압축에 널리 쓰이기 때문이다. 표 1에 합성단의 필터계수를 나타내었다[3].

표 1. 선형 위상 9/7 합성 필터 계수들

	0	1	2	3	4
S_L	0.788486	0.418092	-0.0406894	-0.0645389	.
S_H	-0.852699	0.377403	0.1106240	-0.0238495	-0.0378285

일반적인 균일 양자화는 계수를 양자화 인자 Q 로 나

적응 양자화를 이용한 디지털 워터마킹

누어 근처의 정수 값으로 반올림하는 것이다. 여기서 양자화 인자는 방향과 레벨에 따른 양자화 인자의 집합이므로 양자화 행렬로 나타낸다.

특정 밴드에 대해, 양자화 인자 Q 로 양자화할 경우 구간 $[-Q/2, Q/2]$ 범위 안에서 에러 값을 갖는다. 에러 영상은 이 에러 값에 비례하는 기저함수에 대한 크기의 격자(lattice)의 합이다. 그러므로 특정한 Q 에 기인한 에러의 가시성을 예측하기 위하여, 각각의 기저함수에 대한 가시적 임계치를 추정하여야 한다.

기저함수에 대한 임계치를 구함에 있어서, 잡음 임계치와의 양적인 차에 대한 간단한 공간적 확률 합 모델에 이용한다[3].

$$\frac{Y_{basis}}{Y_{noise}} = \frac{A_{basis}}{A_{noise}} \left[\sum_{i=1}^N |D_i|^\beta \right]^{1/\beta} \quad (2)$$

그레이 스케일 DWT 잡음에 대한 임계치 모델링 방법은 식 (3)과 같다. 여기서 DWT 잡음은 공간주파수 ($f = \nu 2^{-l}$, r 은 해상도)와 방향의 함수로 나타낸다[3].

$$\log Y = \log a + k(\log f - \log g_{\theta})^2 \quad (3)$$

여기서 Y 는 그레이 스케일 잡음이며, g_{θ} 는 방향의 함수로 최소이동(minimum shift)값이고, a 는 최소 임계치이다.

양자화 인자 Q 로 양자화할 경우, 예상할 수 있는 최대 양자화 에러 값은 $Q/2$ 이다. 결과적인 잡음의 크기는 근사적으로 $A_{\lambda, \theta} \cdot Q/2$ 가 된다고 할 때, 식 (4)로 양자화 행렬이 모델링된다.

$$Q_{\lambda, \theta} = 2y_{\lambda, \theta} / A_{\lambda, \theta} \quad (4)$$

$A_{\lambda, \theta}$ 는 기저함수의 크기이다. 식 (3)과 (4)를 조합하면, 식 (5)와 같다.

$$Q_{\lambda, \theta} = \frac{2}{A_{\lambda, \theta}} a 10^{\left(k \log \frac{2^l f_{\theta} g_{\theta}}{r} \right)^2} \quad (5)$$

이고, 표 2는 식 (5)로 계산된 양자화 행렬이다.

표 2. 4레벨 양자화 요소, $Q_{\lambda, \theta}$

방향 (θ)	레벨(λ)			
	1	2	3	4
1	14.05	11.11	11.36	14.5
2	23.03	14.68	12.71	14.16
3	58.76	28.41	19.54	17.86
4	23.03	14.69	12.71	14.16

3.2 적응 양자화 과정

표 2에 구해진 임계치는 단일 배경을 갖는 신호에 대해 구해진 값이다. 웨이블릿 양자화는 계수의 편차에 따른 양자화 인자를 갖기에, 복합 배경(complex background)에선 임계치는 증가한다.

적응 양자화 과정은 삽입할 밴드의 편차를 구해진 모델에 적용하는 것이다. 즉,

$$\tilde{\sigma}_{\lambda, \theta}^2 = D_{\lambda, \theta}^{-2} \sigma_{\lambda, \theta}^2 \quad (6)$$

이며, 여기서 $D_{\lambda, \theta}(Q_{\lambda, \theta}/2)$ 는 가시적 임계치이다. 구해진 가시적 밴드의 편차($\tilde{\sigma}_{\lambda, \theta}$)는 양자화 인자를 적응적으로 조절한다.

$$\begin{aligned} \tilde{Q}_{\lambda, \theta} &= 2D_{\lambda, \theta} \sqrt{1 + \tilde{\sigma}_{\lambda, \theta}^2} \\ &= 2\sqrt{D_{\lambda, \theta}^2 + \sigma_{\lambda, \theta}^2} \end{aligned} \quad (7)$$

IV. 실험 결과

제안된 기법의 성능을 평가하기 위해서 그레이스케일 256×256 크기의 barbara 영상과 lena 영상을 사용하였다. 그림 3의 (a)는 원본 영상이고, (b)는 워터마크가 삽입된 영상이다. 워터마크는 256길이의 이진 워터마크를 사용하였다. 성능비교를 위하여, 웨이블릿 기반의 양자화 개념을 도입한 Kundur의 워터마킹 방법과 비교하였다[1]. 이 두 방법의 중요한 차이는 양자화 인자를 결정함에 있어서, 강인함과 영상의 시각적 손상의 트레이드 오프 개념 도입여부에 있다. 두 방법의 비교를 위하여 워터마크된 영상을 매디안 필터링, 크로핑, 부가잡음인가, JPEG 압축 순으로 왜곡시켰다. 매디안 필터링의 경우 $M \times M$ 필터크기로, 크로핑은 원본영상에 대한 $N\%$ 로, 부가잡음 인가는 다양한 PSNR로, 그리고 JPEG 압축은 압축비에 따른 상관계수 값을 측정하였다. 실험결과 그림 4에서 보듯 제안된 워터마킹 기법이 크로핑을 제외한 세가지 영상왜곡에 대해 높은 상관계수 값을 나타내었다.

효과적인 워터마크를 추출하기 위하여, 워터마크는 가장 낮은 해상도 레벨에 삽입한다. 실험결과 제안된 방법의 상관 계수가 kundur방법 보다 우수함을 알 수 있다.



그림 3. (a) 원본영상 (b) 워터마크된 영상

V. 결론

본 논문에서는 HVS와 웨이블릿 변환을 이용한 워터마킹 방법을 제안하였다. 웨이블릿 변환된 계수를 인간 시각 시스템이 지각하지 못하는 양자화 인자로 양자화함으로써 워터마크를 삽입할 수 있었다. 또한 실험결과 제안한 워터마킹 방법이 다양한 신호왜곡에 견고함을 보여 주었다.

향후 연구과제는 더 강인하게 워터마크를 삽입하는 방법과, 다른 웨이블릿 필터에 대해서 양자화 인자를 구하는 모델을 만드는 것이다.

참고 문헌

- [1] Deepa Kundur and D. Hatzinakos, "Digital watermarking using multiresolution wavelet decomposition", Proc. IEEE Int. Conference on, Vol. 5, 1998.
- [2] I. J. Cox, J. Kilian, T. Shmoon, "Secure spread spectrum watermarking for image, audio, and video", Proc. ICIP'96, Vol. 3, pp. 243-246, 1996.
- [3] A. B. Watson, G. Y. Yang, J. A. Solomon, and J. Villasenor, "Visibility of wavelet quantization noise", Image Processing, IEEE Trans on, Vol. 6, pp. 1164-1175, 1997.
- [4] X. G. Xia, C. G. Boncelet, G. R. Arce, "A multiresolution watermark for digital images", Image Processing, Proc. Int. Conference on, Vol. 1, pp. 548 -551, 1997.
- [5] B. Sklar, *Digital communications fundamentals and applications*, Prentice Hall.
- [6] R. B. Wolfgang, E. J. Delp, "A Watermark for digital images", Image Processing, Proc. Int. Conference on, Vol. 3, pp. 219-222, 1996.

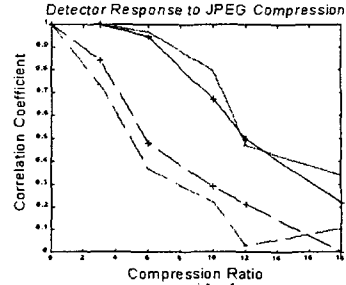


그림 4. 실선은 제안된 방법, 파선은 [1]에 대한 실험결과이다. '+'는 babara 영상, '•'는 lena 영상이다.

