

QIM 워터마킹 방식에서의 양자화 구간 간격 최적화에 관한 연구*

이윤호,^{1†} 이광우,¹ 김승주,¹ 원동호,^{1‡} 양형규²

¹성균관대학교 정보통신공학부 정보보호연구소, ²강남대학교 컴퓨터미디어공학부

A Study on Optimizing Quantization Steps for QIM Watermarking Schemes*

Yunho Lee,^{1†} Kwangwoo Lee,¹ Seungjoo Kim,¹ Dongho Won,^{1‡} Hyungkyu Yang²

¹Information Security Group, School of Information and Communication
Engineering Sungkyunkwan University

²Department of Computer & Media Engineering Kangnam University

요 약

본 논문에서는 QIM(Quantization Index Modulation) 워터마킹 방식에서 워터마크 삽입 후의 이미지 품질과 워터마크의 강인성을 결정하는 양자화 구간 간격을 크게 하기 위한 방법을 제안한다. 일반적으로 양자화 구간 간격을 크게 할 경우, 삽입 강도는 높아지나 워터마크 삽입 후의 이미지 품질이 저하되며, 작게 하는 경우는 그 반대가 된다. 그러나 원본 이미지와 워터마크 삽입 후의 예상 결과를 이용하여 양자화 구간 간격을 결정하면 삽입 강도와 워터마크 삽입 후의 이미지 품질을 모두 높일 수 있다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a method for enlarging quantization steps of a QIM watermarking scheme which determines the perceptual quality and robustness of the watermarked images. In general, increasing the quantization steps leads to good robustness but poor perceptual quality of watermarked images and vice versa. However, if we choose the quantization steps considering the expected quantization results as well as the original images, we can increase both robustness and perceptual quality of the watermarked images.

Keywords : QIM, Watermarking

1. 서 론

인터넷의 등장과 디지털 카메라, 스캐너 및 프린터 등 디지털 기기의 사용 확대에 의해 디지털 콘텐츠

의 생산과 보급이 급격히 활성화되고 있다. 기존 아날로그 콘텐츠와는 달리 디지털 콘텐츠는 품질 저하없이 무제한으로 복제할 수 있으며, 정교한 워.변조가 가능하다는 특징이 있어 이를 악용한 불법 디지털 콘텐츠 복제가 늘고 있다. 디지털 워터마킹 방식은 이러한 불법 디지털 콘텐츠 복제를 막기 위한 저작권 보호 기술로서 그 중요성이 점차 높아지고 있으며 이에 대한 기술 개발도 활발히 연구되고 있다.

디지털 워터마킹 방식은 저작권 보호 방식이나 워

접수일 : 2005년 9월 21일 ; 채택일 : 2006년 1월 25일

* 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT 연구센터(ITRC) 육성·지원사업의 연구결과로 수행되었음.

† 주저자 : leeyh@security.re.kr

‡ 교신저자 : dhwon@security.re.kr

터마크 삽입 영역 등에 따라 다양하게 구분할 수 있는데, 저작권 보호 방식에 따라 강인한 워터마킹 방식과 깨어지기 쉬운 워터마킹 방식으로 구분할 수 있으며 워터마크 삽입 대상에 따라 공간 영역 워터마킹 방식과 주파수 영역 워터마킹 방식으로 나눌 수 있다. 이 가운데 저작권 보호를 위해 적합한 방식은 주파수 영역에 삽입하는 강인한 워터마킹 방식인데, 일반적으로 주파수 공간에 워터마크를 삽입하는 방식이 공간 영역을 이용하는 것보다 강인하며, 주파수 영역으로는 DCT(Discrete Cosine Transform)^(3,4,13)와 함께 DWT(Discrete Wavelet Transform)^(12,14)를 일반적으로 많이 사용한다. 워터마킹에 적용하는 기술도 확산대역(spread spectrum)을 이용하는 방식⁽³⁾, SVD(Singular Value Decomposition)를 이용하는 방식⁽⁹⁻¹⁴⁾ 및 QIM을 이용하는 방식^(5-8,14) 등 다양하게 제안되어 있다.

이 가운데 B.Chen과 G.W.Wornell에 의해 제안된 QIM을 이용하는 워터마킹 방식은 워터마크 검출시 원본 이미지가 필요없는 블라인드 워터마킹 방식으로 확산대역을 이용하는 방식이나 LBM (Low Bit Modulation) 방식보다 강인한 장점을 가지고 있다. QIM 방식은 워터마크 삽입이나 검출시 동일한 양자화 구간 간격을 사용해야 하기 때문에 워터마크를 검출하기 위해서는 양자화 구간 간격을 알려줘야 하는데, 이렇게 알려진 양자화 구간 간격을 이용하면 누구라도 워터마크를 삭제할 수 있다는 단점이 있다. 이러한 문제는 양자화 구간 간격을 크게 하여 워터마크를 삭제할 경우 이미지가 심각하게 훼손되도록 하는 방법을 이용하여 해결할 수 있지만 양자화 구간 간격을 크게 하면 워터마크 삽입시에도 이미지가 훼손된다는 문제가 있다.

본 논문에서는 양자화 구간 간격을 일더라도 워터마크를 삭제할 수 없도록 하기 위해 원본 이미지의 훼손을 최소화하면서 양자화 구간 간격을 크게 할 수 있는 방식을 제안한다. 제2절에서는 QIM 워터마킹 방식과 관련된 기존 연구 결과를 살펴보고, 제3절에서는 양자화 구간 간격을 크게 할 수 있는 QIM 워

터마킹 방식을 제안한다. 제4절에서 실험 결과를 통해 제안한 방식과 기존 방식의 효율성을 비교하고 마지막으로 제5절에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

1. 디지털 이미지 워터마킹

디지털 이미지 워터마킹이란, 저작권자의 정보인 워터마크를 디지털 이미지에 삽입하여 저작권을 증명할 수 있도록 하는 방식을 말한다. 이 때 워터마크를 삽입한 디지털 이미지는 누구나 워터마크의 존재 여부를 확인할 수 있지만 디지털 이미지에 심각한 훼손 없이 워터마크를 삭제하는 것이 불가능하도록 해야 한다. 원본 이미지를 x , 워터마크를 m 이라 하고, 워터마크를 삽입한 이미지를 y 라고 했을 때 일반적인 워터마킹 방식을 그림 1과 같이 나타낼 수 있다⁽⁵⁾.

그림 1에서 $E_k(\cdot)$ 와 $D_{k'}(\cdot)$ 는 각각 워터마크 삽입 함수 및 검출 함수를 나타내며 n 은 통신로 상의 잡음 또는 워터마크를 삭제하기 위한 이미지 압축, 회전 등 이미지 처리를 통한 공격을 의미한다. k 와 k' 은 각각 워터마크 삽입 및 검출에 사용하는 키를 나타내는데, $k = k'$ 인 경우 대칭형 워터마킹 방식이라고 하며, $k \neq k'$ 인 경우를 비대칭형 워터마킹 방식이라고 한다. 또한, 워터마크 검출시 원본 이미지가 필요없는 경우 블라인드 워터마킹(blind watermarking) 방식이라고 하며 그렇지 않은 경우 논블라인드 워터마킹(non-blind watermarking) 방식이라고 한다.

2. QIM 워터마킹 방식

B.Chen과 G.W.Wornell은 워터마크 삽입시의 원본 이미지 훼손 정도와 워터마크 삽입 강도 및 삽입되는 워터마크의 데이터량 사이의 상관 관계를 일반화하고 이를 최적화하기 위한 워터마킹 모델로서 QIM(Quantization Index Modulation)을 제안하였다. QIM 워터마킹 방식은 삽입되는 워터마크 m 에 의해 양자화 함수가 결정되고 결정된 양자화 함수에 의해 원본 이미지 x 를 양자화하여 워터마크가 삽입된 이미지 y 를 얻는 방식이다. 예를 들어, 원본 이미지 x 의 한 신호에 한 비트의 워터마크 $m \in \{0,1\}$ 을 삽입한다면 워터마크가 삽입된 이미지 y 는 양자화 함수 $q(x,m)$ 에 의해 결정되는데, 이 경

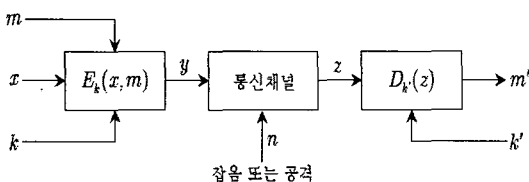


그림 1. 일반적인 워터마킹 모델

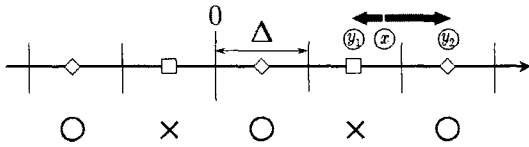


그림 2. QIM 워터마킹 방식

우 양자화 함수는 $q(x,0)$ 과 $q(x,1)$ 의 두가지가 사용된다.(그림 2 참조)

그림 2에서 ○와 ×는 각각 양자화 함수 $q(\cdot;1)$ 과 $q(\cdot;0)$ 을 나타내는데, 이 두 개의 양자화 함수는 구간 간격을 Δ 로 하는 균일한 스칼라 양자화 함수이다. 이 경우 양자화 결과는 각각 ◇와 □가 되는데, 이러한 QIM 워터마킹 방식을 디더 모듈레이션이라고 한다^[5]. 이 경우 입력 값 x 는 $m=1$ 일 때 y_2 로 양자화되며 $m=0$ 일 때 y_1 으로 양자화된다.

원본 이미지 $x=(x_1, \dots, x_n)$, 양자화 구간 간격 $\Delta=(\Delta_1, \dots, \Delta_n)$ 그리고 워터마크 $m=(m_1, \dots, m_n)$ 이라고 했을 때, 디더 모듈레이션 방식을 정리하면 다음과 같다.

- ① $i=1, \dots, n$ 에 대해 다음 과정을 반복한다.
- ④ $d = \lfloor x_i / \Delta_i \rfloor$
- ⑤ If $m_i=1$, then If $d \pmod{2} \equiv 0$, then $y_i = d\Delta_i + \Delta_i/2$
Else If $(d \leq x_i)$, then $y_i = (d+1)\Delta_i + \Delta_i/2$
Else $y_i = (d-1)\Delta_i + \Delta_i/2$
- ⑥ If $m_i=0$, then If $d \pmod{2} \equiv 1$, then $y_i = d\Delta_i + \Delta_i/2$
Else If $(d \leq x_i)$, then $y_i = (d+1)\Delta_i + \Delta_i/2$
Else $y_i = (d-1)\Delta_i + \Delta_i/2$
- ② (y_1, \dots, y_n) 과 $(\Delta_1, \dots, \Delta_n)$ 을 공개

3. 왜곡 보상 QIM 워터마킹 방식

QIM 워터마킹 방식을 이용하면 양자화로 인해 원본 이미지가 왜곡되는데, 이러한 왜곡은 양자화로 인한 오류의 일정 부분을 양자화 결과에 더함으로써 어느 정도 보상할 수 있다. B.Chen과 G.W.Wornell은 이렇게 양자화로 인한 왜곡을 줄일 수 있는 QIM 워터마킹 방식을 발표했으며, 이를 왜곡 보정 QIM 워터마킹(distortion compensated QIM) 방식이라고 한다^[7]. 양자화로 인한 왜곡을 e 라고 했을 때, 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 아래의 식 (2)와 같이 e 의 일정 부분을 양자화 결과에 더해 주면 워터마크의 검출에는 영향을 미치지 않으

면서 워터마크가 삽입된 이미지 y 의 왜곡을 줄일 수 있다.

$$e = q(x, m) - x \tag{1}$$

$$y = q(x, m) - (1 - \alpha)e, \quad (0 < \alpha \leq 1) \tag{2}$$

하지만, 왜곡 보정 QIM 워터마킹 방식은 워터마크가 삽입된 이미지의 품질은 높이지만 삽입 강도는 그만큼 낮아지기 때문에 워터마크의 삽입 강도와 이미지 품질을 모두 높이지는 못한다.

4. Bao의 이미지 적응형 워터마킹 방식

2005년 Bao는 원본 이미지의 특성을 분석하여 양자화 구간 간격을 결정하는 이미지 적응형 워터마킹 방식을 제안하였다^[14]. 이 방식은 DWT 상에서 SV(Singular Value)를 계산한 후 이 값의 특성을 분석하여 양자화 구간 간격을 결정하게 되는데, 이미지의 SV는 약간의 잡음이나 이미지 왜곡이 있어도 그 값이 크게 변하지 않는 특성이 있어 워터마킹 방식에 자주 이용된다. SV에 대한 보다 자세한 내용은 ^[1,2]에 잘 설명되어 있다.

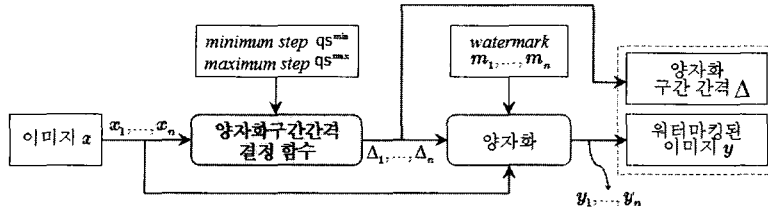
양자화 구간 간격 계산 과정

- ① 원본 이미지 $x=(x_1, \dots, x_i)$ 에 대해 DWT를 실행한다. 그리고 각 계수를 $k \times k$ 크기를 갖는 n 개의 블록 $B_i (i=1, \dots, n)$ 로 나누고 각 블록에 대해 SVD를 실행한다.
- ② 블록 B_i 에 대해 평균값 m_{B_i} 와 표준편차 σ_{B_i} 를 계산한다.
- ③ 블록 B_i 에 대해 $w_i = c_m m_{B_i} + c_\sigma \sigma_{B_i}$ 를 계산한다. 단, c_m 과 c_σ 는 m_{B_i} 와 σ_{B_i} 에 대한 가중치이다.
- ④ 모든 w_i 에 대해 $w_M = \max(w_i)$, $w_m = \min(w_i)$ 를 계산한다.
- ⑤ 블록 B_i 에 대한 양자화 구간 간격 Δ_i 를 식 (3)과 같이 계산한다.

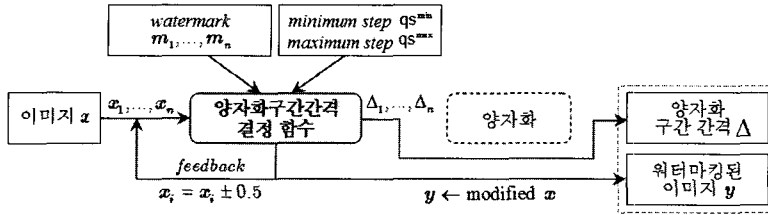
$$\Delta_i = qs^{\min} + (qs^{\max} - qs^{\min}) \frac{w_i - w_m}{w_M - w_m} \tag{3}$$

여기서 qs^{\min} 과 qs^{\max} 는 양자화 구간 간격의 최소값과 최대값을 나타내며, 사용자에게 의해 결정된다.

Bao는 실험에서 qs^{\min} 은 9, qs^{\max} 는 36과 45를



(a) Bao의 양자화 구간 간격 결정 및 워터마킹 방식



(b) 제안한 양자화 구간 간격 결정 및 워터마킹 방식

그림 3. Bao의 알고리즘(a)과 제안한 알고리즘(b) 비교

이용하였으며, c_m 과 c_s 는 각각 1.0과 3.0으로 하였다.

- ① 블록 B_i 의 SV 벡터를 $v = (\lambda_1^i, \dots, \lambda_k^i)$ 라고 했을 때, $n_v = |v| + 1$ 을 계산한다.
- ② 블록 B_i 에 대해 이미 계산된 양자화 구간 간격 Δ_i 를 이용하여 $S = \lfloor n_v / \Delta_i \rfloor$ 를 계산한다.
- ③ If $(m_i = 1 \wedge S \pmod{2} \equiv 1)$, then $S = S + 1$
If $(m_i = 0 \wedge S \pmod{2} \equiv 0)$, then $S = S + 1$
- ④ $n_v' = \Delta_i S + \Delta_i / 2$ 를 계산하고, 원래의 SV 벡터 $(\lambda_1^i, \dots, \lambda_k^i)$ 를 $(\gamma_1^i, \dots, \gamma_k^i) = (\lambda_1^i, \dots, \lambda_k^i) \times (n_v' / n_v)$ 로 수정한다.
- ⑤ 수정된 SV 벡터를 이용하여 블록을 재구성한다.

워터마크가 삽입된 이미지의 i 번째 블록을 \tilde{B}_i 라고 하면, 워터마크 검출 과정은 다음과 같다.

- ① 블록 \tilde{B}_i 의 SV 벡터를 $u = (\gamma_1^i, \dots, \gamma_k^i)$ 라고 했을 때, $\tilde{n}_v = |u| + 1$ 을 계산한다.
- ② $S = \lfloor \tilde{n}_v / \Delta_i \rfloor$ 를 계산한다.
- ③ If $S \pmod{2} \equiv 0$ 이면 삽입된 워터마크 비트는 1이고, 아니면 0이다.

III. 제안한 워터마킹 방식

1. 양자화 구간 간격 결정 알고리즘

디지털 이미지에 워터마크를 삽입하는 알고리즘은

더 많은 정보를 보다 강인하게 삽입하면서 왜곡을 최소화해야 좋은 알고리즘이라고 할 수 있다. 하지만, 이 세가지는 서로 상충되는 조건인데, 예를 들면 강인하게 삽입하면 워터마크가 삽입된 이미지의 품질이 저하되며 많은 정보를 삽입하게 되면 그만큼 강인성은 떨어지는 것이 일반적이다. Bao는 원본 이미지의 정보를 이용하여 QIM 워터마킹 방식에서 사용하는 양자화 구간 간격을 결정함으로써 고정된 상수값을 양자화 구간 간격으로 이용하는 경우보다 이미지의 품질을 높인 방식을 제안하였다. 본 논문에서는 원본 이미지는 물론이고 워터마크가 삽입된 결과값을 예측하여 양자화 구간 간격을 결정하도록 하여 서로 상충되는 조건인 강인성과 이미지 품질을 모두 개선할 수 있는 QIM 워터마킹 방식을 제안하고자 한다. Bao의 방식과 제안한 방식을 비교해 보면 그림 3과 같다.

제안한 방식을 Bao의 방식과 비교하여 개괄적으로 설명하면, Bao의 방식이 워터마크 m_i 와 양자화 구간 간격 Δ_i 을 이용하여 양자화 과정을 거쳐 원본 이미지 x_i 에 워터마크를 삽입한 y_i 를 만드는 반면, 제안한 방식은 원본 이미지 x_i 와 유사한 y_i 를 생성할 수 있는 Δ_i 를 결정한다. 즉, 명시적인 양자화 과정을 거치지 않지만 양자화 간격을 결정하는 과정에 이미 양자화 과정이 포함되어 있다고 볼 수 있다.

원본 이미지 $x = (x_1, \dots, x_n)$ 에 대해 x_i, Δ_i, y_i 를 각각 i 번째 입력 값, 양자화 구간 간격 및 양자화 결과 값이라고 했을 때 QIM 워터마킹 방식으로 2진 디더

표 1. $x_i = 351$ 인 경우 가능한 양자화 구간 간격 Δ_i 의 값(6 단계까지 계산한 경우)

m = 1						m = 0							
c = 0	c = 2	c = 4	c = 6	c = 8	c = 10	...	c = 1	c = 3	c = 5	c = 7	c = 9	c = 11	...
702	140.4	78	54	41.29	33.43	...	234	100.29	63.82	46.8	36.95	30.52	...

모듈레이션을 사용할 경우 Δ_i 는 아래의 두 집합 $\Delta_{m=0}$ 와 $\Delta_{m=1}$ 에서 선택할 수 있다.

$$\Delta_{m=0} = \left\{ \frac{2y_i}{2c+1} \right\}, c = 1, 3, 5, \dots \quad (4)$$

$$\Delta_{m=1} = \left\{ \frac{2y_i}{2c+1} \right\}, c = 0, 2, 4, \dots \quad (5)$$

따라서, $y_i = x_i$ 로 한다면 워터마크 삽입 후의 왜곡 값이 0이 되는 최적의 Δ_i 를 계산할 수 있게 된다. 예를 들면, $x_i = 351$ 이라고 했을 때 가능한 전체 양자화 구간 간격은 다음의 표 1과 같다.

즉, 비트 1을 삽입하고자 한다면 c 값으로 0, 2, 4, 6, ... 등 짝수 양의 정수를 이용하며, 비트 0을 삽입하고자 한다면 c 값으로 1, 3, 5, 7, ... 등 홀수 양의 정수를 이용한다. 아래의 표1의 결과를 보면 1을 삽입할 경우 가능한 양자화 구간 간격은 702($c=0$), 78($c=4$) 그리고 54($c=6$)이며, 0을 삽입할 경우 가능한 양자화 구간 간격은 234($c=1$)이다.

직관적으로 $\max_{c=0, 2, \dots} \left(\frac{2y_i}{2c+1} \right)$ 는 $2y_i$ 이며, $\max_{c=1, 3, \dots} \left(\frac{2y_i}{2c+1} \right)$ 는 $\frac{2}{3}y_i$ 이다. 그러나, 양자화 구간 간격은 정수로 구성된다고 가정했을 때, $\Delta_{m=0}$ 는 최소한 하나 이상의 정수를 가지지만 $\Delta_{m=1}$ 의 경우는 그렇지 않다. 정수 양자화 구간 간격을 찾는 과정은 다음과 같다.

- ① 양자화 구간 간격의 최소값과 최대값인 q_s^{\min} 과 q_s^{\max} , 그리고 이미지 왜곡 임계값 t 를 정한다.
- ② $x_i' \leftarrow x_i$
- ③ $m=0$ 이면 $c=0, 2, 4, \dots$ 에 대해 정수 양자화 구간 간격 q_{s_i} 를 다음과 같이 계산한다.

$$q_s^{\min} \leq q_{s_i} = \max_{\vee c} \left(\frac{2x_i'}{2c+1} \right) \leq q_s^{\max} \quad (6)$$

- ④ $m=1$ 이면 $c=1, 3, 5, \dots$ 에 대해 식 (6)을 이용하여 정수 양자화 구간 간격 q_{s_i} 를 계산한다.

- ⑤ 만약 식 (6)을 통한 계산에서 정수 양자화 구간 간격이 없다면, $x_i' = x_i \pm 0.5$ 를 통해 0.5를 가감한다.
- ⑥ $|x_i'| \leq |x_i| + t$ 를 만족하는 동안 단계 ③부터 다시 실행한다.
- ⑦ 만약 $|x_i'| > |x_i| + t$ 가 되면, 정수 양자화 구간 간격을 결정할 수 없는 경우이므로 양자화하지 않고 $y_i = x_i$ 로 한다.

위의 과정 ⑥과 ⑦에서 사용하는 임계값 t 는 응용에 따라 선택할 수 있는 값으로서 워터마킹 후 이미지 왜곡의 정도를 결정한다. 만약 이미지 왜곡이 극히 적어야 하는 경우라면 이 값을 5~10정도로 작게 설정할 수도 있고 그렇지 않은 경우는 10~20정도로 크게 설정할 수도 있다. 하지만, t 를 작게 설정할 경우 정수값을 갖는 양자화 구간 간격이 없을 확률이 높아지고, 이 경우 $y_i = x_i$ 가 되기 때문에 워터마크 검출시 해당 부분(워터마크의 해당 비트)이 정확하게 검출되지 않을 수도 있다.

2. 양자화 구간 간격의 범위

양자화 구간 간격의 최소값과 최대값을 적절히 선택하는 것은 워터마크 삽입의 강인성을 높이고 이미지 왜곡을 줄이는데 있어 중요하다. 양자화 구간 간격의 범위인 $[q_s^{\min}, q_s^{\max}]$ 를 최대한 넓게 결정한다면 $[1, 2\max(x_i)]$ 가 되며 이 경우 이미지 왜곡은 0에 가깝도록 할 수 있지만 이미지 왜곡이 0이라는 것은 다시 말해 원본 이미지가 공개된다는 것과 마찬가지로 때문에 양자화 구간 간격의 범위를 최대한으로 할 수는 없다. 본 논문에서는 양자화 구간 간격의 전송에도 적합하고 높은 강인성을 갖도록 양자화 구간 간격을 크게 하기 위해 $[1, 255]$ 를 이용하도록 한다.

IV. 실험 결과 및 성능 비교

본 실험에서는 일반적으로 많이 사용하는 DWT와

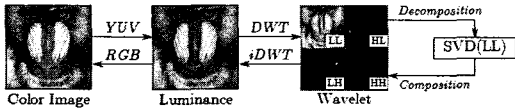


그림 4. 워터마킹 실험 과정

SVD를 이용한 2진 디더 모듈레이션 기반의 QIM 워터마킹 방식을 이용하도록 한다. 또한, 편의를 위해 원본 이미지의 크기는 $N \times N$ 이라고 가정한다. 실험에 사용한 전체 워터마킹 과정을 간략히 설명하면 다음과 같다(그림 4 참조).

- ① 흑백 이미지에 DWT를 실행한다. 만약 컬러 이미지라면 다음 식 (7)을 이용하여 YUV로 변환한 후 휘도인 Y만을 이용한다.

$$\begin{pmatrix} Y \\ U \\ V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} +0.299 & +0.587 & +0.144 \\ -0.148 & -0.289 & +0.437 \\ +0.615 & -0.515 & -0.1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (7)$$

- ② LL 영역을 $i = 1, \dots, (N/8)^2$ 에 대해 4×4 크기의 블록 B_i 로 나눈다.
- ③ 블록 B_i 에 대한 SV 벡터 $v_i = (\lambda_1^i, \lambda_2^i, \lambda_3^i, \lambda_4^i)$ 와 $x_i = |v_i|$ 를 계산한다.
- ④ 양자화 결과 $y_i = E(x_i, \cdot)$ 를 계산하고 v_i 를 이용하여 $v_i' = v_i \times (y_i/x_i)$ 를 계산한다.
- ⑤ iDWT를 이용하여 공간 도메인으로 변환하고

표 2. 제안한 방식을 이용한 QIM 워터마킹 결과($t = 25$)

- (1) 전체 결정해야 할 양자화 구간 간격이 4,096인 상태에서, 정수로 계산된 양자화 구간 간격의 수를 나타낸다.
- (2) 양자화의 결과로 왜곡된 최대값을 나타낸다.
- (3) 계산된 양자화 구간 간격을 저장하는데 필요한 공간을 나타낸다.

Image	qs^{\min}	qs^{\max}	No. of QSs ⁽¹⁾	Max ⁽²⁾ Distortion	Watermarked PSNR	QSs' Length in Bytes ⁽³⁾
Lena (color) 512x512	45	100	4,096(100%)	6.0	62.71	4KB
	45	150	4,096(100%)	4.5	64.95	4KB
	95	150	4,084(99.7%)	25.0	55.19	4KB
	1	$2x_i$	4,096(100%)	0.5	70.72	8KB
	1	255	4,096(100%)	3.0	67.97	4KB
Baboon (color) 512x512	45	100	4,096(100%)	6.0	62.50	4KB
	45	150	4,096(100%)	4.5	64.95	4KB
	95	150	4,091(99.9%)	25.0	59.58	4KB
	1	$2x_i$	4,096(100%)	0.5	70.68	8KB
1	255	4,096(100%)	2.0	68.06	4KB	
Peppers (color) 512x512	45	100	4,085(99.7%)	25.0	58.79	4KB
	45	150	4,096(100%)	18.0	62.32	4KB
	95	150	3,977(97.1%)	25.0	51.96	4KB
	1	$2x_i$	4,096(100%)	0.5	70.81	8KB
	1	255	4,096(100%)	2.0	68.26	4KB

표 3. 제안한 방식과 Bao의 방식 비교

Image	Scheme	Perceptual Quality (PSNR)	Robustness(BER)			Step Size
			JPEG(50%)	JPEG(10%)	Median(4x4)	
Lena	Bao	41.66	3.857	24.487	31.152	9-36
	Proposed	67.95	1.758	7.979	19.979	1-255
Baboon	Bao	40.73	0.415	16.016	42.944	9-36
	Proposed	68.08	0.008	7.251	18.879	1-255
Peppers	Bao	41.28	3.223	20.288	28.638	9-36
	Proposed	68.83	2.222	7.819	19.629	1-255

필요하면 RGB로 변환한다.

표 2는 제안한 방식을 이용하여 다양한 양자화 구간 간격 범위에 대해 워터마크를 삽입했을 때의 이미지 품질을 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)로 측정된 결과이다. 측정 결과에서 보듯이 워터마크를 삽입한 이후 PSNR은 51.96~70.81로 상당히 높게 나타났다.

표 3은 Bao의 방식과 제안한 방식의 강인성 및 이미지 품질을 비교한 결과이다. 이미지 품질은 PSNR로 측정했으며, 강인성은 검출된 워터마크에 대한 BER(Bit Error Rate)로 측정하였다.

실험 결과를 보면 이미지 품질의 경우 Bao의 방식이 40.73~41.63을 보인 반면 제안한 방식은 67.95~68.33으로 제안한 방식이 상당히 높게 나왔으며 Bao의 방식이 제안한 방식보다 검출된 워터마크

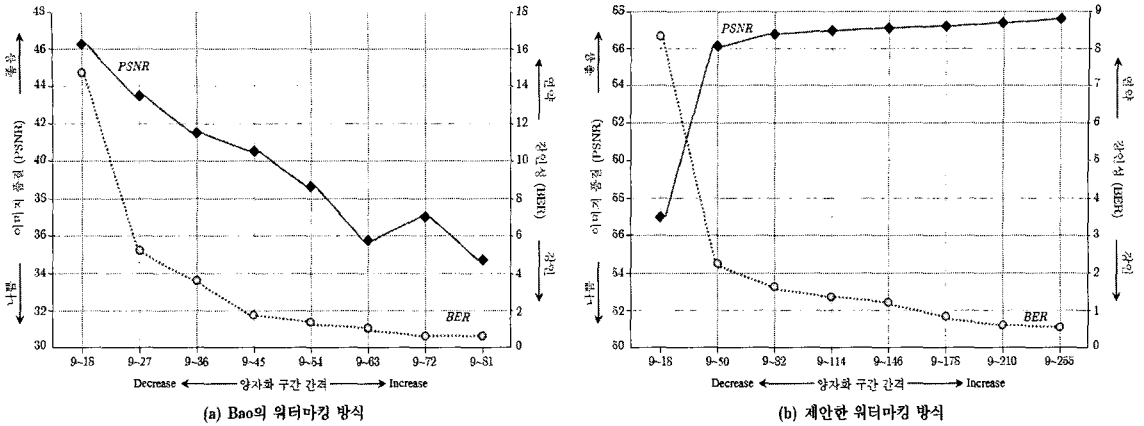


그림 5. Bao의 방식(a)과 제안한 방식(b)의 양자화 구간 간격 변화에 따른 이미지 품질(PSNR)/강인성(BER)의 상관 관계

크의 오류율이 높아 제안한 방식이 강인성에서도 더 나은 것으로 나타났다. 양자화 구간 간격을 바꿔가면서 이미지 품질과 강인성을 측정한 실험의 경우 Bao의 방식은 이미지 품질을 높이면 오류율이 증가하는 반면 제안한 방식은 이미지의 품질을 높일 경우 오히려 오류율이 낮아지는 결과를 보였다(그림 5 참조).

V. 결 론

본 논문에서는 원본 이미지인 x 와 함께 양자화 결과에 대한 예측 값을 이용하여 최적의 양자화 구간 간격을 갖는 QIM 워터마킹 방식을 제안하였다. 제안한 방식을 이용할 경우 워터마크가 삽입된 이미지 y 의 왜손을 최소화 하면서 양자화 구간 간격을 크게 할 수 있기 때문에 알려진 양자화 구간 간격을 이용하여 워터마크를 삭제할 경우 이미지가 심각하게 왜손되도록 하였다. 또한, 실험 결과를 통해 이미지 압축 등의 이미지 처리 후에도 워터마크가 검출되는 강인성과 워터마크 삽입 후의 이미지 품질 저하를 기존 Bao의 방식과 비교하였다. 실험 결과에서도 나와 있듯이 기존 방식은 워터마크 삽입 후의 이미지 품질을 높이면 워터마크 검출시의 오류율이 증가하지만 제안한 방식은 높은 PSNR을 유지하는 양자화 구간 간격 후보값 중 높은 값을 선택하기 때문에 워터마크 삽입 후의 이미지 품질은 높으면서 동시에 워터마크 검출시 오류율이 낮아지는 장점이 있다.

참 고 문 헌

[1] H.C.Andrews and C.L.Patterson, "Sin-

gular Value Decomposition(SVD) Image Coding", IEEE Trans. on Communications, vol. COM-24, pages 425-432, 1976

[2] G.H.Golub and C.Reinsch, "Singular Value Decomposition and Least Squares Solutions", Num. Math., vol.14, pages 403-420, 1970

[3] I.J.Cox, J.Killian, T.Leighton, and T.Shamoon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia", IEEE Trans. on Image Processing, vol.6, no.12, pages 1673-1687, 1997

[4] M.D.Swanson, B.Zhu, and A.H.Tewfek, "Transparent Robust Image Watermarking", Proc. of IEEE International Conference on Image Processing, 1996

[5] B.Chen and G.W.Wornell, "Digital Watermarking and Information Embedding Using Dither Modulation", Proc. of IEEE MMSP-98, pages 273-278, 1998

[6] B.Chen and G.W.Wornell, "Dither Modulation: A New Approach to Digital Watermarking and Information Embedding", Proc. of SPIE: Security and Watermarking of Multimedia Contents, pages 342-353, 1999

[7] B.Chen and G.W.Wornell, "Quantiza-

- tion Index Modulation: A Class of Provably Good Methods for Digital Watermarking and Information Embedding", IEEE Trans. on Information Theory, vol.47, no.4, pages 1423-1443, 2001
- [8] B.Chen and G.W.Wornell, "Quantization Index Modulation Methods for Digital Watermarking and Information Embedding of Multimedia", Journal of VLSI Signal Processing Systems for Signal, Image, and Video Technology, Special Issue on Multimedia Signal Processing, vol.27, no. 1-4, pages 7-33, 2001
- [9] V.I.Gorodetski, L.J.Popyack, and V.Samoilov, "SVD-based Approach to Transparent Embedding Data into Digital Images", Proc. Int. Workshop MMM-ACNS, pages 263-274, 2001
- [10] R.Liu and T.Tan, "An SVD-based Watermarking Scheme for Protecting Rightful Ownership", IEEE Trans. on Multimedia, vol.4, no.1, pages 121-128, 2001
- [11] S.Byun, S.Lee, A.H.Tewfik and B. Ahn, "A SVD-Based Fragile Watermarking Scheme for Image Authentication", Digital Watermarking, First International Workshop, IWDW 2002, LNCS 2613, pages 170-178, 2002.
- [12] E.Gamic and A.M.Eskicioglu, "Robust DWT-SVD Domain Image Watermarking: Embedding Data in All Frequencies", Proc. of MM&Sec04, 2004
- [13] F.Huang and Z.H.Guan, "A Hybrid SVD-DCT Watermarking Method Based on LPSNR", Pattern Recognition Letters, vol.25, no.15, pages 1769-1775, 2004
- [14] P.Bao and X.Ma, "Image Adaptive Watermarking Using Wavelet Domain Singular Value Decomposition", IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, vol.15, no.1, pages 96-102, 2005

〈著者紹介〉



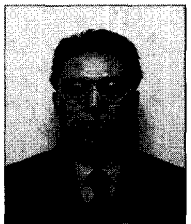
이 윤 호 (Yunho Lee) 학생회원

1991년 2월 : 성균관대학교 정보공학과(공학사)
 1993년 2월 : 성균관대학교 대학원 정보공학과(공학석사)
 1993년~2000년 : 한국통신 연구개발본부 전임연구원
 2000년~2005년 : KBS인터넷(주) 기술지원팀장
 2005년~현재 : 성균관대학교 컴퓨터공학과 박사과정 재학중
 <관심분야> 암호이론, 정보보호 응용, 전자투표, 워터마킹



이 광 우 (Kwangwoo Lee) 학생회원

2005년 2월 : 성균관대학교 정보통신공학부(공학사)
 2005년~현재 : 성균관대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사과정 재학중
 <관심분야> 암호이론, 정보보호, 네트워크 보안, 전자투표, 워터마킹



김 승 주 (Seungjoo Kim) 종신회원

1994년 2월~1999년 2월 : 성균관대학교 정보공학과 (학사, 석사, 박사)
 1998년 12월~2004년 2월 : 한국정보보호진흥원(KISA) 팀장
 2004년 3월~현재 : 성균관대학교 정보통신공학부 교수
 2001년 1월~현재 : 한국정보보호학회, 한국인터넷정보학회, 한국정보과학회,
 한국정보처리학회 논문지 및 학회지 편집위원
 2002년 4월~현재 : 한국정보통신기술협회(TTA) IT 국제표준화 전문가
 2005년 6월~현재 : 교육인적자원부 유해정보차단 자문위원
 <관심분야> 암호이론, 정보보호표준, 정보보호제품 및 스마트카드 보안성 평가, PET



원 동 호 (Dongho Won) 종신회원

1976년~1988년 : 성균관대학교 전자공학과(학사, 석사, 박사)
 1978년~1980년 : 한국전자통신연구원 전임연구원
 1985년~1986년 : 일본 동경공업대 객원연구원
 1988년~2003년 : 성균관대학교 교학처장, 전지전자 및 컴퓨터공학부장, 정보통신대학원
 장, 정보통신기술연구소장, 연구처장.
 1996년~1998년 : 국무총리실 정보화추진위원회 자문위원
 2002년~2003년 : 한국정보보호학회회장
 2003년~현재 : 성균관대학교 정보통신공학부 교수, 한국정보보호학회 명예회장, 정보통신
 부지정 정보보호인증기술연구센터 센터장
 <관심분야> 암호이론, 정보이론, 정보보호



양 형 규 (Hyungkyu Yang) 종신회원

1983년~1985년 : 성균관대학교 전자공학과(학사, 석사)
 1995년 : 성균관대학교 정보공학과(박사)
 1984년~1991년 : 삼성전자 컴퓨터부문 선임연구원
 1995년~현재 : 강남대학교 컴퓨터미디어공학부 교수
 <관심분야> 암호 프로토콜, 네트워크 보안