

인덱스 변환 함수를 이용한 벡터 양자화 기반의 견고한 다중 워터마킹 방법

배 성 호[†] · 송 근 원^{††}

요 약

본 논문에서는 인덱스 변환 함수를 이용한 벡터양자화 기반의 견고한 다중 워터마킹 방법을 제안한다. 기존의 워터마크 삽입 방법들은 단지 하나의 워터마크를 원영상에 삽입하는데 비해 제안한 방법에서는 저작권 보호를 위하여 여러 개의 워터마크를 삽입한다. 제안한 방법은 다양한 공격에서도 벡터양자화 인덱스들의 변화를 최소화시키는 인덱스 변환 함수를 사용하여 견고성을 효과적으로 개선시킨다. 실험을 통하여 제안한 방법이 기존의 벡터양자화 기반의 다중 워터마킹 방법과 비교하여 다양한 공격에서도 견고성이 우수함을 확인하였다.

키워드 : 견고한 워터마킹, 벡터 양자화, 인덱스 변환 함수

Robust Multi-Watermarking Method Based on Vector Quantization Using Index Transform Function

Sung-Ho Bae[†] · Kun-Woen Song^{††}

ABSTRACT

In this paper, we propose a robust multi-watermarking method based on vector quantization using an index transform function. In contrast with the conventional watermark embedding methods to embed only one watermark at a time into the original image, we present a method to embed multiple watermarks for copyright protection. The proposed method efficiently enhances the robustness by index transform function which minimizes changes of vector quantization indices against various attacks. Experimental results show that the proposed method has a good robustness against various attacks compared with the conventional multi-watermarking method based on vector quantization.

Key Words : Robust Watermarking, Vector Quantization, Index Transform Function

1. 서 론

최근에 네트워크의 발달과 보급을 통해 쉽게 디지털 데이터의 전송이 가능해짐으로서 디지털 멀티미디어 데이터의 생산과 사용이 급진전되고 있다. 멀티미디어 데이터의 상업적 가치와 사용 폭이 증가된 반면, 멀티미디어 데이터들이 네트워크와 인터넷을 통해 쉽게 불법적인 복제나 변조가 가능하므로 저작권과 보안상의 문제점이 발생된다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 디지털 데이터 정보 보호 방법으로는 기존의 암호화 알고리즘을 이용하여 주어진 데이터를 암호화하는 방법, 보호 대상 정보에 대하여 접근제어용 방화벽(firewall)을 구축하는 방법, 그리고 디지털 데이터 내부에 소유권을 보장할 수 있는 개인 정보를 은닉하여 확인할 수 있는 기술인 디지털 워터마킹 등이 있다[1]. 이 중 디지털 워터마킹 방

법은 공개키 알고리즘이나 방화벽 등으로 해독된 자료에 대하여 추가적인 정보 보호를 제공하고, 소유권에 대한 법적인 문제 발생시 해결책을 제시할 수 있어, 최근 디지털 워터마킹 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 디지털 워터마킹 기술이 저작권을 효과적으로 보호하기 위해서는 아래와 같은 중요한 요구사항이 만족되어야 한다[2].

- 비가시성(invisibility) : 워터마크 삽입 여부를 시각적으로 판단할 수 없어야 한다. 시각적으로 판단할 수 없는 워터마크의 삽입은 원영상의 내용 변화와 의도적인 제거를 막기 위함이다.
- 견고성(robustness) : 외부의 의도적인 변환 및 공격, 잡음 등에 대하여 견고해야 하며, 여러 가지 신호처리, 영상처리, 기하학적 변환 등에도 견고 해야 한다.
- 명확성(unambiguity) : 삽입된 워터마크를 추출하여 소유권자를 명확히 나타내어야 하고, 여러 가지 공격이 있을 경우에도 정확도가 많이 낮아지지 않아야 한다.

[†] 정 회 원 : 동명정보대학교 공과대학 멀티미디어공학과 부교수
^{††} 정 회 원 : 위덕대학교 게임학부 조교수
논문접수 : 2005년 7월 21일, 심사완료 : 2005년 9월 9일

워터마킹 과정은 워터마크를 영상에 삽입하는 과정과 삽입된 워터마크를 추출하는 과정으로 구분된다. 지금까지 연구되어진 워터마크를 삽입하는 방법은 공간 영역에서 영상의 화소에 워터마크를 직접적으로 삽입하는 방법[3-5]과 DCT(Discrete Cosine Transform), FFT(Fast Fourier Transform), DWT(Discrete Wavelet Transform) 및 VQ(Vector Quantization) 등의 변환 영역에서 워터마크를 삽입하는 방법[2, 6-16]으로 나눌 수 있다. 공간 영역에서의 워터마킹 방법은 단순하고 빠르게 워터마킹을 수행할 수 있는 장점이 있으나 일반적으로 변환 영역에서의 워터마킹 방법보다 다양한 공격에 대해 견고성이 취약한 단점이 있다. 삽입된 워터마크를 추출하는 과정에서 원영상의 필요 유무에 따라 널블라인드(nonblind) 워터마킹 방법과 블라인드(blind) 워터마킹 방법으로 구분된다. 최근에는 워터마크 추출시 원영상이 필요 없는 블라인드 워터마킹이 효율성이 뛰어나 주된 연구 분야가 되고 있다. 그러나 블라인드 워터마킹은 널블라인드 워터마킹 방법보다 다양한 공격에 대한 견고성이 낮은 단점이 있다. 최근에 이러한 단점을 보완하기 위하여 VQ에 기반하여 견고성이 강한 블라인드 워터마킹 방법이 많이 제시되었다[11-16]. 일반적인 VQ 기반 워터마킹 방법은 벡터의 주소를 나타내는 인덱스(index)에 워터마크를 삽입하고 하나의 워터마크를 원영상에 삽입하였으나 최근에 동시에 여러 개의 워터마크를 삽입하는 다중 워터마킹(multi-watermarking) 방법이 제안되었다[15].

본 논문에서는 외부의 다양한 공격에도 견고한 벡터양자화 기반의 다중 워터마킹 방법을 제안한다. 제안한 방법은 블록간의 높은 상관성을 이용하여 벡터의 인덱스를 보다 낮은 인덱스로 변환하는 인덱스 변환 함수를 워터마킹에 적용함으로써 다양한 공격에도 인덱스 변화를 최소화시켜 워터마크의 견고성이 우수하다.

본 논문은 2장에서 기존의 VQ 기반의 다중 워터마킹 방법을 살펴보고, 3장에서 제안한 인덱스 변환 함수를 이용한 다중 워터마킹 방법을 설명한다. 4장에서는 실험을 통하여 제안한 방법과 기존의 방법을 비교하여 성능을 평가하였으며, 5장은 결론 순으로 구성된다.

2. 기존의 VQ 기반의 다중 워터마킹 방법

VQ는 영상 압축 분야에서 높은 압축율에서도 효율적인 성능을 나타내는 블록 기반의 우수한 부호화 방법으로 알려져 있다. VQ는 k 차원 유클리드 공간 R^k 로부터 R^k 의 유한한 부분 집합인 부호책(codebook) $C = \{c_i | i = 0, 1, \dots, N-1\}$ 로의 사상(mapping)으로 정의된다. 여기서 c_i 는 부호 벡터(codevector)이며 N 은 부호책의 크기를 나타낸다. 벡터양자화는 먼저 일반적인 반복 클러스터링(clustering) 방법[17]을 사용하여 수많은 훈련벡터로부터 대표 코드북을 생성한다. 부호기(encoder)에서 영상은 벡터로 분할되고 순차적으로 부호책에서 가장 왜곡이 작은 벡터의 주소인 인덱스를 전

송한다. 복호기(decoder)에서는 부호기와 동일한 부호책을 사용하여 전송 받은 인덱스와 동일한 부호책의 인덱스를 찾아 입력 벡터를 복호화 한다. 압축은 부호벡터 대신 인덱스를 저장 또는 전송하는 과정에서 이루어진다.

VQ 기반의 워터마킹 방법은 부호책 분할에 기반을 둔 방법[11-13]과 인덱스의 특성에 기반을 둔 방법[14-16]으로 분류된다. 부호책 분할에 기반을 둔 워터마킹 방법은 인덱스에 워터마크를 삽입하는 방법이다. 이 방법은 이웃한 부호벡터를 동일한 그룹(cluster)으로 묶어 부호책을 동일한 그룹별로 분할한다. 부호화 과정에서 입력 영상은 블록으로 분할되고 부호책에서 입력 블록과 가장 왜곡이 작은 부호벡터의 인덱스를 찾아내고 워터마크에 따라 다른 클러스트의 인덱스를 저장 또는 전송한다. 이 방법은 워터마크에 따라 복원된 영상에 왜곡이 발생되며, 코드북의 분할과정이 복잡하며 코드북의 크기가 방대해야만 워터마크가 견고하다. 그러므로 낮은 성능을 가진 코드북으로 워터마킹할 경우에 회전 공격과 VQ 압축에 견고성이 취약한 단점이 있다[16]. 최근에 이러한 단점을 해결하기 위한 방법으로 Huang 등[15]은 인접 인덱스들의 특성을 이용하여 영상의 회전과 VQ 압축에 견고하고 동시에 여러 개의 워터마크를 원영상에 삽입하고 추출하는 다중 워터마킹 방법을 제안하였다. Huang 등의 방법에서는 워터마크를 삽입하기 위해 크기가 $A_w \times B_w$ 인 원래의 워터마크 W 를 지정된 비밀키(secret key) key_0 에 의한 의사랜덤(pseudo-random) 수 발생기를 이용하여 식 (1)과 같이 위치가 무작위로 변경된 워터마크 W_p 를 생성한다.

$$W_{p,i} = \text{permute}(W_i, key_0), \quad i = 1, 2, 3 \quad (1)$$

그리고 크기가 $A \times B$ 인 원영상 X 를 크기가 $(A/A_w) \times (B/B_w)$ 인 벡터 $x(m, n)$ 으로 분할하고, 각 벡터 $x(m, n)$ 에 대해 가장 왜곡이 작은 부호벡터 c_i 를 찾아 $x(m, n)$ 에 대응되는 부호책의 주소인 인덱스 i 를 할당하여, X 에 대응되는 식 (2)와 같은 인덱스들의 행렬 Y 를 구한다.

$$\begin{aligned} Y &= VQ(X) = \bigcup_{m=0}^{(A/A_w)-1} \bigcup_{n=0}^{(B/B_w)-1} VQ(x(m, n)) \\ &= \bigcup_{m=0}^{(A/A_w)-1} \bigcup_{n=0}^{(B/B_w)-1} y(m, n) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 $y(m, n)$ 은 (m, n) 위치의 인덱스를 나타낸다. 이진 워터마크를 원영상에 삽입하기 위하여 Huang 등은 VQ 인덱스들을 이진 형식으로 변경하는 극성(polarity) 배열인 P 를 생성하였다. 극성 배열을 생성하기 위한 방법은 일반적인 영상들이 인접 블록들의 VQ 인덱스들이 매우 유사한 특성을 이용하여 식 (3)과 (4)와 같은 인접 블록들에 대한 인덱스의 평균과 분산을 계산하여 식 (5)와 같이 세 개의 극성 배열 P 를 생성하였다.

$$u(m, n) = \frac{1}{9} \sum_{i=m-1}^{m+1} \sum_{j=n-1}^{n+1} y(i, j) \quad (3)$$

$$\sigma^2(m,n) = \left(\frac{1}{9} \sum_{i=m-1}^{m+1} \sum_{j=n-1}^{n+1} y^2(i,j) \right) - u^2(m,n) \quad (4)$$

$$P_i = \bigcup_{m=0}^{(A/A_w-1)(B/B_w-1)} \bigcup_{n=0} p_i(m,n), \quad i = 1,2,3 \quad (5)$$

$$P_1(m,n) = \begin{cases} 1, & \text{if } u(m,n) \geq T \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

$$P_2(m,n) = \begin{cases} 1, & \text{if } \sigma^2(m,n) \geq T \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

$$P_3(m,n) = P_1(m,n) \oplus P_2(m,n) \quad (8)$$

여기서 문턱값 T 는 부호책의 크기 N 의 반인 $N/2$ 으로 설정하였으며, \oplus 는 XOR(exclusive-or) 연산을 나타낸다. 세 개의 이진 워터마크 삽입은 식 (9)와 같이 워터마크와 극성 배열을 XOR 연산을 수행하여 워터마크된 비밀키들을 생성한다.

$$key_i = W_{p,i} \oplus P_i, \quad i = 1, 2, 3 \quad (9)$$

역 벡터양자화 후에 복원영상 X' 과 비밀키 key_i 는 저작권 보호 단체에 등록을 하여 원영상의 저작권을 보호한다. X' 의 화질은 워터마크의 정보를 비밀키에 숨김으로서 벡터양자화 과정에서 생긴 왜곡 이외에는 화질의 저하가 없다.

워터마크의 추출과정은 X' 으로부터 인접 인덱스들의 평균과 분산을 계산한 후 추정된 극성배열 P_i' 을 생성하고 식 (10)과 같이 비밀키 key_i 와 P_i' 을 XOR 연산을 수행하여 무작위로 위치가 변경된 워터마크 $W_{p,i}$ 를 추출한다. 그리고 워터마크의 위치를 변경하는데 사용된 비밀키 key_0 을 이용하여 원래의 위치로 변경함으로써 식 (11)과 같이 추출된 워터마크 W_i' 를 구한다.

$$W_{p,i}' = P_i' \oplus key_i, \quad i = 1, 2, 3 \quad (10)$$

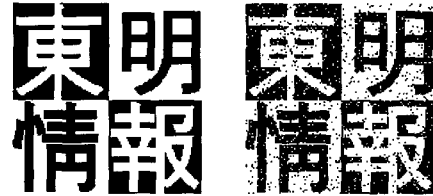
$$W_i' = \text{inverse permute}(W_{p,i}', key_0), \quad i = 1, 2, 3 \quad (11)$$

3. 제안한 인덱스 변환 함수를 이용한 다중 워터마킹 방법

Huang 등의 방법은 2장의 식 (7)과 같이 인덱스들의 분산으로부터 극성 배열을 생성하는데 사용된 문턱값 T 를 부호책의 크기 N 의 반인 $N/2$ 으로 매우 낮게 설정함으로써, P_2 의 극성이 대부분 1로 되는 단점이 있다. XOR 연산의 특성이 1과 이진 워터마크를 XOR 연산할 경우, 워터마크를 반전하므로 복원영상 X' 이 없어도 워터마크의 대부분을 추출할 수 있다. (그림 1)은 부호책의 크기 N 을 512로 하고 512×512 크기의 Lena 원영상을 벡터양자화 한 복원영상 X' 을 나타내



(그림 1) 벡터양자화에 의해 복원된 영상



(a) (b)

(그림 2) 원래의 워터마크와 추출된 워터마크 (a) 삽입된 원래의 워터마크 (b) 비밀키 값만으로 추출된 워터마크

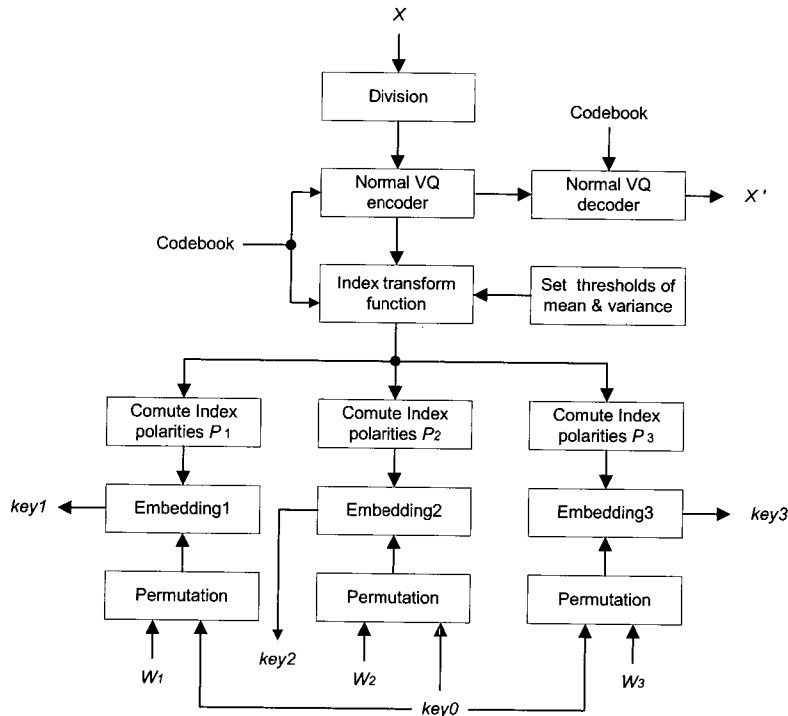
며 원영상과 복원영상과의 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio)은 32.52 [dB]이다. (그림 2)의 (a)와 (b)는 각각 X' 에 삽입된 128×128 크기의 원래의 이진 워터마크와 X' 없이 비밀키 key_2 를 읽어 들여 key_2 값을 반전하여 추출된 워터마크이다. 극성을 결정하는 문턱값을 Huang 등의 방법에서 사용한 부호책의 크기의 반인 256으로 하여 실험한 결과, 총 16384 개의 극성 배열 P_2 원소들 중 극성이 1인 원소의 개수는 15463 개로 나타난다. 즉 전체 극성 배열중 약 94.38 [%]가 극성이 1이 되므로 복원영상 없이 단순히 비밀키 값만으로도 약 94.38 [%]의 워터마크를 정확하게 추출할 수 있다.

본 논문에서는 복원영상과 비밀키가 모두 존재할 경우에만 워터마크를 추출할 수 있는 방법을 제안한다. 제안한 방법은 인접 블록들에 대한 인덱스들의 평균 행렬과 분산 행렬을 오름차순으로 정렬하여 극성 행렬들 원소의 1과 0의 비율을 각각 50 [%]로 하는 평균과 분산에 대한 문턱값 T_1 과 T_2 를 동적으로 설정하여 워터마크를 추출한다.

Huang 등은 분산을 이용한 극성 배열 P_2 를 사용할 경우에 워터마크의 견고성이 가장 우수하다는 결과를 제시하였다 [14,15]. 이는 식 (12)와 같이 이진 워터마크에 동일한 이진 값으로 XOR 연산을 연속 수행하면 원래의 워터마크를 추출하는 XOR 연산의 특성을 이용한다.

$$W_i = P_i \oplus (W_i \oplus P_i) \quad (12)$$

그러므로 워터마크 삽입시의 극성 배열 P 와 워터마크 추출시의 극성 배열 P' 이 동일한 경우에만 정확한 워터마크를 추출할 수 있다. 즉 외부의 공격에 의해 인덱스의 평균과 분산이 변경될 경우 워터마크 삽입시 P 와 워터마크 추출시 P' 이 다르게 되어 워터마크의 견고성이 약해지는 단점이 있다.



(그림 4) 제안한 워터마크 삽입 방법

		$X(m-1, n)$			
		x_{30}	x_{31}	x_{32}	x_{33}
$X(m, n-1)$	x_{03}	c_{00}	c_{01}	c_{02}	c_{03}
	x_{13}	c_{10}	$C(m, n)$		
	x_{23}	c_{20}			
	x_{33}	c_{30}			

(그림 3) 사이드 매치 오차

그러므로 본 논문에서는 외부의 다양한 공격에도 인덱스의 평균과 분산의 변화를 최소화시켜 극성 배열의 변화를 최소화시키는 인덱스 변환 함수 $f(\cdot)$ 를 적용하여 견고한 워터마킹 방법을 제안한다. 인덱스 변환 함수 $f(\cdot)$ 의 목적은 일반적인 VQ 시스템에서와 같은 왜곡을 유지하면서 새롭게 사상된 인덱스가 외부의 다양한 공격에도 인덱스의 변화가 최소화되도록 원래의 인덱스를 새로운 인덱스로 변환하는데 있다. 그러므로 본 논문에서는 (그림 3)에서 나타난 화소들로부터 식 (13)과 같은 사이드 매치 오차를 이용하여 인덱스를 변환시키는 인덱스 변환 함수를 적용한다.

$$Es(C(m, n)) = \left(\sum_{p=0}^3 x_{3p}(m-1, n) - c_{0p}(m, n) \right)^2 + \left(\sum_{p=0}^3 x_{p3}(m, n-1) - c_{p0}(m, n) \right)^2 \quad (13)$$

(그림 3)에서 실선 블록으로 표시된 $C(m, n)$ 은 부호책 내의 부호벡터이고 $c(m, n)$ 은 $C(m, n)$ 의 화소값을 나타낸다. 점선 블록으로 표시된 $X(m-1, n)$ 과 $X(m, n-1)$ 은 이미 부호화된 이전 블록을 나타내고 x_{kl} 은 부호화된 이전 블록의

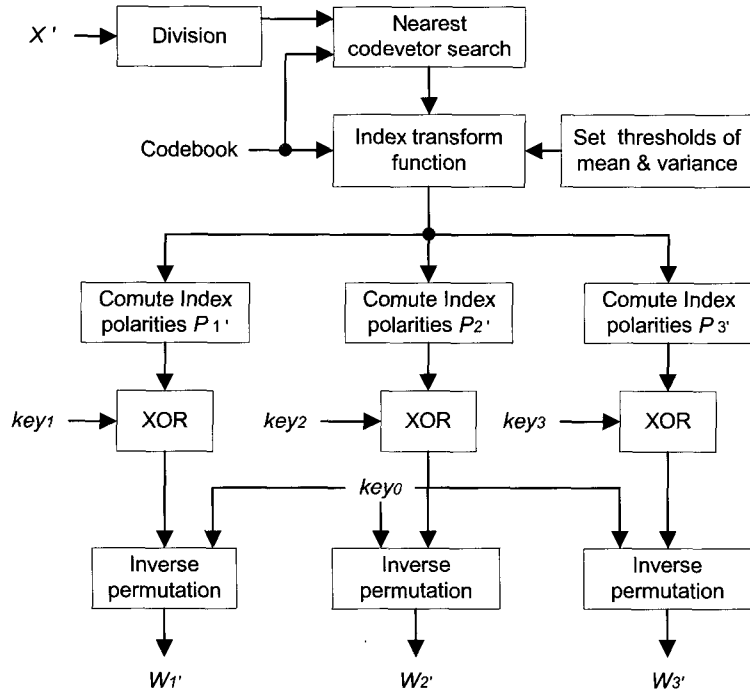
화소값을 나타낸다. 일반적인 영상에서는 인접 블록들간 서로 접하고 있는 화소값들의 연속성으로 인하여 이미 부호화된 블록들의 부호벡터와 부호책내의 부호벡터들 중 서로 접하고 있는 화소간의 오차합인 사이드 매치 오차가 작은 부호벡터일수록 현재 블록의 부호벡터로 부호화될 확률이 높은 특성이 있다[18]. 그러므로 사이드 매치 오차가 작은 순으로 부호책 내의 부호벡터를 재정렬할 경우에는 부호화 할 주소의 확률분포가 낮은 주소로 집중하므로 인덱스들의 평균과 분산이 낮아진다. 본 논문에서 사용한 인덱스 변환 함수 $f(\cdot)$ 는 식 (14)와 같이 사이드 매치가 작은 순으로 부호책을 재정렬하여, 전송할 원래의 인덱스 $y(m, n)$ 을 재정렬된 부호책 내의 새로운 주소 $y'(m, n)$ 으로 사상시킨다. 그리고 새롭게 사상된 인덱스 행렬 Y' 을 통하여 식 (15)와 (16)과 같이 인접 블록들간의 인덱스 평균과 분산을 계산한다.

$$Y' = f\left(\bigcup_{m=0}^{(A/A_w)-1} \bigcup_{n=0}^{(B/B_w)-1} y(m, n) \right) = y'(m, n) \quad (14)$$

$$u(m, n) = \frac{1}{9} \sum_{i=m-1}^{m+1} \sum_{j=n-1}^{n+1} y'(i, j) \quad (15)$$

$$\sigma^2(m, n) = \left(\frac{1}{9} \sum_{i=m-1}^{m+1} \sum_{j=n-1}^{n+1} y'^2(i, j) \right) - u^2(m, n) \quad (16)$$

인접 블록들간의 상관성이 높으면 현재 입력 벡터와 가장 가까운 부호벡터의 주소는 재정렬된 부호책 내에서 상당히 낮은 인덱스를 가지게 된다. 이는 외부의 공격이 영상내의 인접 블록들간의 상관성을 매우 훼손시키지 않는다면 새롭게



(그림 5) 제안한 워터마크 추출 방법

생성된 인덱스 배열의 값은 다양한 공격에도 인덱스의 변화를 최소화시켜 워터마크의 견고성을 효과적으로 개선시킨다. 또한 Y' 에서 평균 행렬과 분산 행렬을 오름차순으로 정렬하여 삽입할 워터마크의 50 [%]는 반전이 되고 50 [%]는 유지하는 문턱값들을 동적으로 설정하여 복원영상과 비밀키 모두 존재할 경우에만 워터마크를 추출할 수 있도록 하였다. 인접 블록이 존재하지 않는 영상의 최상단과 가장 왼쪽의 블록은 영상의 경계면에 대칭인 원영상의 부호벡터를 복사하는 대칭 확장(symmetric extension)을 이용하여 이미 부호화된 블록을 구성하였다.

워터마크의 추출과정은 X' 으로부터 인덱스 변환 함수로부터 Y' 을 생성하고 Y' 으로부터 극성을 결정하는 평균과 분산의 문턱값들을 설정하여 추정된 극성배열 P_i' 을 생성하고 2장의 식 (11)과 (12)를 사용하여 추출된 워터마크 W_i' 를 구한다. 제안한 방법은 인덱스의 값만 변경되므로 벡터양자화된 복원영상의 화질과는 전혀 무관하며 일반 벡터 양자화 방법에도 적용 가능하다. 제안한 방법의 워터마크의 삽입과 추출에 대한 전체적인 흐름도를 (그림 4)와 (그림 5)에 나타내었다.

4. 실험 결과

제안한 방법의 성능을 평가하기 위해 512×512 크기의 256 해상도로 된 Lena 영상에 대하여 부호책 크기를 512로 하여 기존의 인덱스 특징을 이용한 Huang 등의 다중 워터마킹 방법과 비교하여 워터마크의 견고성에 대하여 실험하였다. 실험 환경을 동일하도록 Huang 등의 방법에서도 극성 행렬들 원소의 1과 0의 비율을 각각 50 [%]로 하여 평균과 분산에

대한 문턱값 T_1 과 T_2 를 동적으로 설정하였다. Lena 영상은 VQ 양자화를 위하여 4×4크기의 16384의 블록으로 분할되고 워터마크는 128×128 크기의 이진 워터마크를 사용하였다. (그림 6)은 벡터양자화된 Lena 영상에 삽입된 세 개의 이진 워터마크이다.

견고성을 확인하기 위해서 벡터양자화된 영상은 JPEG(Joint Photographic Experts Group) 영상 압축, VQ 압축, 공간 영역에서의 영상처리 공격에 대한 워터마크의 견고성을 Huang 등의 방법과 비교하여 성능을 평가하였다. 견고성에 대한 성능 평가는 삽입된 워터마크의 비트수에 따른 비트 검출 오류율인 BER(bit error rate)을 백분율(percentage)로 나타내었다.

JPEG 압축 공격에 대한 견고성을 평가하기 위해 인터넷에서 제공되는 벤치마킹 툴인 Stirmark[19]를 사용하여 벡터양자화된 Lena 영상에 대해 JPEG QF(quality factor)를 10 [%]로 하였을 때, 제안한 방법과 Huang 등의 워터마크들을 추출한 결과들을 각각 (그림 7)의 (a)와 (b)에서 나타내었다.

VQ 압축 공격에 대한 견고성을 평가하기 위해 Pepper 훈련영상으로 설계된 512 크기의 부호책을 사용하여 벡터양자화된 Lena 영상을 복호화 하였을 때, 제안한 방법과 Huang 등의 워터마크들을 추출한 결과들을 각각 (그림 8)의 (a)와 (b)에서 나타내었다.

공간 영역에서의 영상처리 공격은 영상절단, 영상회전, 잡음 제거를 위한 중앙값(median) 필터와 Gaussian 저주파 통과(low-pass) 필터를 들 수 있다. 영상절단과 회전 공격을 위하여 벡터양자화된 Lena 영상에 대해 상단 좌측 부분에 전체 영상 크기의 1/4이 절단된 영상과 시계 방향으로 2° 회전된 영상을 (그림 9)의 (a)와 (b)에 나타내었으며, (그림 9)를 사용하여 제안한 방법과 Huang 등의 워터마크 추출 결과

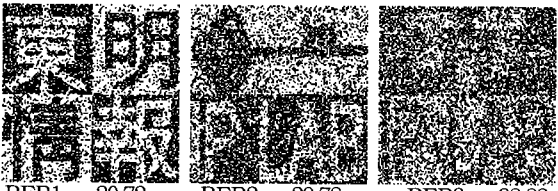
들을 각각 (그림 10)과 (그림 11)에서 나타내었다.



(그림 6) 삽입된 원래의 워터마크

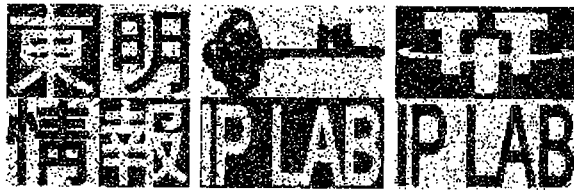


BER1 = 14.76 BER2 = 15.72 BER3 = 11.45
(a)



BER1 = 20.72 BER2 = 29.78 BER3 = 38.82
(b)

(그림 7) JPEG 공격에 대한 추출된 워터마크 영상과 BER [%]
(a) 제안한 방법의 결과 (b) Huang 등의 방법의 결과



BER1 = 11.78 BER2 = 11.79 BER3 = 10.72
(a)



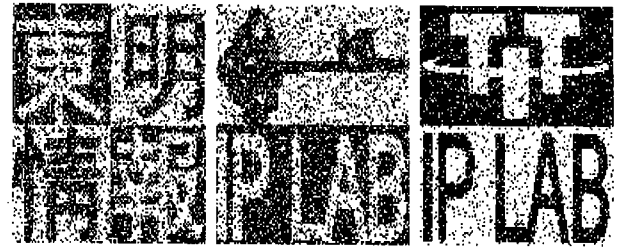
BER1 = 13.35 BER2 = 21.72 BER3 = 27.71
(b)

(그림 8) VQ 공격에 대한 추출된 워터마크 영상과 BER [%]
(a) 제안한 방법의 결과 (b) Huang 등의 방법의 결과



(a) (b)

(그림 9) 영상처리 영상 (a) 상단 좌측이 절단된 영상 (b) 20 회전된 영상



BER1 = 21.03 BER2 = 20.43 BER3 = 9.94

(a)



BER1 = 23.34 BER2 = 24.43 BER3 = 31.26

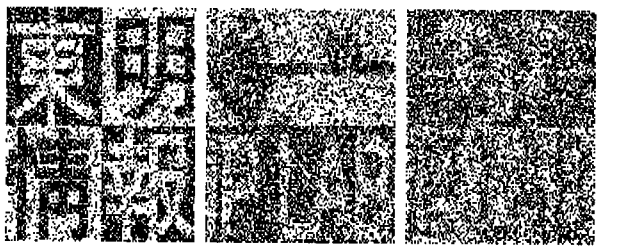
(b)

(그림 10) 영상회전 공격에 대한 추출된 워터마크 영상과 BER [%] (a) 제안한 방법의 결과 (b) Huang 등의 방법의 결과



BER1 = 19.86 BER2 = 20.82 BER3 = 9.65

(a)



BER1 = 21.17 BER2 = 32.70 BER3 = 39.22

(b)

(그림 11) 영상회전 공격에 대한 추출된 워터마크 영상과 BER [%] (a) 제안한 방법의 결과 (b) Huang 등의 방법의 결과

<표 1>은 벡터양자화된 Lena 영상에 다양한 공격을 가 하였을 때의 Huang 등의 방법과 제안한 방법의 BER 결과 들이다. <표 1>의 결과에서 알 수 있듯이 제안한 방법이 Huang 등의 방법보다 BER이 작으므로 제안한 방법이 기존의 방법보다 워터마크의 견고성이 월등히 우수함을 확인할 수 있다.

〈표 1〉 다양한 공격에 대한 BER 비교

Attacking methods	BERs of Proposed method [%]			BERs of Huang et al.'s method [%]		
	BER1	BER2	BER3	BER1	BER2	BER3
no attacks	0	0	0	0	0	0
JPEG QF 80%	0.37	0.53	0.79	0.49	0.76	1.20
JPEG QF 50%	4.22	4.93	5.64	5.32	9.34	13.45
JPEG QF 30 %	7.10	9.10	8.50	9.77	16.75	23.02
JPEG QF 10 %	14.76	15.72	11.45	20.72	29.78	38.82
VQ attack	11.78	11.79	10.12	13.35	21.72	27.71
Rotation by 0.50	11.87	13.43	8.71	14.17	24.21	30.22
Rotation by 10	14.57	15.55	9.12	16.56	27.45	34.58
Rotation by 20	19.86	20.82	9.65	21.17	32.70	39.22
Image cropping	21.03	20.43	9.94	23.34	24.43	31.26
Median filter(3x3)	6.29	7.61	6.29	5.76	9.25	12.91
Gaussian filter(3x3)	6.65	7.37	6.24	6.23	10.28	14.07

5. 결 론

본 논문에서는 다양한 공격에도 인덱스의 평균과 분산의 변화를 최소화시키는 인덱스 변환 함수를 이용하여 벡터양자화 기반의 견고한 다중 워터마킹 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 블록간의 높은 상관성을 이용한 인덱스 변환 함수를 워터마킹에 적용함으로써 추출된 워터마크의 견고성을 기존의 방법보다 개선시켰다. 제안된 방법은 워터마크 추출시 원 영상이 필요 없으며, 인덱스의 값만 변경되므로 벡터양자화된 복원영상의 화질과는 전혀 무관하며 일반 벡터 양자화 방법에도 적용 가능하다. 실험을 통하여, 기존의 벡터양자화 기반의 다중 워터마킹 방법보다 제안한 방법이 워터마크의 견고성이 월등히 개선됨을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] 원치선, “디지털 영상의 저작권 보호”, 정보 과학회지 제15권 제12호, pp.22-27, 1997.
 [2] I. J. Cox, Joe Kilian, F. T. Leighton, and T. Shamoan, “Secure spread spectrum watermarking for multimedia,” IEEE Trans. Image Processing, Vol.6, No.12, pp.1673-1687, Dec., 1997.
 [3] A. Nikolaidis and I. Pitas, “Region-based image watermarking,” IEEE Trans. Image Processing, Vol.10, No.11, pp.1726-1740, Nov., 2001.
 [4] P. W. Wong, “A watermark for image integrity and ownership verification,” in Pro. IS&T PIC Conference, May, 1998.
 [5] I. Pitas and T. H. Kaskalis, “Signature casting on digital images,” in Proc. IEEE Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing, 1995.

[6] L. Xie and G. R. Arce, “A class of authentication digital watermarks for secure multimedia communication,” IEEE Trans. Image Processing, Vol.10, No.11, pp.1754-1764, Nov., 2001.
 [7] V. Solachidis and I. Pitas, “Circularly symmetric watermark embedding in 2-D DFT domain,” IEEE Trans. Image Processing, Vol.10, No.11, pp.1741-1753, Nov., 2001.
 [8] Chiou-Ting Hsu and Ja-Ling Wu, “Multiresolution watermarking for digital images,” IEEE Trans. Circuits Syst. II, Vol.45, No.8, pp.1097-1101, Aug., 1998.
 [9] Chiou-Ting Hsu and Ja-Ling Wu, “Hidden digital watermarks in images,” IEEE Trans. Image Processing, Vol.8, No.1, pp.58-68, Jan., 1999.
 [10] J. Piva, M. Barni, F. Bartolini and V. Cappellini, “DCT-based watermarking restoring to the uncorrupted original image,” IEEE Int. Conf. on Image Processing, Vol.1, pp.520-523, 1997.
 [11] Z. M. Lu and S. H. Sun, “Digital image watermarking technique based on vector quantization,” Electron. Lett., Vol.36, No.4, pp.303-305, Feb., 2000.
 [12] Z. M. Lu, J. S. Pan and S. H. Sun, “VQ-based digital image watermarking method,” Electron. Lett., Vol.36, No.14, pp.1201-1202, Jul., 2000.
 [13] Z. M. Lu, C. H. Liu and S. H. Sun, “Digital image watermarking technique based on block truncation coding with vector quantization,” Chin. J. Electron., Vol.11, No.2, pp.152-157, Apr., 2002.
 [14] H. C. Huang, F. H. Wang and J. S. Pan, “Efficient and robust watermarking algorithm with vector quantization,” Electron. Lett., Vol.37, No.13, pp.826-828, Jun. 2001.
 [15] H. C. Huang, F. H. Wang and J. S. Pan, “Multipurpose image watermarking algorithm based on multistage vector quantization,” IEICE Trans. Fund., Vol.E85-A, No.7, pp.1719-1726, Jul., 2002.
 [16] Z. M. Lu, D. G. Xu and S. H. Sun, “A VQ-based robust multi-watermarking algorithm,” IEEE Trans. Image Processing, Vol.14, No.6, pp.822-831, Jun., 2005.
 [17] Y. Linde, A. Buzo and R. M. Gray, “An algorithm for vector quantizer design,” IEEE Trans. Commun., Vol.28, No.1, pp.84-95, Jan., 1980.
 [18] 배성호, 서대화, 박길흠, “동적 주소 사상을 이용한 벡터 양자화”, 한국정보처리학회논문지 제3권 제5호, pp.1307-1316, 1996.
 [19] Stirmark, <http://www.petitcolas.net/fabien/watermarking/stirmark>



배 성 호

e-mail : baesh@tit.ac.kr
1991년 경북대학교 전자공학과(공학사)
1993년 경북대학교 전자공학과(공학석사)
1997년 8월 경북대학교 전자공학과
(공학박사)
1998년 8월~1999년 8월 삼성전자

선임연구원

1999년 9월~현재 동명정보대학교 멀티미디어공학과 부교수
관심분야: 디지털 워터마킹, 영상 처리, 컴퓨터 비전, 영상 압축



송 근 원

e-mail : kwsong@uu.ac.kr
1993년 경북대학교 전자공학과(공학사)
1995년 경북대학교 전자공학과(공학석사)
1998년 경북대학교 전자공학과(공학박사)
1999년 3월~현재 위덕대학교 게임학부
조교수

관심분야: 감성인식, 영상 처리, 패턴 인식, 신호 처리