

지각 적응 워터마크를 이용한 강건한 레이블 내장 방법

정회원 김덕령*, 박성현*

A Robust Label Embedding Method using Perceptual Adaptive Watermark

Dug-Ryung Kim*, Sung-Han Park* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 영상의 시각적인 품질에 영향을 주지 않으면서 JPEG 압축에 강한 레이블 내장 워터마킹 방법을 제시한다. 이 방법은 사람의 시각 시스템 모델을 사용하여 영상의 특성에 적합한 워터마크의 크기를 결정하여 워터마킹 한다. 견고한 레이블을 내장하기 위해서 Pn-sequence와 같은 비밀키를 사용하여 워터마킹될 저주파 부분의 주파수를 선택한다. 그리고 다른 비밀키 Pn-sequence를 사용하여 선택된 주파수 계수의 절대값에 워터마크의 가감을 결정한다. 레이블의 검출은 워터마킹된 영상의 레이블 블록에서 선택된 주파수 계수의 절대값의 평균과 어떤 문턱치 보다 작은 값을 가지는 주파수 계수의 개수를 함께 사용한다. 실험을 통해서 시각적으로 보이지 않는 워터마크를 이용하여 레이블을 영상에 내장하고 레이블이 JPEG 손실 압축과 잡음에 견고함을 보인다. 특히 JPEG 압축 및 복원된 영상에서 검출된 레이블의 비트 에러율은 제안하는 알고리즘이 기존의 알고리즘보다 매우 우수함을 보인다.

ABSTRACT

We propose a new watermarking method to embed robust labels against JPEG compression without degrading the quality of image. The proposed method adaptively determines a watermark size depending on the characteristics of images using human visual system models. To embed robust label, the frequencies to be watermarked is chosen in the low frequency using a secret key such as Pn-sequence. Then, the watermark is added to or subtracted from the absolute value of coefficients of the selected frequencies according to another Pn-sequence. Label detecting uses the mean of the absolute value of selected frequency coefficients and the number of frequency coefficients with less value than a threshold at each label block of watermarked image. The experimental results show embedding a label into an image using an invisible watermark and the robustness for JPEG compression and noise. Especially, the bit error rate for a detected labels from watermarked images after JPEG compression and decompression demonstrates the proposed algorithm is better than previous works.

I. 서론

최근 정보통신의 급속한 발달로 전 세계가 하나의 컴퓨터 망으로 연결되고 있으며 이와 같은 컴퓨터 망에서 디지털 영상과 같은 다양한 멀티미디어 정보를 제공하는 기술적인 환경이 제공되고 있다. 그러나 컴퓨터 망에서는 디지털 영상의 불법적인

복사나 허가되지 않은 분배 및 조작이 용이한 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 기존의 정보 보호 시스템은 패스워드를 통한 사이트 보호 방법으로 사용자의 접근을 제어하고 정보를 암호화된 형태로 전송하고 저장한다. 그러나 영상이 사용되려면 반드시 암호화가 풀려야 하며 일단 암호화가 풀린 상태에서는 불법적으로 복사되고 전송될 수 있

* 한양대학교 전자계산학과 (drkim@cse.hanyang.ac.kr)

논문번호 : 98286-0715, 접수일자 : 98년 7월 15일

※ 본 연구는 정보통신 분야 우수학교 지원 사업에 의하여 수행되었음.

다. 또한 인터넷과 같은 공개된 공간에서는 누구나 GIF나 JPEG 등의 형식으로 저장된 영상을 볼 수 있도록 암호화하지 않는다. 이런 공개된 환경에서도 영상의 소유권이 보호될 수 있도록 소유권 표시나 회사의 로고 등과 같은 의미 있는 많은 정보를 영상의 품질을 훼손하지 않으면서 영상 데이터에 저장하는 워터마킹 방법이 연구되고 있다^{[14][12]}. 레이블이나 어떤 부호 등의 의미 있는 많은 데이터를 영상 자체에 내장하는 방법은 단순히 잡음과 같은 워터마크를 내장하여 소유권의 근거로 삼는 방법보다 응용이 다양하다. 또한 많은 데이터를 내장할 수 있으므로 에러 복원 코드를 사용하거나 반복적으로 데이터를 내장하여 레이블의 견고성을 더욱 높일 수 있는 장점도 있다.

많은 데이터를 내장하는 방법들로서 Koch와 Zhao는 JPEG 압축에 근거한 워터마킹 방법을 제안했다^[10]. 이 방법은 영상을 블록으로 분할하여 DCT 변환한 후 JPEG 압축에 사용되는 임의의 quality factor로 영상의 주파수 계수를 양자화한다. 저주파 영역의 3개의 양자화된 주파수 계수를 선택하고 내장하고자 하는 레이블에 따라 그 주파수 계수들의 크기 순서를 미리 정의된 어떤 패턴이 되도록 워터마킹 하지만 이 패턴들은 영상의 특성과 무관하게 정의되어 있다. 또한 워터마킹에 사용된 quality factor보다 압축율이 더 높은 작은 quality factor 값으로 워터마킹된 영상을 JPEG 압축하면 내장된 레이블이 훼손된다. Swanson 등은 이지 근처에서 지각 문턱치가 증가되는 현상인 공간 마스킹 효과를 이용하는 공간 데이터 내장 방법과 마스킹 주파수 근처의 신호에 대한 시각적인 문턱치가 증가하는 주파수 마스킹 특성을 사용하는 주파수 데이터 내장 방법을 제안했다^[11]. 공간 데이터 내장 방법은 사람의 시각 시스템 모델에 기초했으므로 영상의 품질은 보존되지만 JPEG에 약하다. 이를 극복하기 위해서 Swanson은 워터마킹하기 전에 예상되는 quality factor를 미리 가정하여 전처리를 한다. 주파수 데이터 내장 방법은 DCT 영역의 블록에서 마스킹 값을 구한 후 주파수 계수를 이 마스킹 값으로 양자화해서 워터마킹 한다. 이 방법에서도 JPEG 압축에 견디기 위해서 예상되는 quality factor를 미리 가정하여 전처리를 한다. Swanson의 이 두 가지 방법 역시 워터마킹에 사용된 quality factor보다 작은 quality factor의 값으로 JPEG 압축하면 내장된 레이블이 훼손된다. 영상의 불법적인 복사방지를 위해서 Langelaar 등은 공간 레이블링 방법과 DCT 기반

레이블링 방법을 제안했다^[12]. 이 제안된 공간 레이블링 방법은 영상의 특성을 고려하지 않으므로 워터마킹한 후에 시각적으로 레이블이 보일 가능성이 크고 DCT 기반 레이블링 방법 역시 사용된 JPEG quality factor보다 더 작은 값으로 영상을 JPEG 압축하면 저장된 레이블이 심하게 훼손된다.

이와 같이 워터마킹하는 과정에서 영상을 미리 예상되는 quality factor의 양자화 계수로 양자화하거나 또는 전처리하는 알고리즘은 압축율이 더 높은 quality factor로 JPEG 압축하면 레이블이 훼손되는 문제점이 있다. 이를 극복하기 위해서 워터마킹 과정에서 더욱 작은 quality factor를 사용하는 경우에는 JPEG에는 강하지만 영상의 품질이 저하되는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 영상의 품질에 영향을 주지 않으면서 높은 JPEG 압축율에도 잘 견딜 수 있는 새로운 방법을 제시한다.

본 논문에서 제안하는 새로운 워터마킹 알고리즘에서는 시각적으로 영상의 품질이 보존되면서도 영상의 부분적인 특성에 적합한 최대 크기의 워터마크를 사용하여 레이블을 내장하기 위해서 사람이 신호 변화를 인식하지 못하는 휘도(luminance) 평면의 DCT 주파수 계수의 크기 JND(Just Noticeable Differences)를 구하는 Watson과 Solomon의 시각 시스템 모델을 사용한다^{[13][15]}. JPEG 압축은 고주파보다 저주파 부분에 많은 코드를 할당하는 고주파 부분의 손실이 큰 압축 방법이므로 워터마크는 영상에서 중요한 의미를 가지는 저주파 영역에 내장한다^{[4][16]}. 이것은 또한 잡음에 강한 특성을 보이며 저역 필터링, 평활화 같이 영상의 품질이 심하게 훼손되지 않는 단순한 영상처리에도 강하다. 또한 고의적인 공격으로부터 레이블의 훼손을 막기 위해서 두개의 Pn-Sequence를 사용하여 영상에서 워터마킹되는 주파수를 선택하고 영상의 블록을 두 집합으로 분류하고 주파수 계수들의 증감을 결정한다^[17]. 레이블의 검출은 이 두개의 Pn-Sequence를 사용하여 두 집합에 속한 주파수 계수들의 절대값의 평균값과 주파수 계수의 절대값의 크기가 어떤 문턱치보다 작은 값을 가지는 주파수 계수의 개수를 함께 사용한다.

본 논문에서는 제안하는 알고리즘이 시각적으로 워터마크가 보이지 않고 JPEG 압축과 잡음에 강함을 보이기 위해서 고주파 성분이 많은 복잡한 영상과 저주파 성분이 많은 단조로운 그레이 레벨 및 칼라 영상에 적용한다. 알고리즘 적용 결과 워터마크가 내장된 영상의 품질이 보존되고 또한 quality

factor가 20인 JPEG 압축에서도 레이블이 잘 검출됨을 보인다. 또한 JPEG 압축 및 복원후 레이블을 검출하는 실험 결과를 통해서 제안하는 알고리즘이 Swanson과 Langelaar의 방법보다 우수함을 보인다.

II. 레이블 내장 알고리즘

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 컬러 영상의 휘도(Y) 평면에 레이블을 내장한다. 레이블의 각각의 비트를 견고하게 내장하기 위해서 먼저 이 휘도 평면을 JPEG 압축에서처럼 8×8 화소 크기의 기본 블록(B)들로 서로 겹치지 않게 나누는 후 각각의 기본 블록에 이웃한 기본 블록들이 이웃하지 않은 기본 블록이 되도록 기본 블록들의 위치를 변경시킨다. 이렇게 기본 블록의 위치가 뒤섞인 휘도 평면의 각 기본 블록을 DCT 변환하여 DCT 평면을 구한다^[18]. 비밀키 Pn-sequence PN1을 사용하여 각 기본 블록마다 레이블이 내장될 DCT 주파수(기본 함수)를 다르게 선택한다. 모든 기본 블록에서 선택된 각각의 주파수에 해당하는 계수의 절대값이 주파수마다 다르게 주어진 어떤 문턱치 T_{ij} 보다 작은 것만 워터마크에 사용한다. 이 워터마킹에 사용되는 주파수 계수를 c_{ij}^* 로 표현하고 본 논문에서는 선택된 주파수 계수라 부른다. 여기서 ij 는 DCT 주파수를 가리키고 k 는 영상의 왼쪽 상위에서 오른쪽으로 위에서 아래로 기본 블록을 차례로 가리킨다. Watson과 Solomon의 시각 시스템 모델을 사용하여 선택된 주파수 계수들의 JND를 각각 구하고 이것을 이용하여 시각적으로 보이지 않는 영상 신호 변화량 즉 최적화된 워터마크를 구한다.

영상에 레이블을 부호화하기 위해서 Langelaar의 방법^[12]처럼 그림 1과 같이 DCT 평면에서 4×4 16개의 기본 블록들로 구성된 서로 겹치지 않는 연속적인 블록 S들을 정의한다. 본 논문에서는 이 블록 S를 레이블 블록이라 부른다. 레이블의 정보를 구성한 N 비트중 어떤 한 비트를 저장하기 위해서 Langelaar은 레이블 블록을 상위 8개의 기본 블록과 하위 8개의 기본 블록으로 구성된 두 집합으로 분류했으나 본 논문에서는 고의적인 공격에 대비해서 비밀키 Pn-sequence PN2를 사용하여 기본 블록 8개로 구성된 블록 집합 S_x 와 S_y 로 구분한다. 즉 그림 1에 보여준 바와 같이 S_x 와 S_y 에 속한 기본 블록들의 위치 분포가 비밀키PN2에 따라서 레이블 블록마다 다르게 된다. 레이블의 각 비트들은 영상

의 왼쪽 상위 레이블 블록으로부터 오른쪽 레이블 블록으로, 위에서 아래 방향으로 차례로 내장된다. 즉 레이블의 l 번째 비트 L_l 을 내장하기 위해서 l 번째 레이블 블록인 S'의 S'_x 와 S'_y 에 각각 속한 8개의 기본 블록에서 PN1과 주어진 문턱치에 의해 선택된 주파수 계수들의 절대값의 평균인 M'_x 와 M'_y 를 최적화된 워터마크의 크기를 사용하여 조작한다. 마지막으로 레이블을 내장한 휘도 평면을 DCT 역변환하고 이 휘도 평면을 역으로 뒤섞어 원래의 모양으로 환원한다.

이상의 레이블 내장 알고리즘은 그림 2와 같이 영상을 기본 블록 단위로 뒤섞는 부분, 레이블이 내장될 주파수를 결정하는 부분, 영상의 특성에 적응하여 영상의 모든 위치에서 각각 다른 크기의 워터마크를 결정하는 부분과 레이블을 영상에 부호화하는 부분으로 구성되어 있다. 각 부분의 자세한 설명은 다음에 주어진다.

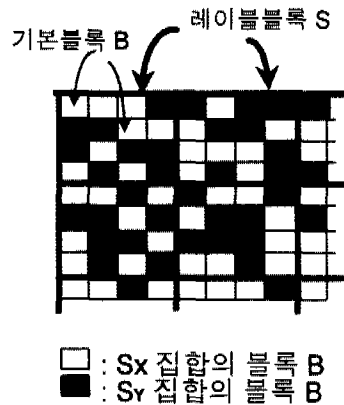


그림 1. 기본 블록 B와 레이블 블록 S로 구성된 DCT 평면
Fig. 1 Block B and block S in a DCT plane.

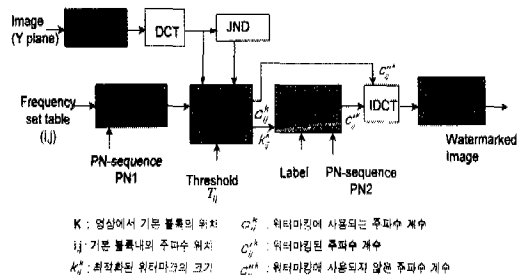


그림 2. 레이블 내장 블록도
Fig. 2 Label embedding block diagram

2.1 영상 블록의 뒤섞음

본 논문에서는 레이블의 l 번째 비트를 영상에 내장할 때 그 값에 따라 l 번째 레이블 블록의 M_x^l 와 M_y^l 중 하나를 다른 것보다 크게 만드는 방법으로 레이블을 부호화 한다. 그러나 일반적으로 M_x^l 에서 M_y^l 의 크기를 뺀 값 D 는 워터마킹 하려는 영상의 복잡도에 따라 크기가 결정된다. 본 논문에서는 D 값을 계수 평균차로 부른다. 일반적으로 영상에서 화소의 세기 변화가 큰 복잡한 부분에 해당하는 레이블 블록의 경우는 계수 평균차의 절대값이 크고 화소 값의 세기 변화가 단조로운 부분에 해당하는 레이블 블록인 경우는 계수 평균차의 절대값이 작다. 또한 Watson과 Solomon의 시각 시스템 모델로부터 구한 기본 블록의 DCT 주파수에 대한 눈에 보이지 않는 영상 신호 변화량은 그 기본 블록의 평균 휘도가 크면 커지고 평균 휘도가 작으면 작아지는 특성이 있다. 따라서 영상에서 어두운 부분에 속하는 레이블 블록의 경우는 작은 워터마크 값들을 얻게 되고 밝은 부분에 속하는 레이블 블록의 경우는 큰 워터마크 값들을 얻게 된다. 만약에 평균 휘도가 작으면서 복잡도가 높은 기본 블록을 많이 포함한 레이블 블록의 경우에는 워터마크 값들은 작고 계수 평균차의 절대값은 커서 해당 레이블의 비트 값을 내장하는데 실패할 확률이 높다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 Langelaar의 방법^[12] 처럼 영상을 기본 블록 단위로 임의로 뒤섞는다. 이렇게 하면 각각의 레이블 블록에 복잡한 기본 블록들과 단조로운 기본 블록들이 함께 있어서 각 레이블 블록의 계수 평균차의 절대값에 대한 평균 \bar{D} 는 큰 변화가 없으나 표준편차 σ_D 가 작아질 가능성이 높아진다. 또한 각각의 레이블 블록에 밝고 어두운 기본 블록들이 함께 존재해서 각 레이블 블록에 대한 레이블 워터마크의 평균 \bar{K}_l 역시 큰 변화가 없으나 표준편차 σ_K 가 작아질 가능성이 높아진다. 여기서 레이블 워터마크란 S_x 에 속한 선택된 주파수 계수에 해당되는 워터마크의 평균과 S_y 에 속한 선택된 주파수 계수에 해당되는 워터마크의 평균을 더한 것을 의미한다.

2.2 워터마킹되는 주파수 선택

워터마킹되는 기본 블록의 주파수 결정은 JPEG 압축, 잡음 추가, 저역 필터링, 평활화와 같이 영상의 품질이 심하게 훼손되지 않는 단순한 영상처리와 고의적인 공격 등에 대비하여 영상에서 중요한

의미를 가지는 저주파 영역에 내장한다^{[14],[16]}. 본 논문에서는 기본 블록의 8개의 DCT 주파수 (0,1), (0,2), (1,0), (1,1), (1,2), (2,0), (2,1), (2,2)에 해당되는 주파수 계수를 워터마킹에 사용한다. 고의적인 공격에 대비하여 각각의 기본 블록에서 8개의 저주파 중 두 개의 주파수만 선택되어 사용된다. 주파수를 선택하기 위해서 비밀키로 Pn-sequence PN1과 표 1의 주파수 집합 레이블이 사용된다. Pn-sequence PN1의 두 비트를 각각의 기본 블록에 할당하고 그 값에 의해서 주파수 집합 레이블에 있는 주파수 집합이 선택되어 워터마킹에 사용된다. 따라서 Pn-sequence PN1을 모르는 사람은 각각의 기본 블록에서 어떤 주파수에 레이블이 내장되었는지 알 수 없다. 만약 저주파 부분에서 임의로 주파수를 선택하여 레이블을 변경하거나 훼손하려고 시도한다면 영상의 품질이 심각하게 저하될 수밖에 없다

표 1. 주파수 집합
Table. 1 Frequency set

Pn-sequence	선택된 DCT 주파수	
00	(0 , 1)	(2 , 0)
01	(1 , 0)	(0 , 2)
10	(1 , 1)	(2 , 2)
11	(1 , 2)	(2 , 1)

2.3 지각 적응 워터마크

레이블을 내장하기 위해서 주파수 계수들의 크기를 어떤 영상 신호 변화량 즉 워터마크만큼 변화시켜야 한다. 이때 레이블 내장으로 영상의 품질이 저하되지 않도록 하기 위해서 단조로운 블록이나 복잡한 블록 등 영상의 부분적인 특성에 따라 해당 주파수 계수의 워터마크 값을 다르게 결정할 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 기본 블록의 주파수 계수마다 시각적으로 보이지 않는 최대 크기의 워터마크를 구하기 위해 Watson과 Solomon의 시각 시스템 모델을 사용한다^{[13],[14]}. Ahumada와 Peterson은 DCT 기본 함수에 대한 각 주파수 i, j 에 대해서 눈에 보이는 신호를 생성하는 가장 작은 계수값 문턱치를 정신물리학적으로 측정했다^[15]. 이것은 각각의 주파수 계수값을 각 문턱치 이하로 변화시키면 사람이 영상의 시각적인 변화를 알 수 없다는 것을 의미한다. 이 측정된 문턱치를 근거로 Watson은 영상의 부분적인 특성에 적합한 시각적으로 손실이

없는 최적의 JPEG 압축을 위한 DCT 양자화 계수 행렬을 구하기 위해서 인간의 시각 시스템 특성인 휘도 마스크, 콘트라스트 마스크, 에러 풀링등을 이용했다. 휘도 마스크이란 배경이 밝으면 밝을수록 검출 문턱치가 높아지는 현상이며 콘트라스트 마스크는 어떤 영상 성분이 다른 영상 성분으로 인해서 보이는 정도가 감소하는 것을 의미한다. Watson은 휘도 마스크와 콘트라스트 마스크 특성을 이용해서 사람의 시각 시스템이 인식할 수 없는 최대 크기의 문턱치 값, 즉 JND를 구했다.

영상의 k 번째 기본 블록의 DCT 주파수 (i,j)에 워터마킹 하면 원 영상에서 워터마크에 해당하는 만큼의 영상 신호 값의 변화가 생긴다. 이때 워터마킹에 의해서 발생된 시각적인 변화량 d_{ij}^k 는 변화된 영상 신호 값 K_{ij}^k 와 JND m_{ij}^k 를 사용하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$d_{ij}^k = \frac{K_{ij}^k}{m_{ij}^k} \quad \text{for all } i, j, k \quad (1)$$

모든 기본 블록에 가해진 신호 값의 변화를 주파수 (i,j)에 대한 시각적인 변화량 b_{ij} 로 표시하기 위해 영상의 여러 위치에서 신호 변화가 발생할 때 사람의 눈에 보일 확률들을 결합하는 β -norm을 사용하여 d_{ij}^k 들을 모든 기본 블록에 대하여 다음과 같이 풀링(pooling)한다^[13].

$$b_{ij} = (\sum_k (d_{ij}^k)^4)^{1/4} \quad \text{for all } i, j \quad (2)$$

또한 영상 전체에 가해진 모든 신호 값의 변화를 시각적인 검출 양으로 측정하기 위해서 다음과 같이 시각적인 총변화량 P를 구한다.

$$P = (\sum_{ij} b_{ij}^4)^{1/4} \quad (3)$$

이 P 값이 1보다 작다면 시각적으로 보이지 않는 워터마킹을 했다고 할 수 있다. 따라서 우리는 시각적으로 보이지 않는 가장 큰 워터마크의 값을 구하기 위한 P 값으로 0.99를 사용한다. β -norm은 가장 큰 값을 가지는 요소에 의해 값이 결정되므로 사용되는 8개의 주파수들에서 모두 최대의 신호 값의 변화를 얻기 위해서 8개의 b_{ij} 의 값을 같게 한다. 이 경우 식 (3)으로부터 각각의 주파수에 해당하는 b_{ij} 값은 0.588이 된다. 식 (2)에서 최대 크기의 워터마크를 얻기 위해서 각각의 주파수 (i,j)에

대한 d_{ij}^k 의 값을 같게 한다. 따라서 어떤 주파수 (i,j)에 해당되는 주파수 계수의 개수를 알면 그 주파수에 해당되는 d_{ij}^k 의 값을 구할 수 있다. 식 (1)에서 d_{ij}^k 가 같은 값이므로 기본 블록의 위치와는 관계없는 값이 되어 d_{ij} 로 표현되고 k 번째 기본 블록의 주파수 (i,j)에 해당하는 시각적으로 보이지 않는 최대 값은 다음과 같이 주어진다.

$$K_{ij}^k = d_{ij} \times m_{ij}^k \quad \text{for all } i, j \quad (4)$$

그러나 식 (4)에서 구한 영상의 품질을 저하시키지 않고 변조할 수 있는 최대 워터마크의 값들의 평균은 레이블 블록에서 계수 평균치의 절대값과 비교할 때 크지 않다. 따라서 본 논문에서는 주파수 마다 다르게 주어질 어떤 문턱치보다 작은 주파수 계수들만 워터마킹 한다. 이렇게 선택된 주파수 계수의 개수를 제한하므로 식 (2)에 의해서 워터마크의 값이 커진다. 또한 작은 계수 값들만 선택하므로 워터마킹 이전의 레이블 블록에서 계수 평균치의 절대값도 작아진다. 따라서 문턱치를 도입하므로 좀 더 견고한 레이블 내장이 가능하다. 문턱치의 크기 선택은 JPEG 압축에 대한 내장된 레이블의 견고성에 영향을 준다. 작은 값의 문턱치를 사용해서 워터마킹 했을 때 문턱치의 2배보다 큰 양자화 계수를 가지는 quality factor의 JPEG 압축으로 워터마킹된 모든 주파수 계수가 0이 되어 내장된 레이블이 모두 훼손된다. 따라서 높은 JPEG 압축율에서도 레이블의 견고성이 유지될 수 있도록 작은 quality factor를 선택하고 그것에 따른 양자화 계수들의 크기를 문턱치로 사용한다.

2.4 레이블 부호화

제안하는 알고리즘에서 레이블의 1 번째 비트는 M_x' 가 M_y' 보다 크면 '1'로 내장되고 M_x' 가 M_y' 보다 작으면 '0'으로 내장된 것으로 정의한다. 따라서 내장하고자 하는 레이블의 1 번째 비트가 '1'이면 M_x' 를 증가시키기 위해서 1 번째 레이블 블록에서 S_x' 에 속한 기본 블록의 선택된 주파수 계수 c_{ij}^k 들의 절대값을 식(5)처럼 워터마크의 값을 사용하여 증가시킨다. 이때 워터마킹된 주파수 계수 c_{ij}^k 를 레이블 검출시 사용하기 위해서 그 절대값이 해당 문턱치를 넘지 않게 한다. 이를 위해서 본 논문에서는 α 를 0.95로 사용한다. 그리고 M_y' 를 감소시키기 위해서 S_y' 에 속한 기본 블록의 선택된 주파수 계수

들의 절대값을 식 (6)과 같이 워터마크의 값을 사용하여 각각 감소시킨다. 이때 선택된 주파수 계수의 절대값에 워터마크를 더한 값이 해당 문턱치보다 크다면 크기를 감소시키는 것보다는 워터마크만큼 증가시켜서 레이블 검출에 사용되지 않도록 하는 것이 M'_Y 를 감소시키는데 효율적이다. 또한 선택된 주파수 계수의 절대값이 워터마크보다 작은 경우 0에 근접한 값을 갖도록 본 논문에서는 β 를 0.95로 사용한다.

$$c_{ij}^k = \begin{cases} c_{ij}^k + \text{sgn}(c_{ij}^k) \times K_{ij}^k & \\ \text{if } B^k \in S'_X \text{ and } T_{ij} - |c_{ij}^k| > K_{ij}^k & \\ c_{ij}^k + \alpha \times \text{sgn}(c_{ij}^k) \times (T_{ij} - |c_{ij}^k|) & \\ \text{if } B^k \in S'_X \text{ and } T_{ij} - |c_{ij}^k| \leq K_{ij}^k & \end{cases} \quad (5)$$

$$c_{ij}^k = \begin{cases} c_{ij}^k + \text{sgn}(c_{ij}^k) \times K_{ij}^k & \text{if } B^k \in S'_Y \\ \text{and } T_{ij} - |c_{ij}^k| \leq K_{ij}^k & \\ c_{ij}^k - \text{sgn}(c_{ij}^k) \times K_{ij}^k & \text{if } B^k \in S'_Y \\ \text{and } T_{ij} - |c_{ij}^k| > K_{ij}^k \text{ and } |c_{ij}^k| \geq K_{ij}^k & \\ c_{ij}^k - \beta \times \text{sgn}(c_{ij}^k) \times K_{ij}^k & \text{if } B^k \in S'_Y \\ \text{and } T_{ij} - |c_{ij}^k| > K_{ij}^k \text{ and } |c_{ij}^k| < K_{ij}^k & \end{cases} \quad (6)$$

여기서 B^k 는 k번째 기본 블록이고

$$\text{sgn}(X) = \begin{cases} 1, & X \geq 0 \\ -1, & X < 0 \end{cases} \text{ 이다.}$$

같은 방법으로 비트 '0'을 내장하기 위해서는 식 (7)과 같이 S'_Y 에 속한 기본 블록의 선택된 주파수 계수의 절대값의 크기를 증가시켜서 M'_Y 를 증가시킨다. 또한 식(8)과 같이 S'_X 에 속한 기본 블록의 선택된 주파수 계수의 절대값의 크기를 감소시켜서 M'_X 를 감소시킨다.

$$c_{ij}^k = \begin{cases} c_{ij}^k + \text{sgn}(c_{ij}^k) \times K_{ij}^k & \\ \text{if } B^k \in S'_Y \text{ and } T_{ij} - |c_{ij}^k| > K_{ij}^k & \\ c_{ij}^k + \alpha \times \text{sgn}(c_{ij}^k) \times (T_{ij} - |c_{ij}^k|) & \\ \text{if } B^k \in S'_Y \text{ and } T_{ij} - |c_{ij}^k| \leq K_{ij}^k & \end{cases} \quad (7)$$

$$c_{ij}^k = \begin{cases} c_{ij}^k + \text{sgn}(c_{ij}^k) \times K_{ij}^k & \text{if } B^k \in S'_X \text{ and } T_{ij} - |c_{ij}^k| \leq K_{ij}^k \\ c_{ij}^k - \text{sgn}(c_{ij}^k) \times K_{ij}^k & \text{if } B^k \in S'_X \\ \text{and } T_{ij} - |c_{ij}^k| > K_{ij}^k \text{ and } |c_{ij}^k| \geq K_{ij}^k & \end{cases}$$

$$c_{ij}^k - \beta \times \text{sgn}(c_{ij}^k) \times K_{ij}^k \text{ if } B^k \in S'_X \text{ and } T_{ij} - |c_{ij}^k| > K_{ij}^k \text{ and } |c_{ij}^k| < K_{ij}^k \quad (8)$$

III. 레이블 검출 알고리즘

레이블 검출 알고리즘은 그림 3과 같이 레이블이 내장된 주파수를 결정하는 부분과 레이블을 검출하는 부분으로 구성되어 있다. 비밀키 PN1을 사용하여 워터마킹에 사용된 주파수 집합을 확인하고 또한 비밀키 PN2를 사용해서 각각의 1 번째 레이블 블록에서 S'_X 와 S'_Y 를 구분한다. S'_X 와 S'_Y 에 속한 기본 블록의 선택된 주파수에 해당되는 계수 중에서 절대값이 문턱치 T_{ij} 보다 작은 주파수 계수들을 선택한다. 내장된 레이블의 1 번째 비트는 앞에서 설명한 부호화 정의에 따라서 선택된 주파수 계수들의 절대값의 평균 M'_X 와 M'_Y 의 크기를 비교하여 검출한다. 그러나 만약에 레이블이 내장된 영상이 JPEG 압축되면 주파수 계수들이 양자화 되므로 워터마킹된 주파수 계수 값들이 변화되어서 그 계수 평균치의 크기도 변화된다. 따라서 영상이 JPEG 압축되어도 레이블을 정확하게 검출하기 위해서 다음 식과 같이 계수 평균치의 절대값이 어떤 문턱치 $T1$ 보다 큰 경우에만 계수 평균치를 사용하여 레이블의 한 비트 L_i 을 검출한다.

$$\begin{cases} L_i = 1 & \text{if } D > 0 \text{ and } |D| > T_1 \\ L_i = 0 & \text{if } D \leq 0 \text{ and } |D| > T_1 \end{cases} \quad (9)$$

본 논문에서는 이 문턱치를 여유 문턱치라 한다. 그림 4는 워터마킹하기 전의 레이블 블록의 계수 평균치의 절대값 중에서 최대값을 가지는 레이블 블록에 워터마킹에 사용된 주파수 계수에 대한 워터마크를 평균한 영상의 평균 워터마크를 사용하여 워터마킹한 경우를 보이고 있다. 여기서는 계수 평균치의 절대값이 여유 문턱치보다 크므로 식(9)의 계수 평균치를 사용하여 레이블의 한 비트값 '1'을 검출한다. 따라서 계수 평균치를 사용해서 레이블을 검출하는 여유 문턱치의 크기는 다음의 범위에 있다.

$$2\bar{K} - D_{\max} \geq T_1 \quad (10)$$

여기서 \bar{K} 는 영상의 평균 워터마크 크기이며 D_{\max} 는 계수 평균치의 절대값 중 최대값이다. 계수 평균치의 절대값이 여유 문턱치보다 작은 경우는 다음

과 같이 생각할 수 있다. 첫째로 레이블 블록이 $2\bar{K} - D_{max} \leq 0$ 인 경우는 워터마킹해도 레이블이 정확하게 내장되지 않는다. 그러나 이 경우는 기본 블록의 위치를 바꾸어 뒤섞었으므로 존재하지 않는다고 가정한다.

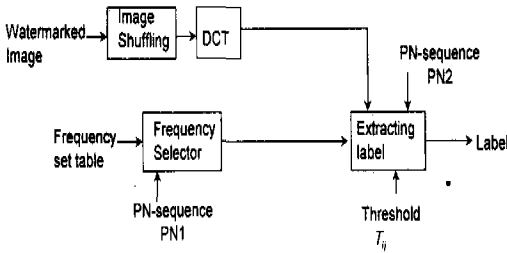
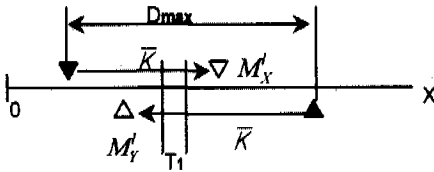


그림 3. 레이블 검출 블록도
Fig. 3 Label Detection block diagram



- ▲ ▼ : 워터마킹전의 선택된 주파수 계수의 절대값의 평균
- ▽ △ : 워터마킹후의 선택된 주파수 계수의 절대값의 평균

그림 4. 평균값의 비교를 사용한 '1'값을 가지는 비트 검출 예
Fig. 4 An example of detection of a bit with a value of '1' using the mean difference

두 번째로 레이블 블록이 $0 < 2\bar{K} - D_{max} < T_1$ 인 경우에 레이블이 내장되었으나 강건하게 내장되지 못해서 계수 평균차가 JPEG 압축에 쉽게 영향을 받은 경우이다. 세번째로 $2\bar{K} - D_{max} > T_1$ 인 상태의 레이블 블록에 워터마킹했으나 JPEG 압축으로 계수 평균차의 절대값이 여유 문턱치보다 작아진 경우이다. 이렇게 계수 평균차의 절대값이 여유 문턱치보다 작은 경우에는 본 논문에서는 주파수 계수 값이 0인 주파수의 개수로 레이블을 검출하는 방법을 제시한다. '1'값을 내장할 그림 4의 레이블 블록에서 워터마킹하기 전의 S'_x 의 주파수 계수 중에서 JPEG 압축으로 주파수 계수의 크기가 0이 되는 범위는 식 (11)과 같으며 S'_y 의 주파수 계수 중에서

JPEG 압축으로 주파수 계수의 크기가 0이 되는 범위는 식 (11)와 같다. 여기서 q_{ij} 는 해당 주파수의 양자화 계수들이다.

$$\begin{cases} 0 < |c_{ij}^k| < q_{ij}/2 - K_y^k & \text{if } q_{ij}/2 \geq K_y^k \\ \text{none} & \text{if } q_{ij}/2 < K_y^k \end{cases} \quad (11)$$

$$0 < |c_{ij}^k| < q_{ij}/2 + K_y^k \quad (12)$$

S'_x 에 속한 주파수 계수 중에서 워터마크가 $q_{ij}/2$ 보다 큰 경우에는 영상을 워터마킹하고 JPEG 압축했을 때 주파수 계수의 크기가 절대로 0이 되지 않는다. quality factor가 50인 경우를 예로 들면 이때 DCT 주파수 (0,1)의 양자화 계수는 11이다. 워터마크의 크기가 7인 경우에 영상을 워터마킹 하면 가장 작은 주파수 계수 0이 7이 된다. JPEG 압축으로 양자화 되면 11이 되어서 주파수 계수의 크기가 0이 되는 주파수 계수는 존재하지 않는다. 또한 50보다 큰 quality factor로 JPEG 압축하면 양자화 계수들의 크기가 감소하여 주파수 계수의 크기가 0이 되는 주파수 계수가 존재하지 않는다. quality factor가 50 이하가 되면 양자화 계수의 크기가 증가하여 S'_x 에서도 주파수 계수의 크기가 0이 되는 주파수 계수들이 존재한다. 그러나 quality factor의 크기와 상관없이 항상 S'_y 에서 주파수 계수의 크기가 0이 되는 주파수 계수의 범위가 S'_x 에서 주파수 계수의 크기가 0이 되는 주파수 계수의 범위보다 크므로 확률적으로 S'_y 에서 주파수 계수의 크기가 0이 되는 주파수 계수의 개수가 S'_x 에서 주파수 계수의 크기가 0이 되는 주파수 계수의 개수보다 많다.

제안하는 알고리즘에서는 주파수 계수의 크기가 0인 주파수 계수를 고의로 조작하는 공격에 대비해서 주파수 계수의 크기가 0인 주파수 계수의 개수 대신 주파수 계수의 절대값의 크기가 0부터 어떤 문턱치 T_2 의 범위에 포함되는 주파수 계수의 개수를 사용한다. 여기서 T_2 는 개수 문턱치라 부르며 S'_x 에 속한 주파수 계수의 절대값이 개수 문턱치보다 작은 주파수 계수들의 개수를 N'_x , S'_y 에 속한 주파수 계수의 절대값이 개수 문턱치보다 작은 주파수 계수들의 개수를 N'_y 라 한다. 영상이 JPEG 압축되지 않았거나 매우 작은 양자화 계수값을 사용하여 JPEG 압축한 경우에 1 번째 비트가 '1'의 값이 내장되었다면 N'_x 가 0이 되고 1 번째 비트가

'0'의 값이 내장되었다면 N'_Y 가 0이 되도록 영상의 평균 워터마크 보다 작은 값을 개수 문턱치로 선택한다. 계수 평균치의 절대값이 여유 문턱치 보다 작은 경우에 N'_X , N'_Y 를 이용하여 다음 식과 같이 l 번째 레이블 블록에 내장된 비트 L_i 의 값을 검출한다.

$$\begin{cases} L_i=1 & \text{if } N'_X < N'_Y \text{ and } |D| \leq T_1 \\ L_i=0 & \text{if } N'_X \geq N'_Y \text{ and } |D| \leq T_1 \end{cases} \quad (13)$$

IV. 실험 결과 및 고찰

제안한 워터마킹 알고리즘이 JPEG 압축과 잡음에 강한 것을 확인하기 위해 256×256 크기의 영상들을 대상으로 알고리즘을 적용한다. 실험에서 사용한 lena, couple, camera 영상은 그레이 레벨 영상이며, truck, window, mandrill 영상은 RGB 데이터로 이루어진 칼라 영상이다. 실험에서는 quality factor가 20인 경우의 양자화 테이블의 계수들을 문턱치로 사용한다.

표 2. 영상을 뒤섞기 이전의 평균차와 평균 워터마크
Table. 2 The difference of mean and the mean of watermark before shuffling images

	lena	mandrill	couple	camera	window	truck
I	98	128	40	118	129	97
N	1473	1351	1637	1631	1424	1597
\bar{D}	3.13	3.42	2.9	3.84	3.28	2.82
σ_D	5.3	5.3	4.9	7.02	5.83	4.5
Dmax	16.02	10.51	13.26	13.57	19.94	6.87
\bar{K}_5	13.92	15.58	9.91	14.87	16.41	14.45
σ_K	5.6	3.43	6.64	6.77	8.88	4.97

표 2는 기본 블록 단위로 뒤섞기 이전의 원본 영상에서 어떤 Pn-sequence 쌍에 영상의 평균 휘도 I, 레이블의 내장에 사용된 문턱치 보다 작은 주파수 계수의 개수 N, 각 레이블 블록의 계수 평균치의 절대값에 대한 평균과 표준 편차 그리고 계수 평균치의 절대값 중 최대 값 등을 보이고 있다. 또한 레이블 워터마크의 평균과 표준 편차를 보이고 있다. 표 3은 이들 영상을 뒤섞은 후의 값들을 표시하고 있다. 표 2와 3을 비교해 보면 모든 영상에서 계수 평균치의 절대값에 대한 평균값과 레이블의 워터마크

크의 평균값은 영상의 뒤섞음으로 큰 값의 변화가 없으나 각각의 표준 편차는 영상을 뒤섞은 후에 모든 영상에서 감소하는 것을 알 수 있다. 따라서 모든 레이블 블록에서 계수 평균차와 워터마크의 크기 변화가 작아지므로 각각의 레이블 블록에서 정확하게 레이블의 비트 값을 내장할 수 있음을 보여준다.

표 3. 영상을 뒤섞은 후의 평균차와 평균 워터마크
Table. 3 The difference of mean and the mean of watermark after shuffling images

	lena	mandrill	couple	camera	window	truck
N	1480	1323	1640	1642	1414	1591
\bar{K}	7.29	8.45	4.76	7.8	8.13	7.4
\bar{D}	2.13	3.21	2.57	2.25	2.88	2.51
σ_D	3.2	4.97	4.24	3.59	4.52	4.18
Dmax	10.96	8.49	6.8	7.1	10.23	11.61
\bar{K}_5	14	16.03	9.25	15.49	15.92	14.63
σ_K	3.29	2.52	3.48	3.18	4.67	1.75

실험에서 여유 문턱치는 3, 개수 문턱치는 5의 값을 사용한다. 표 3에서 couple 영상을 제외한 모든 영상에서 여유 문턱치가 3일 때 $2\bar{K} - D_{max} \geq T_1$ 를 만족함을 알 수 있다. 또한 couple 영상을 제외한 모든 영상에서 개수 문턱치 값 5는 영상의 평균 워터마크 \bar{K} 보다 작은 것을 알 수 있다

그림 5는 lena 영상이며 그림 6은 레이블의 64 비트가 모두 '1'로 내장된 영상이다. 워터마킹된 영상과 원래 영상에서 시각적인 차이를 전혀 느낄 수 없음을 볼 수 있다. 그림 7은 기본 블록 단위로 뒤섞은 lena 영상이다. 본 논문에서는 내장하는 레이블이 JPEG 압축에 강함을 나타내는 척도로 비트 에러율을 사용한다. 비트 에러율을 계산하는 방법은 다음과 같다. 256×256 크기의 영상에는 64개의 레이블 블록이 존재하므로 64개의 '1'의 값을 내장한다. 워터마킹된 영상을 어떤 quality factor 값으로 JPEG 압축한 후 다시 복원하여 레이블을 검출한 후 에러가 발생한 비트의 수를 확인한다. 또한 그 원본 영상에 64개의 '0'의 값을 내장하고 같은 방법을 적용하여 발생한 비트 에러 수를 확인한다. 이들 비트 에러 수의 합을 128 비트에 대한 비트 에러율로 표현한다. 그림 8은 lena, mandrill, couple, camera, window, truck의 영상이 JPEG에 얼마나 강한지 보이고 있다. 이들 영상들은 quality factor

값이 20일 때 couple 영상을 제외하고 거의 15% 이하의 비트 에러율을 보이고 있다. 이 couple 영상의 경우는 평균 휘도가 너무 낮아서 워터마크의 크기가 작기 때문이다.



그림 5. 원래의 lena 영상
Fig. 5 The original lena image



그림 6. 워터마킹된 lena 영상
Fig. 6 The watermarked lena image

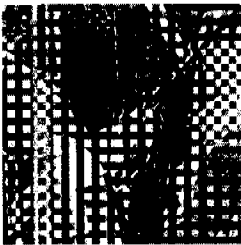


그림 7. 뒤섞인 lena 영상
Fig. 7 The shuffled lena image

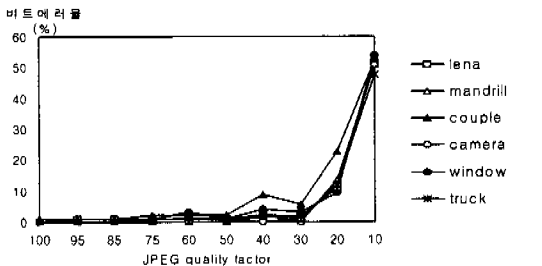


그림 8. 레이블을 내장한 영상을 JPEG 압축 및 복원 후 레이블 검출시 발생하는 비트 에러율.
Fig. 8 Bit error rate of embedded images with a label after JPEG compression and decompression.

그림 9에서는 lena 영상에 대해서 제안한 알고리즘에 의한 레이블 내장 방법, quality factor를 80으로 전처리한 Swanson의 공간 데이터 내장 방법, quality factor를 70으로 전처리한 Swanson의 주파수 데이터 내장 방법, pre-filter를 사용한 Langelaar의 공간 레이블링 방법 및 quality factor가 75로 JPEG 압축된 영상을 사용한 Langelaar의 DCT 기반 레이블링 방법의 결과를 각각 보여 주고 있다.

이들 방법의 성능을 비교해보면 Swanson과 Langelaar의 공간 영역 방법은 JPEG 압축율이 높을 때 각각 자신의 주파수 영역 방법보다 성능이 우수하다. 그러나 이들 공간 영역 방법도 quality factor 값이 40일 때 각각 22%, 12%의 에러율을 보이고 있지만 제안하는 알고리즘에서는 약 3%의 에러율로서 매우 우수한 검출 특성을 보이고 있다. 또한 Langelaar의 주파수 영역 방법은 quality factor 값이 60일 때 비트 에러율이 20%로 급격히 높아지고 Swanson의 주파수 영역방법은 quality factor 값이 40일 때 비트 에러율이 30%로 급격히 높아진다. 그러나 제안하는 알고리즘에서는 quality factor가 20인 경우에도 비트 에러율이 약 10%로 매우 낮다.

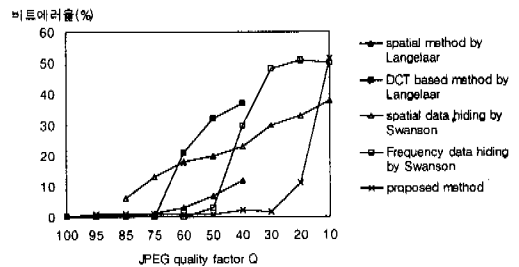


그림 9. lena 영상을 이용한 제안한 방법과 다른 방법과의 성능비교
Fig. 9 The performance comparison of the proposed method and other methods using lena image

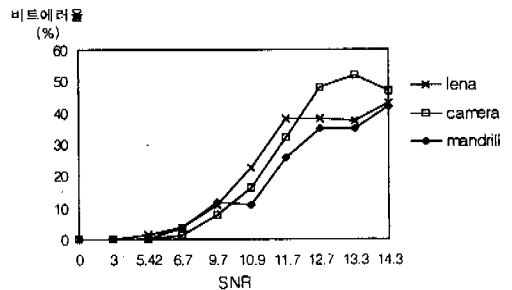


그림 10. 영상의 SNR에 따른 비트 에러율
Fig. 10 The bit error rate according to SNR of images

제안하는 워터마킹 방법이 잡음에 강함을 보이기 위해서 lena, camera, mandrill 영상에 균등 분포 잡음을 더한 후 레이블의 검출을 시도한다. 그 결과를 그림 10에서 보여 주고 있다. 이때 SNR은 $-10 \log(K_m/N_m)$ 로서 정의된다. 여기서 K_m 은 영상의 각 화소에 가감된 워터마크의 평균 크기이며 N_m 은 워터마킹된 영상에 더해진 잡음의 평균 크기이다.



그림 11. 9.7db의 균등 분포 잡음이 가해진 lena 영상
Fig. 11 Lena image with 9.7db uniform distribution noise

SNR이 9.7db인 경우에 비트 에러율이 10% 정도이지만 SNR이 증가함에 따라 비트 에러율이 급격히 증가함을 볼 수 있다. 그림 11은 9.7dB의 잡음이 더해진 lena 영상이다. 이렇게 심하게 훼손된 영상에서도 매우 낮은 에러율로 레이블을 검출할 수 있음을 보여 준다. 따라서 제안하는 알고리즘이 영상의 품질을 심하게 저하시킬 정도의 잡음에서도 강함을 알 수 있다.

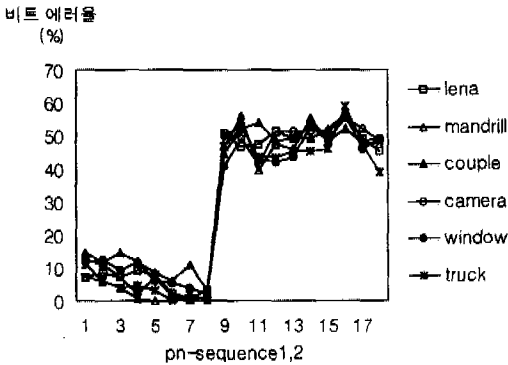


그림 12. 여러번 내장된 영상에서 레이블의 검출 결과
Fig. 12 The detection results of labels from multiple labeled images

그림 12에서는 영상에 레이블을 여러 번 내장하고 각각의 레이블 검출 결과를 보이고 있다. 각각의 영상에 '0' 값을 가지는 64개의 비트로 이루어진 레이블을 차례로 내장한다. 이때 임의로 선택된 서로 다른 Pn-sequence 쌍 1번부터 8번까지 8개를 차례로 사용하기 때문에 레이블 블록마다 기본 블록의 집합 S_x, S_y 분포가 다르게 된다. 또한 내장되는 레이블마다 각각의 기본 블록에서 사용되는 주파수 위치가 다르게 분포되므로 내장에 사용되는 8개의 주파수에 끌고루 레이블 정보가 내장된다. 8개의 레

이블을 내장한 영상에서 레이블을 내장할 때 사용된 8개의 Pn-sequence 쌍을 사용하여 레이블을 검출하고 또한 임의의 10개의 Pn-sequence 쌍을 사용하여 레이블의 검출을 시도한다. '1' 값을 가지는 64개의 비트로 이루어진 레이블에 같은 과정을 반복한다. 레이블 내장에 사용된 1번 부터 8번까지의 8개의 Pn-sequence 쌍과 내장에 사용되지 않은 9번 부터 18번 까지의 10개의 Pn-sequence 쌍을 사용하여 '0' 과 '1'로 구성된 각각의 레이블을 검출한 결과를 평균하여 비트 에러율을 구한다. 그림 12를 보면 처음에 내장된 레이블이 나중에 내장된 레이블의 간섭으로 레이블 검출 결과 대체로 비트 에러율이 커지는 것을 알 수 있다. 9번 부터 18번까지의 Pn-sequence 쌍을 사용하여 레이블의 검출을 시도한 결과 임의의 위치에서 검출을 시도하므로 비트 에러율이 40%에서 60%사이로 나타난다. 여러번 레이블이 내장된 영상의 품질을 살펴보면 truck, camera, lena, couple 등 평탄한 부분이 많이 포함된 영상의 경우에는 레이블을 4번 정도 내장했을 때 mandrill과 window 같이 복잡한 영상의 경우는 8번 정도 내장했을 때 영상의 품질이 저하되는 것을 확인했다. 영상의 품질이 저하되는 8번의 레이블 내장에서 가장 처음 내장된 레이블의 비트 에러율이 15% 이하로서 고의적인 공격이나 잡음 등에 강함을 이 실험 결과를 통해서도 알 수 있다.

표 4. 영상에 레이블을 내장한 후에 JPEG 비트열의 길이 변화 비교
Table. 4 The comparison of the JPEG bit length between the original images and labeled images

quality factor	lena		mandrill		couple	
	원본	내장본	원본	내장본	원본	내장본
100	45,983	46,114	83,153	85,039	39,994	40,317
	2.8%		0.1%		0.8%	
75	11,176	11,276	19,917	19,828	9,073	9,119
	0.8%		-0.4%		0.5%	
50	7,624	7,728	12,974	12,898	6,173	6,204
	1.3%		-0.6%		0.5%	
quality factor	camera		window		truck	
	원본	내장본	원본	내장본	원본	내장본
100	45,086	45,424	74,074	77,756	49,475	52,562
	0.74%		4.9%		6.2%	
75	10,717	10,894	19,501	20,197	12,954	13,141
	1.65%		3.5%		1.4%	
50	7,167	7,382	13,702	14,082	9,065	9,155
	2.9%		2.3%		0.9%	

표 4는 레이블을 내장하기 전에 JPEG 압축한 영

상의 비트 열과 레이블을 내장한 후에 JPEG 압축한 영상의 비트 열의 길이를 바이트 단위로 비교하고 있다. 영상에 레이블이 내장되면 JPEG 압축시 비트 열의 길이가 변화되는 것을 알 수 있다. 이것은 제안하는 알고리즘이 JPEG 압축에 강하기 위해서 낮은 에너지를 가지는 주파수 계수들의 크기를 변화시키기 때문이다. 표 4의 결과에서 quality factor가 감소할수록 비트 증가율이 감소하며 영상의 품질이 보존되는 quality factor 75에서 3.5% 이하의 비트 증가율이 있음을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 영상의 시각적인 품질에 영향을 주지 않고 레이블을 내장할 수 있는 새로운 워터마킹 방법을 제안한다. 제안하는 방법에서는 사람의 시각 시스템 모델을 사용하여 영상의 특성에 적합한 워터마크의 크기를 결정한다. 이들 워터마크는 영상의 저주파 부분에 내장되고 비밀키를 통해서 워터마킹 하는 주파수 위치를 결정하기 때문에 영상의 품질을 저하시키지 않고 제거하거나 변경하는 것이 불가능하다. 제안한 알고리즘은 원본 영상 없이 레이블의 검출이 가능하며 JPEG 압축과 잡음에 매우 강함을 보여 주고 있다.

그러나 제안하는 알고리즘에서는 JPEG 압축에 강하도록 영상에서 낮은 에너지를 가지는 주파수 계수들의 크기를 변화시키기 때문에 레이블이 내장된 영상을 JPEG 압축하면 비트의 길이가 다소 증가하는 문제점이 있다. 또한 영상의 특정 위치에 워터마킹하기 때문에 이동이나 회전과 같은 기하학적인 변환에 약하다. 하지만 이런 변환은 소유권의 문제가 생겼을 때 사람의 판단으로 기하학적인 역변환 전처리를 하면 레이블이 훼손되지 않은 영상 데이터를 얻을 수 있다. 그러나 앞으로 인터넷에서 복사된 영상을 자동적으로 추적하는 프로그램으로 활용하려면 워터마킹 알고리즘에서 사람의 판단이 개입되지 않는 알고리즘의 연구가 필요하다.

참고 문헌

[1] F. M. Boland, J. J. K. O Ruanaidh and C. Dautzenberg, "Watermarking Digital Images for Copyright Protection," *Image Processing And Its Applications*, pp.326-330, July 1995
 [2] Fred Mintzer, Gordon W. Braudaway and

Minerva M. Yeung, "Effective and Ineffective Digital Watermarks," *Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing*, vol. III, pp. 9-12, 1997
 [3] W. Bender, D. Gruhl and N. Morimoto, "Techniques for Data Hiding," *Proceedings SPIE*, pp. 2420-2440, February 1995
 [4] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton and T. Shamon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," *Technical Report 95-10*, NEC Research Institute.
 [5] I. Pitas, "A Method for Signature Casting on Digital Image," *Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing*, pp. 215-218, September 1996
 [6] Mitchell D. Swanson, Bin Zhu and Ahmed H. Tewfik, "Transparent Robust Image Watermarking," *Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing*, pp. 211-214, 1996
 [7] Christine I. Podilchuk, Wenjun Zeng, "Perceptual Watermarking of Still Images," *Workshop on Multimedia Signal Processing*, June 1997
 [8] 서정일, 원치선, "디지털 영상의 저작권 보호를 위한 새로운 서양문양," *통신학회논문지*, 22권, 8호, pp.1814-1812, August 1997
 [9] 김덕령, 박성한, "디지털 영상의 복사 방지를 위한 적용 워터마킹 방법," *전자공학논문지*, 35권, S편, 4호, pp.85-95, April 1998
 [10] E. Koch, J. Zhao, "Towards Robust and Hidden Image Copyright Labeling," *Nonlinear Signal Processing Workshop*, pp. 460-463, 1995
 [11] Mitchell D. Swanson, Bin Zhu and Ahmed H. Tewfik, "Robust Data Hiding for images," *IEEE Digital Signal Processing Workshop*, pp. 37-40, 1996
 [12] Gerrit C. Langelaar, Jan C.A. van der Lubbe and Reginald L. Lagendijk, "Robust Labeling Method for Copy Protection of Images," *Proceedings of SPIE ELECTRONIC IMAGING '97, storage and Retrieval for Image and Video Databases V*, pp. 298-309, February 1997

[13] Andrew B. Watson, "Visual Optimization of DCT Quantization matrices for Individual Images," *Proceedings AIAA Computing in Aerospace* 9, pp. 286-291, 1993

[14] Joshua A. Solomon, Andrew B. Watson and Albert Ahumada, "Visibility of DCT basis functions : Effects of contrast masking," *Proceeding of Data Compression Conference*, Snowbird, Utah : IEEE Computer Society Press, pp. 361-370, 1994

[15] A. J. Ahumada, H. A. Peterson, "Luminance-Model Based DCT Quantization for color Image compression," *Human Vision, Visual Processing and Digital Display III, Proceeding of the SPIE*, vol. 1666, pp. 365-374, 1992

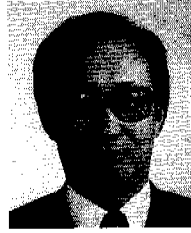
[16] William B. Pennebaker, Joan L. Mitchell, *JPEG Still Image Data Compression Standard*, Van Nostrand Reinhold New York, pp. 65-79, 1993.

[17] Alex W. Lam, Sawasd Tantaratana, *Theory and Applications of Spread-Spectrum Systems*, IEEE Ind, pp. 93-118, 1994.

[18] K. R. Rao, P. Yip, *Discrete Cosine Transform*, Academic Press New York, pp. 12-16, 1990

박 성 한(Sung-Han Park)

정회원



1947년 6월 2일생
 1970년 한양대학교 전자공학과 졸업 (B.S.)
 1973년 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업 (M.S.)
 1984년 텍사스 주립대학 전기 및 컴퓨터공학과 졸업 (Ph.D.)

1974년 3월~1978년 8월 경북대학교 전자공학과 전임강사

1984년 5월~1984년 8월 텍사스 주립대학 Instructor

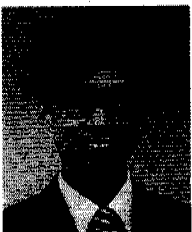
1984년 9월~1986년 2월 금성사 중앙연구소 수석 연구원

1986년 3월~현재 한양대학교 전자계산학과 교수
 <주관심분야> 멀티미디어 통신, 컴퓨터비전,

Watermarking

김 덕 령(Dug-Ryung Kim)

정회원



1964년 7월 10일생
 1988년 2월 한양대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
 1990년 2월 한양대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사)

1993년 3월~현재 한양대학교 대학원 전자계산학과 박사과정

1990년 3월~1991년 3월 금성사 정보기기 연구소

1991년 4월~1996년 8월 생산기술연구원/전자부품 연구소 전임연구원

1996년 9월~현재 안산1대학 전자계산과 전임강사
 <주관심분야> 멀티미디어 통신, 멀티미디어 정보보호, Watermarking