
웨이브릿 변환 영역에서 디지털 워터마킹의 성능분석

김진태* · 김동욱**

Performance Analysis for Digital Watermarking on the Wavelet Transform Domain

Jin-Tae Kim* · Dong-Wook Kim**

요 약

디지털 워터마킹은 멀티미디어 데이터의 저작권 보호 목적으로 최근에 많은 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 디지털 영상에 저작권 정보를 은닉하는 디지털 워터마킹 방법의 기법을 고찰한다. 웨이브릿 변환 영역에서 각 대역에 삽입된 워터마크는 영상 압축 등의 처리과정을 거치면서 변형이 생기게 되는데, 영상처리 후에 각 대역의 통계적 특성에 따라 변형정도가 다르게 된다는 특성을 고려한다. 이를 통해 영상의 대역 특성에 따라 워터마크를 다르게 삽입해야 좋은 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

ABSTRACT

Recently, many studies about digital watermarking have been doing, and their purpose is to protect copyright of multimedia data. In this paper, the performances of digital watermerkings, in order to hide information of copyright into digital images, are analyzed. The watermarks embedded in subbands on wavelet transform domain are transformed by the processing such as image compression, and the degree of the transformation in each subband depend on its statistical characteristics. That says, we must consider the characteristics of subbands for better watermarking.

키워드

디지털 워터마킹(digital watermarking), 멀티미디어 데이터(multimedia data), 통계적 특성(statistical characteristics), 대역 특성(characteristics of subbands)

1. 서 론

현대 사회의 지적재산권에 대한 인식 확대와 소유권 인증에 관한 필요성이 알려지면서 디지털 저작물에 대해서도 인증 및 보호를 필요로 하게 되었다. 디지털 데이터 내부에 임의의 정보를 은닉시켜 디지털 멀티미디어 저작물의 소유권을 인증할 수 있도록 하는 방법이 디지털 워터마킹(digital watermarking)이다^[1]. 디지털 워터마킹 기술은 멀티미디어 데이터의 저작권 보호의 한 방법으로 현재 연구가 활발히 진행되고 있다. 디지털 워터마킹에 의해 디지털 데이터가 배포되더라도 소유권을 인증받을 수 있고, 불법적

인 변조, 훼손, 도용 등에 대해서도 권리를 주장할 수 있다^[2]. 디지털 영상에 대한 저작권 보호 기술로 가장 주목 받고있는 것은 디지털 영상 내부에 시각적으로 볼 수 없는 원 저작자의 정보인 워터마크를 은닉하는 디지털 워터마킹 기법이다^[3-7]. 이러한 워터마킹 기법은 원영상에 부가적인 정보를 넣는 것이므로 일종의 잡음이나 영상의 왜곡으로 볼 수 있다. 이런 잡음이나 영상의 왜곡은 시각적으로 인지할 수 없도록 원영상에 대한 변형을 최소화해야 하지만, 인위적인 제거작업에는 강해야하는 상반된 특성이 요구된다.

워터마킹 기법은 영상의 화소값을 직접적으로 변

*한서대학교 컴퓨터정보학과

**전주대학교 정보기술컴퓨터공학부

화시키는 공간영역(spatial domain)에서의 방법과 영상을 변환하여 변환영역(transform domain)에서 워터마크를 삽입하는 방법으로 크게 두 분류로 나눌 수 있다. 공간영역에서의 워터마킹 방법으로 Pitas는 영상을 크기가 같은 두 집합으로 나누고 한 집합의 화소 값들을 일정하게 증가시키는 방법을 제안하였다[8]. 공간영역 상에서의 워터마킹 방법은 단순하고 빠르게 워터마킹할 수 있는 장점이 있으나 잡음과 영상압축 등에 약하다는 단점을 가지고 있다. 변환영역에서의 워터마킹 방법으로 Koch 등은 영상을 분할하고 DCT를 한 후 저주파 부분에 워터마크를 삽입하는 방법을 제안했다^[9]. Cox 등은 DCT 변환을 사용하여 원영상을 주파수 영역으로 변환시킨 후 중요한 계수 1000개를 선택하여 워터마킹하는 방법을 제안하였다^[10]. Swanson 등은 콘트라스트 마스킹(contrast masking) 모델을 사용하여 영상의 JND(Just Noticeable Difference) DCT 값을 구한 후에 워터마킹하는 방법을 제안했다[11]. 또한 Xia 등은 웨이브릿 변환(wavelet transform)을 이용하여 원 영상을 변환한 후 가장 저주파 대역을 제외한 모든 부대에 워터마크를 삽입하였다^[12]. 일반적으로 변환영역에서의 워터마킹 방법들은 공간영역에서의 워터마킹 방법보다 잡음이나 일반적인 영상처리와 압축 등에 견고하다는 장점을 가지고 있어, 최근에는 주로 변환영역에서의 워터마킹 기법 연구가 주종을 이루고 있다.

본 논문에서는 변환영역에서의 워터마킹 중 웨이브릿 변환을 이용하여 효과적인 워터마킹을 달성하기 위한 기법을 고찰하며, 이를 위하여 각 대역의 통계적 특징에 따라 워터마크가 변형되는 정도가 다르다는 점을 적용하고자 한다. 먼저, 영상을 웨이브릿 변환을 통해 여러 부대역으로 나눈 후에 각 대역의 통계적 특성을 조사하고, 각 대역에 워터마크를 삽입한다. 이때 각 대역의 통계적 특성에 따라 삽입된 워터마크는 영상압축 등의 처리 과정을 거치면서 변형이 생기게 되는데 추후에 추출될 수 있을 정도가 되어야 한다. 워터마크가 변형되는 정도는 각 대역의 통계적 특징에 따라 다르게 변화하므로 통계적 특성에 맞는 워터마크를 삽입하는 것이 중요하다. 따라서 본 논문에서는 영상을 웨이브릿 변환 후에 같은 워터마크를 각 대역의 삽입한 후, 각 대역의 특징에 따

라 워터마크의 변형정도를 살펴보고 워터마크의 강인성을 비교하여 최적의 워터마킹 기법을 도출하고자 한다.

II. 웨이브릿 변환

2.1 웨이브릿 변환의 개요

신호를 변환하는 목적은 일반적으로 신호가 가지고 있는 특징 정보를 분석하기 용이하도록 하는 것이다. 다양한 변환 방법 중에서 가장 널리 알려지고 사용되는 변환 방법은 푸리에 변환(Fourier transform)이다. 푸리에 변환은 기저 함수(basis function)가 정현파로 신호의 특성이 시간축에서 변하지 않는 정상 신호(stationary signal)가 아닌 비정상 신호(nonstationary signal)의 분석에는 적합하지 않다. 이 단점을 보완한 것이 웨이브릿 변환이다^[13, 14].

웨이브릿 변환은 신호를 임의의 신호를 시간-주파수적으로 지역성을 갖는 웨이브릿 기저함수들의 중첩(superposition)으로 표현하는 것이다. 식 (1)에 이산 웨이브릿 변환(DWT: Discrete Wavelet Transform)의 기본 식을 나타내었다.

$$f(t) = \sum_{j,k} a_{j,k} \Psi_{j,k}(t) \quad (1)$$

여기서, $a_{j,k}$ 는 웨이브릿 변환 계수를 나타내고, $\Psi_{j,k}$ 는 웨이브릿 기저 함수를 의미한다.

$$a_{j,k} = \langle f(t), \Psi_{j,k}(t) \rangle = \int f(t) \Psi_{j,k}(t) dt \quad (2)$$

식 (2)는 웨이브릿 변환 계수 $a_{j,k}$ 가 신호 $f(t)$ 와 웨이브릿 기저 함수 $\Psi_{j,k}$ 의 내적과 같음을 의미한다.

$$\Psi_{j,k}(t) = 2^{-j/2} \Psi(2^j t - k) \quad (3)$$

식 (3)의 웨이브릿 기저 함수들은 모 웨이브릿(mother wavelet) Ψ 를 신축하거나 팽창하고 이동함으로써 얻어지는 함수들의 집합이다.

2.2 다해상도 웨이브릿 변환

DWT를 이용한 다해상도 분석(multiresolution analysis)에서는 두 개의 기본 함수 모 웨이브릿 Ψ 와 스케일 함수 ϕ 가 존재한다. 이에 대한 식은 다음과 같다^[13].

$$f(t) = \sum_k c_j(k) \phi_{j,k}(t) + \sum_k d_j(k) \psi_{j,k}(t) \\ = \sum_k c_j(k) 2^{j/2} \phi(2^j t - k) + \sum_k d_j(k) 2^{j/2} \psi(2^j t - k) \quad (4)$$

식 (4)에서 $c_j(k)$, $d_j(k)$ 는 스케일링(scaling) 계수와 웨이브릿 계수를 각각 의미한다.

$$c_j(k) = \sum_m h(m-2k)c_{j+1}(m) \quad (5)$$

$$d_j(k) = \sum_m g(m-2k)c_{j+1}(m) \quad (6)$$

식 (5)에 있는 $h(\cdot)$ 는 저역통과필터(LPF: Low Pass Filter)를 나타내고, 식 (6)의 $g(\cdot)$ 는 고역통과필터(HPF: High Pass Filter)를 나타낸다. 다해상도 분석은 이 저역통과필터와 고역통과필터를 번갈아 수행함으로써 이루어진다.

웨이브릿 변환은 분해(analysis)와 합성(synthesis) 과정에서 각각 부표본화(down sampling)와 보간(up-sampling, interpolation)이 사용되기 때문에, 원영상의 크기를 그대로 유지할 수 있다. 그림 1에 영상에 대한 다해상도 분해 과정 및 분할된 영상을 나타내었다.

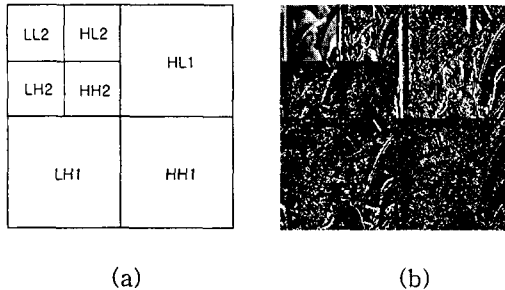


그림 1. 'Lena' 영상의 웨이브릿 변환
Fig. 1 Wavelet transform result of 'Lena' image
2차원 영상에 대한 이산 웨이브릿 변환은 수평,

수직 방향으로 1차원 이산 웨이브릿 변환을 반복적으로 적용하여 얻어진다. 이를 통해 서로 다른 단계의 다해상도(multiresolution) 부대역(subband) 영상을 얻을 수 있다. 그림 1은 2차원 영상을 2단계 웨이브릿 변환하여 얻어진 다해상도 영상을 나타낸다. 그림 2(a)에서 LL2 부대역 영상은 원영상의 1/16 크기를 갖는 축소된 영상으로 원영상의 대략적인 특성을 가지는 저주파 성분이고, LH(1,2), HL(1,2), HH(1,2) 부대역은 각각 원영상의 수직, 수평, 대각 방향의 에지 성분을 가지는 고주파 영상이다.

III. 워터마크 삽입 및 추출

3.1 워터마크 삽입과정

본 논문에서는 2차원 이산 웨이브릿 변환을 이용하여 영상을 부대역으로 나눈 후에 각 대역별로 워터마크를 삽입한다. 웨이브릿 변환된 그림 1(a)의 각 부대역에서 가장 저주파 대역인 LL2와 가장 고주파 대역인 HH1에는 워터마크를 삽입하지 않는다. LL2 대역은 영상에 대한 정보가 많이 포함되어 있기 때문에 정보의 손실 우려가 많기 때문이고, HH1 대역은 신호 값이 크기가 작기 때문에 영상을 압축하면 손실될 수가 많이 있기 때문이다.

그림 2는 워터마크를 삽입하는 과정이다. 워터마크가 삽입되는 곳은 HL2, LH2, HH2, HL1, LH1의 다섯개 대역이다. 다섯 개 대역의 신호중에서 시각적으로 중요한 계수에 대해 워터마크를 삽입하는데, 삽입되는 워터마크 신호로는 PN(pseudo random)코드와 일반 이진 영상을 사용한다. 워터마크의 삽입은 식 (7)과 (8)을 이용한다.

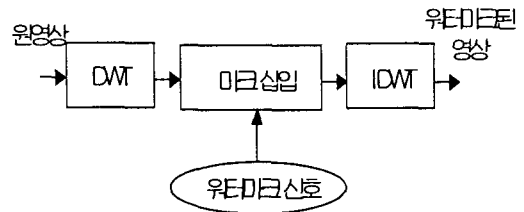


그림 2. 워터마크 삽입과정
Fig. 2 The embedding of watermark

$$V'_i = V_i + wX_i \quad (7)$$

$$V'_i = V_i(1 + wX_i) \quad (8)$$

여기서, V'_i 는 워터마크가 삽입된 후의 계수 값이고, V_i 는 워터마크를 삽입하기 위해 선택된 웨이브릿 계수이고, X_i 는 삽입할 워터마크, w 는 대역별 가중치이다.

다해상도로 분해된 각 부대역에 대해 시각적으로 중요한 계수를 구하기 위해 해당 대역에서 최대값을 구한다. 이때 최대값을 X_i 라 하면, 식 (9)에 의해 각 대역의 임계값 T_i 를 구한다. 워터마크가 삽입되는 계수는 각 대역에서 임계값보다 큰 값을 가지는 계수가 된다.

$$T_i = \frac{2^{Fix[\log_2 X_i]}}{2} \quad (9)$$

여기서, $Fix[\cdot]$ 는 그 수를 넘지 않는 가장 큰 정수이다.

3.2 워터마크 추출과정

워터마크의 추출과정은 삽입과정과 유사하다. 영상 압축과 잡음 첨가 등의 영상처리가 이루어진 변형된 워터마크가 들어있는 영상을 삽입과정에서와 동일하게 2단계로 이산 웨이브릿 변환을 한다. 보관하고 있는 원 영상에 대해서도 2단계로 이산 웨이브릿 변환하여 변환 영역에서 두 영상의 차이를 구한다. 이렇게 하면 변형된 워터마크를 구할 수 있고 원래의 워터마크와 유사도를 계산하여 유사도가 높다면 자신의 저작권을 주장할 수 있다. 그림 3은 워터마크 추출과정의 블록도이다.

삽입된 워터마크와 추출된 워터마크간의 유사도를 측정하는 방법은 여러 가지가 있을 수 있지만 본 논문에서는 다음의 식 (10)을 사용한다.

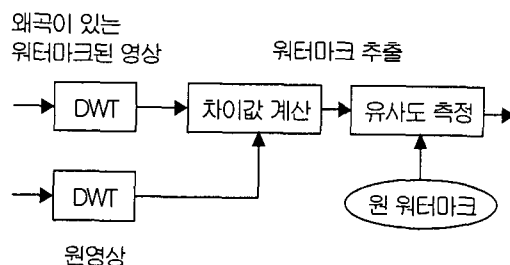


그림 3. 워터마크 추출과정
Fig. 3 The detection of watermark

$$NC(W, W^*) = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \times w_i^*}{\sum_{i=1}^n w_i^2} \quad (10)$$

여기서, $W = w_1, w_2, \dots, w_n$, $W^* = w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*$ 이다. W 는 원래의 워터마크, W^* 는 추출된 워터마크, n 은 워터마크 시퀀스의 수이다.

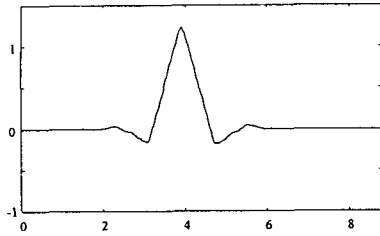
IV. 실험 결과 및 고찰

그림 4(a)는 실험에 사용된 256×256 크기의 256 명암도를 갖는 'Lena' 원영상이고, 그림 4(b)는 2레벨 이산 웨이브릿 변환된 영상이다.

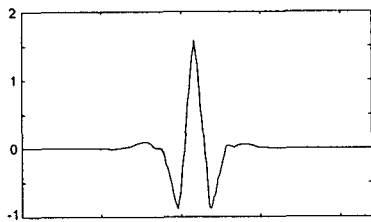


(a)원 영상 (b)웨이브릿 대역 영상

그림 4. 원영상과 웨이브릿 변환 영상
Fig. 4 Original image and wavelet transformed image



(a) 스케일링 함수

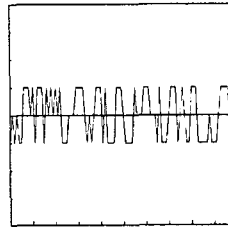


(b) 웨이블릿 함수

그림 5. 사용한 필터 특성
Fig. 5 The characteristics of the used filter

그림 5는 본 실험에서 웨이블릿 변환의 분해 및 합성에 사용한 웨이블릿 필터의 특성을 나타낸다. 분해 및 합성에 각각 7과 9 탭(tap) 필터를 사용하였다 [16,17]. 그림 5(a)는 스케일링 함수를 나타내고, 그림 5(b)는 웨이블릿 함수를 나타낸다.

본 논문에서는 워터마크로 PN 코드와 이진 영상을 사용하였다. 그림 6에 워터마크 신호를 보인다. 그림 6(a)에 나타낸 PN 코드는 다음과 같은 특징을 가지고 있다. ① 반복주기가 충분히 길다. ② 한 주기속에 0과 1의 개수가 비슷하다. ③ run 길이가 1인 부분이 1/2, 2인 부분이 1/4, 3인 부분이 1/8 ... 이다(run 길이란 같은 연속된 숫자를 말함). ④ 한 주기속에 각 시퀀스(sequence)간에 상관도(cross correlation)이 매우 작다. ⑤ 적절한 재생 알고리즘에 의해 재생이 가능하다. 또한 이진 영상으로는 그림 6(b)와 같은 로고 영상을 사용하였다. PN 코드와 로고 영상의 큰 차이점은 PN 코드의 평균은 0이고 로고 영상은 작은 평균값을 가진다.



(a)PN 코드



(b)로고 영상

그림 6. 워터마크 신호
Fig. 6 Watermark signals

본 논문에서 워터마크를 삽입하는 식은 PN 코드인 경우는 식 (7)을 사용하였고, 로고 영상인 경우는 식 (8)을 사용하였다. PN 코드는 식 (9)를 이용하여 웨이블릿 변환 영역에서 임계값이 큰 계수에 삽입하였고 로고 영상의 웨이블릿 변환 영역의 각 대역에 그림 7과 같이 삽입하였다. 워터마크를 삽입하는 과정에서 대역별 가중치는 실험적으로 식 (7)에서는 0.2, 식 (8)에서는 0.1를 사용하였고, PN 코드는 -2~2와 -1~1 범위를 사용하였다.

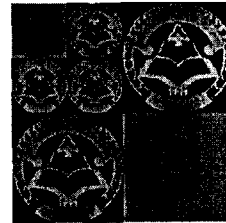


그림 7. 로고영상의 삽입 위치
Fig. 7 The embedded position of logo image

표 1은 웨이블릿 변환된 각 대역의 통계적 성질을 구한 값이다. 통계적 특징은 워터마크가 삽입되는 5개 대역에 대하여 구하였다. 이때 구한 통계적 특징은 각각 식 (11)~(13)을 사용하였다.

표 1. 각 대역의 통계적 특징

Table. 1 The statistics characteristics of each subband

| | 평균(M) | 에너지(E) | 엔트로피(P) | 최대값 |
|-----|---------|----------|---------|-----|
| LH1 | 0.1416 | 28.5589 | 7.4030 | 228 |
| HL1 | -0.0003 | 64.7767 | 3.5579 | 67 |
| LH2 | 0.2601 | 38.2835 | 7.3193 | 222 |
| HL2 | 0.0075 | 101.3370 | 3.5574 | 45 |
| HH2 | 0.0709 | 20.4902 | 4.4646 | 72 |

$$M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \quad (11)$$

$$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [M - v_i]^2 \quad (12)$$

$$P = \sum_{i=1}^n P_i \log_2 \frac{1}{P_i} \text{ [bits]} \quad (13)$$

여기서, v_i 는 웨이브릿 변환 계수이고, P_i 는 웨이브릿 변환 계수의 확률이다.

표 2는 웨이브릿 대역 영상에 PN 코드를 삽입하여 JPEG 압축을 하고, 다시 워터마크를 추출하여 유사도를 계산한 결과이다. 표 3은 로고 영상에 대한 결과이다. 표 2와 3을 비교해보면, 표 2의 결과가 우수하다. 이는 PN 코드가 웨이브릿 계수중 큰 값을 가지는 계수에 워터마크가 삽입된 결과로 생각된다. 로고 영상의 경우는 웨이브릿 계수의 값에 관계없이 위치에 따라 삽입되기 때문에 영상 압축후에 많은 부분이 손실되었다.

그리고 PN 코드는 고주파 대역에서 더 우수한 검출 결과가 나타났고, 로고 영상은 상대적으로 낮은 고주파 대역에서 우수한 결과가 나타났다. 또한 일반적으로 에너지 또는 엔트로피가 큰 값을 가지는 대역에서 PN 코드나 로고 영상의 유사도가 큰 값을 나타내었다. 압축율이 적을수록 모든 대역에서 우수한 검출율을 보였다.

표 2. JPEG 압축에 따른 워터마크의 유사도(PN 코드)

Table. 2 The similarity of the watermarks in subbands after JPEG compressing(PN code)

| JPEG 압축 | PSNR | 대역 위치 | 유사도 |
|---------|--------|-------|--------|
| 10% | 46.048 | LH1 | 0.9177 |
| | | HL1 | 0.9004 |
| | | LH2 | 0.8961 |
| | | HL2 | 0.9696 |
| 20% | 42.406 | HH2 | 0.8701 |
| | | LH1 | 0.9826 |
| | | HL1 | 0.9610 |
| | | LH2 | 0.8787 |
| 30% | 39.584 | HL2 | 0.7792 |
| | | HH2 | 0.8614 |
| | | LH1 | 0.9740 |
| | | HL1 | 0.9740 |
| 40% | 37.343 | LH2 | 0.8831 |
| | | HL2 | 0.7012 |
| | | HH2 | 0.7922 |
| | | LH1 | 0.8744 |
| 50% | 35.141 | HL1 | 0.9480 |
| | | LH2 | 0.8787 |
| | | HL2 | 0.7878 |
| | | HH2 | 0.8874 |
| | | LH1 | 0.8658 |
| | | HL1 | 0.8961 |
| | | LH2 | 0.7835 |
| | | HL2 | 0.7792 |
| | | HH2 | 0.9134 |

표 3. JPEG 압축에 따른 워터마크의 유사도(로고 영상)

Table. 3 The similarity of the watermarks in subbands after JPEG compressing (logo image)

| JPEG 압축 | PSNR | 대역 위치 | 유사도 |
|---------|--------|-------|--------|
| 10% | 45.319 | LH1 | 0.6006 |
| | | HL1 | 0.5854 |
| | | LH2 | 0.9350 |
| | | HL2 | 0.9266 |
| 20% | 42.092 | HH2 | 0.8472 |
| | | LH1 | 0.5496 |
| | | HL1 | 0.5546 |
| | | LH2 | 0.8243 |
| | | HL2 | 0.8262 |
| | | HH2 | 0.7122 |

| JPEG 압축 | PSNR | 대역 위치 | 유사도 |
|---------|--------|-------|--------|
| 30% | 39.436 | LH1 | 0.5142 |
| | | HL1 | 0.5213 |
| | | LH2 | 0.7313 |
| | | HL2 | 0.7173 |
| | | HH2 | 0.6145 |
| 40% | 37.260 | LH1 | 0.4968 |
| | | HL1 | 0.5046 |
| | | LH2 | 0.6477 |
| | | HL2 | 0.6519 |
| | | HH2 | 0.5640 |
| 50% | 35.097 | LH1 | 0.4943 |
| | | HL1 | 0.4935 |
| | | LH2 | 0.5766 |
| | | HL2 | 0.6164 |
| | | HH2 | 0.5364 |

V. 결 론

본 논문에서는 웨이브릿 변환을 하여 원 영상을 부대역으로 나눈 후에 각 대역별로 워터마크를 삽입하여 그 결과를 분석하였다. 워터마크 신호로는 PN 코드와 이진 영상을 사용하였다. JPEG 압축과 같은 영상 왜곡에 대해 워터마크를 추출하여 대역의 특성과 상관성을 살펴보았다. 결국 워터마킹은 대상 영상의 통계적 특성과 워터마크의 특성을 조사하여 삽입하여야 추출과정에서 왜곡에 강한 디지털 워터마킹이 이루어질 수 있다.

앞으로의 연구로 영상의 특성에 강인한 워터마크 삽입을 위하여 영상의 통계적 특성과 어울리는 워터마크의 형태를 개발하는 것이 필요하리라 본다.

참고문헌

[1] 원치선, "디지털 영상의 저작권 보호", 정보과학회지, 제15권, 제12호, pp. 22-27, 1997.
 [2] N. Nikolaidis and I. Pitas, "Digital image watermarking: an overview," Proc. Multimedia Computing and Systems, pp. 1-6, 1999.
 [3] F. A. P. Petitcolas, R. J. Anderson, and M. G. Kuhn, "Information hiding - a survey," Proc.

IEEE, vol. 87, no. 7, pp. 1062-1078, 1999.
 [4] F. Hartung and M. Kutter, "Multimedia watermarking techniques," Proc. IEEE, vol. 87, no. 7, pp. 1079-1107, 1999.
 [5] R. Wolfgang, C. I. Podolchuk, and E. Delp, "Perceptual watermarks for digital images and video," Proc. IEEE, vol. 87, no. 7, pp. 1108-1126, 1999.
 [6] I. J. Cox, M. L. Miller, and A. L. McKellips, "Watermarking as communications with side information," Proc. IEEE, vol. 87, no. 7, pp. 1127-1141, 1999.
 [7] G. Voyatzis and I. Pitas, "The use of watermarks in the protection of digital multimedia products," Proc. IEEE, vol. 87, no. 7, pp. 1197-1207, 1999.
 [8] I. Pitas, "A method for watermark casting in digital images," IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology, vol. 8, no. 6, pp. 775-780, 1998.
 [9] E. Koch and J. Zhao, "Toward robust and hidden image copyright labeling," Proc. Nonlinear Signal and Image Processing, pp. 452-455, 1995.
 [10] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shamos, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," IEEE Trans. Image Processing, vol. 6, no. 12, pp. 1673-1687, 1997.
 [11] M. D. Swanson and B. Zhu, "Transparent robust image watermarking," Proc. Image Processing, vol. 3, pp. 211-214, 1996.
 [12] X. G. Xia, C. G. Bonchelet, and G. R. Arce, "A multiresolution watermark for digital images," Proc. Image Processing, pp. 548-551, 1997.
 [13] C. S. Burrus, R. A. Gopinath, and H. Guo, Introduction to Wavelet and Wavelet Transform : A Primer, Prentice Hall, 1998.
 [14] M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu, and I. Daubechies, "Image coding using wavelet transform," IEEE Trans. Image Processing, pp. 205-220, 1992
 [15] J. W. Woods, Subband Image Coding, Kluwer

Academic Publishers, 1991.

※관심분야 : 영상통신, 통신신호처리, MPEG 등

- [16] C. H. Keon, "Subband image coding with biorthogonal wavelets," IEICE Trans. Fundamentals, vol. E75-A, pp. 871-881, 1992.
- [17] M. Antonini, M. Barlaud, P. Marthieu, and I. Daubechies, "Image coding using vector quantization in the wavelet transform domain," Proc. ICASSP, pp. 2297-2300, 1992.
- [18] 박영, 송학현, 최세하, 이명길, 김윤호, "키와 로고 방식을 혼합한 이미지 워터마킹의 비가시성과 강인성 평가", 한국해양정보통신학회 논문지, vol. 6, no. 3, pp. 464-469, 2002.
- [19] 이정환, "특징영역을 보존한 이진영상의 워터마킹", 한국해양정보통신학회 논문지, vol. 6, no. 4, pp. 624-631, 2002.

저자소개

김진태(Jin-Tae Kim)

1987년 2월 중앙대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1989년 2월 중앙대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
1993년 8월 중앙대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
1993년~1994년 중앙대학교 기술과학연구소 선임연구원
1994년~1995년 서울대학교 자동제어특화연구센터 선임연구원
1995년~현재 한서대학교 컴퓨터정보학과 부교수
※관심분야: 영상통신, 얼굴인식, 디지털 워터마킹 등

김동욱(Dong-Wook Kim)

1987년 2월 성균관대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1992년 2월 중앙대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
1996년 8월 중앙대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
1997년~1998년 청운대학교 전자공학과 전임강사
1998년~현재 전주대학교 정보기술컴퓨터공학부 조교수