
Trellis 부호 및 엔트로피 마스크를 이용한 정보부호화 기반 워터마킹

이정환*

A Watermarking Method Based on the Informed Coding and Embedding Using Trellis Code and Entropy Masking

Jeong Hwan Lee*

이 논문은 2007학년도 안동대학교 국제학술교류보조금에 의하여 연구되었음

요 약

본 논문에서는 trellis 부호 및 엔트로피 마스크를 이용한 정보부호화 기반 워터마킹 방법에 대하여 연구하였다. 영상을 8x8블록으로 중복되지 않게 나누어 DCT변환을 수행하고 각 블록으로부터 16개의 중간주파수 대역의 계수를 추출한다. 이를 trellis 부호화의 각 단계에서 평균이 0이고 분산이 1인 가우시안 난수와 비교하여 선형상관계수와 왓슨거리의 선형결합이 최소인 벡터를 Viterbi 알고리즘으로 구하고 이를 원 영상에 삽입하여 워터마킹된 영상을 얻는다. 영상의 특성을 고려하기 위해 삽입벡터를 구할 때 엔트로피 마스크 함수를 사용하여 선형상관계수와 왓슨거리의 가중치를 다르게 적용한다. 제안 방법의 성능을 평가하기 위해 다수의 영상에 대한 평균 비트오차를 계산하여 성능을 비교하였으며, 평균비트오차율 측면에서 성능 개선이 있었다.

ABSTRACT

In this paper, we study a watermarking method based on the informed coding and embedding by means of trellis code and entropy masking. An image is divided as 8x8 block with no overlapping and the discrete cosine transform(DCT) is applied to each block. Then the 16 medium-frequency AC terms of each block are extracted. Next it is compared with gaussian random vectors having zero mean and unit variance. As these processing, the embedding vectors with minimum value of linear combination between linear correlation and Watson distance can be obtained by Viterbi algorithm at each stage of trellis coding. For considering the image characteristics, we apply different weight value between the linear correlation and the Watson distance using the entropy masking. To evaluate the performance of proposed method, the average bit error rate of watermark message is calculated from different several images. By the experiments the proposed method is improved in terms of the average bit error rate.

키워드

워터마킹, 트렐리스부호, 정보부호 및 삽입, 엔트로피 마스크

Key word

watermarking, trellis code, informed coding and embedding, entropy masking

I. 서 론

최근 인터넷기술의 발전으로 영상, 비디오, 음성 및 문서 등 다양한 멀티미디어 데이터의 불법적인 유통이 빠른 속도로 증가하고 있어, 이들 데이터의 저작권보호가 중요한 문제로 대두되고 있다[1,2]. 따라서 멀티미디어 데이터의 저작권보호를 위한 다양한 워터마킹 방법이 연구되고 있다[1,2]. 워터마킹은 멀티미디어 데이터에 저작권정보인 워터마크를 삽입하는 방법으로 워터마크가 삽입된 영상으로부터 워터마크의 삽입유무를 인간시각시스템이 인지할 수 없어야 하는 비인지성(imperceptible) 조건이 중요하다. 또한 가우시안 잡음첨가, 각종 필터링, 화소값 증감, JPEG영상압축 등과 같은 다양한 공격으로부터 워터마크 정보가 소실되지 않아야 하는 강인성(robustness) 조건이 워터마킹 방법의 성능을 평가하는 중요한 척도로 사용되고 있다[1]. 이런 워터마킹 방법은 워터마크의 삽입영역에 따라 공간영역 워터마킹과 주파수영역 워터마킹으로 나눌 수 있는데, 공간영역 워터마킹 방법에 비해 주파수영역에 워터마크를 삽입하는 방법이 비인지성과 강인성 조건 면에서 유리한 것으로 알려져 있다[1~3].

근래에 들어 주파수영역에 워터마크를 삽입하는 방법으로 통신이론에서 사용되는 기법을 적용한 정보부호화(informed coding) 및 삽입(embedding) 방법이 많이 연구되고 있다[4~8]. 이 방법은 Costa[7]가 제안한 워터마킹 방법으로 부호기에서 특성이 완벽히 알려져 있는 잡음은 데이터통신 채널성능을 저하시키지 않는다는 이론이다. 일반적으로 이 잡음을 부가정보(side information)라 하며 워터마킹시스템에서는 원 영상이 여기에 해당한다[1]. 따라서 부호기 측에서 워터마크를 삽입할 때 원 영상의 정보를 충분히 이용하여 워터마크를 삽입하는 방법으로 그림1과 같이 워터마크 정보부호화 및 삽입과정으로 구성된다.

Chen과 Wornell[4]은 정보부호화 및 삽입방법으로 QIM(quantization index modulation)을 이용한 방법을 제안하였는데, 이 방법은 두 가지 양자화기를 사용하여 입력 메시지비트에 따라 서로 다른 양자화기를 적용하여 워터마크를 삽입하는 방법이다. 이 방법은 구현이 쉽고 성능도 비교적 우수하지만, 화소의 증감(valumetric scaling) 공격에 워터마킹이 소실되는 단점

을 가지고 있다. 이를 해결하기 위해 Miller [5]등은 trellis부호화[9,12]를 이용한 방법을 제안하였다. Wang [13]등은 Miller방법을 개선하여 trellis구조에 따른 성능을 비교 평가하였다. Abrardo[10]등은 trellis 구조의 각 가지의 비용(cost) 함수를 계산할 때 계산시간 단축을 위해 직교함수를 사용한 방법을 제안하였다. 이외에도 웨이브렛 변환연역에 정보부호화 및 삽입방법을 적용한 연구도 제시되었다[11]

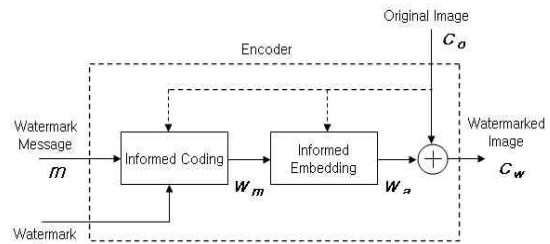


그림 1. 정보부호화 기반 워터마킹
Fig.1 The watermarking of informed coding and embedding

한편 워터마킹 기술은 멀티미디어 데이터에 저작권 정보를 삽입하는 것이므로 원래 데이터의 열화(distortion)를 피할 수 없다. 따라서 워터마킹 기법의 중요한 성능평가 척도인 비인지성을 개선하기 위한 방법이 제안되었다[1,2]. 일반적으로 이 방법은 인간시각시스템의 특성을 고려한 것으로 Watson [14]의 인지(perceptual)모델을 많이 사용한다. 이 모델은 원 영상과 워터마크가 삽입된 영상의 시각적인 인지정도를 나타내는 지표로 영상압축을 위한 DCT (discrete cosine transform) 변환 계수기반의 영상처리 기법에서 주로 사용된다. 왓슨거리(Watson distance)는 화소밝기(luminance) 및 대비(contrast) 마스킹함수를 이용하는 것으로 시각적으로 민감한 부분에 가중치를 주어 인간시각시스템의 특성을 반영한 것으로 단순히 화소값의 밝기만을 이용한 PSNR보다 워터마킹의 성능평가로 더 많이 사용된다[1,13,15].

본 논문에서는 영상데이터의 워터마킹으로 영상을 DCT변환 후 정보부호화 및 삽입기법을 이용하여 워터마킹하는 방법을 연구한다. 즉 trellis부호화에서 각 가지의 비용함수로 기존방법[5,13]의 가우시안 난수와 DCT 계수와의 선형상관계수(linear correlation)뿐 만 아니라

왔슨거리 및 엔트로피 마스크(entropy masking)을 적용하여 비트오차율 및 워터마킹된 영상의 화질을 개선한 워터마킹 방법을 연구하였다.

II. 정보부호화 및 삽입 방법

2.1 정보부호화(Informed coding)

정보부호화는 그림1에서 이진 워터마크 메시지를 원 영상에 삽입하기 위하여 원 영상으로부터 추출한 DCT 계수로 구성된 벡터와 선형상관계수가 큰 가우시안 난수벡터를 찾는 과정이다. 즉 원 영상의 정보를 이용하여 원 영상의 특성에 가장 가까운 형태로 삽입정보 w_m 을 결정하는 과정이다. 이는 trellis 부호화를 이용하여 수행한다. 통신 분야에 사용되는 전형적인 trellis구조는 하나의 상태(state)에 2개의 가지(branch)가 연결 되는데 워터마킹의 경우 이렇게 하면 원 영상의 정보에 무관하게 워터마크 메시지 비트 0 혹은 1에 따라 유일한 경로(path)가 결정되게 되며 이를 blind부호화라고 한다. 그러나 정보부호화는 원 영상의 정보를 이용하여 삽입벡터를 결정하여야 하므로 그림 2와 같이 하나의 상태(state)에 여러 개의 가지가 연결된 trellis 구조를 만든다.

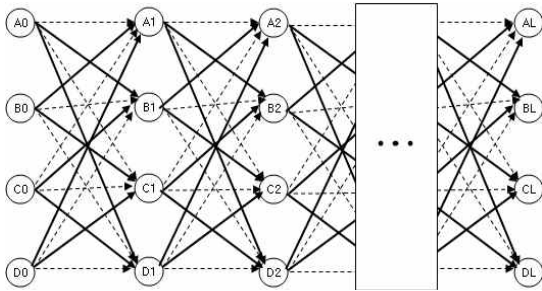


그림 2. Trellis 구조 예(4상태, 4가지/상태)
Fig 2. An example of trellis structure with 4 state and 4 branch per state

여기서 실선은 워터마크 메시지비트 '1'를 점선은 '0'을 표현한다. 이렇게 하면 시작단계(stgac A)에서부터 마지막 단계(stage L)까지 사이에 주어진 워터마크 메시지를 부호화하기 위한 경로가 많이 만들어지게 된다. 즉 시작상태에 대한 정보가 없는 경우 상태수를 S, 하나의 상태로 들어오는 가지 수를 B, 단계 수(워터마크 메시지비트 수)를 L이라고 하면 하나의 메시지를 표현하기 위한 경로는 $S(\frac{B}{2S})^L$ 가 만들어 지게 되므로 전형적인 trellis 구조(일대일)에 비해 일대 다수의 맵핑 관계가 이루어진다.

그림 2와 같은 trellis 구조로부터 최적경로에 해당하는 삽입 워터마크 w_m 을 구하는 과정은 다음과 같다. 원 영상을 먼저 8x8블록으로 나누고 이를 DCT변환하여 그림 3과 같이 중간주파수 대역의 N개의 계수를 추출한다. 그리고 메시지비트에 따라 각 단계에서 연결될 수 없는 가지를 제거하면 그림 4와 같은 변형된 trellis 구조를 얻을 수 있는데 여기에 선형상관계수를 가지의 비용척도로 사용한 Viterbi[12]알고리즘을 적용하여 원 영상의 특성(DCT계수)과 가장 유사한 최적경로를 찾는다. 즉 이 변형된 trellis를 따라 각 가지에 해당하는 N개의 DCT 계수와 가우시안 난수로부터 얻은 벡터와의 선형상관계수를 비교하여 Viterbi 알고리즘으로 최적경로를 찾고 이 경로에 해당하는 가우시안 난수로 삽입할 워터마크 w_m 을 구한다. 그림 4는 워터마크 메시지 비트가 1011인 경우의 변형된 trellis 구조 예이다.

그림 3. 워터마크삽입에 사용된 8x8블록 DCT계수
Fig.3 The DCT coefficients to be used for watermarking each 8x8 block (N=16)

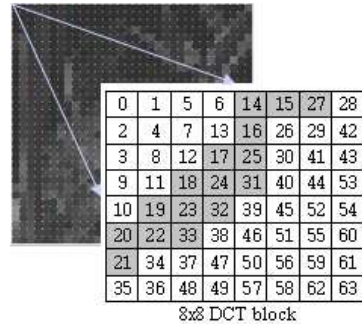


그림 3. 워터마크삽입에 사용된 8x8블록 DCT계수
Fig.3 The DCT coefficients to be used for watermarking each 8x8 block (N=16)

2.2 정보삽입(Informed embedding)

위의 정보부호화 과정에서 구한 워터마크 w_m 을 원 영상에 삽입하여 워터마킹된 영상을 얻을 수 있다. 그러나 워터마킹된 영상이 가우시안잡음, 필터링, 화소값의 증감, JPEG 압축 등의 공격에 강인성을 유지할 수 있도록 w_m 을 변경하는 과정이 필요하다. 즉 단순히 워터마크 w_m 에 영상과 무관하게 삽입강도(strength)를

나타내는 일정한 상수를 곱해서 워터마크를 삽입하는 blind방법은 다양한 공격에 강인성을 유지하기 어렵다 [1].

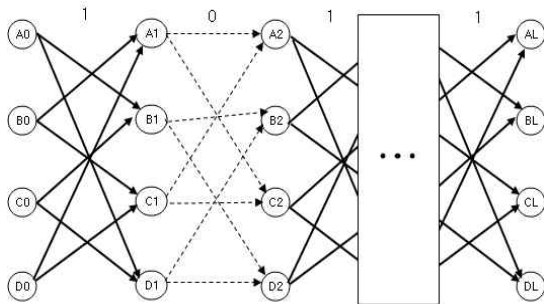


그림 4. 변형된 trellis 구조 예
Fig. 4 An example of modified trellis structure

따라서 공격에 강한 워터마킹을 위해서는 정보부호화 과정에서 Viterbi방법으로 구한 최적경로에 해당하는 벡터와 이를 제외한 경로벡터와의 거리척도(일반적으로 유클리디안 거리)를 가능하면 크게 할 필요가 있다. 또한 일정한 강인성을 유지하기 위해 사용자가 요구하는 강인성값을 유지할 수 있도록 워터마크 w_m 을 변형하는 과정을 거치는데 이를 정보 삽입과정이라고 한다.

Miller[5]등은 이를 Monte Carlo방법을 적용하여 반복적인 갱신과정을 수행하여 원 영상에 삽입할 최종적인 워터마크 벡터 w_a 를 얻는 방법을 연구하였다. 그러나 이 방법은 반복갱신과정에서 Viterbi 알고리즘을 매번 적용하여야 하므로 계산시간이 많이 소요되는 단점이 있다. Lin[15]은 일정한 강인성값을 유지할 수 있도록 정규화(normalize)된 상관계수를 사용하여 정보를 삽입하는 방법을 제안하였으며, Wang [13]은 왓슨거리 개념을 도입하여 워터마킹하는 방법을 연구하였다.

III. 제안된 워터마킹 방법

워터마킹 방법은 앞에서 언급한 것과 같이 워터마크의 두 가지 중요한 성능평가 척도인 강인성과 비인지성은 서로 상충관계에 있다. 즉 일반적으로 강인성을 증가하면 워터마킹의 삽입유무를 쉽게 인지하여 비인지성

을 유지할 수 없고, 반대로 비인지성을 증가하면 다양한 공격에 워터마크가 유지되지 못하여 강인성이 감소되는 문제가 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 인간시각시스템(human visual system)의 특성을 고려한 워터마킹 기법이 연구되고 있는데 특히 왓슨모델[14]을 이용한 방법이 연구되고 있다. 왓슨모델은 DCT기반 영상압축의 화질개선에 사용되는 모델로 인간시각시스템의 주파수변화에 대한 민감도, 밝기 및 대비변화에 대한 반응이 주변 화소값의 분포에 따라 다르게 반응한다는 것에 기초하고 있다. 왓슨모델은 영상을 8x8 블록으로 나눌 때 각 블록내의 각 화소위치별로 인지변화를 추정하는 것이다. 영상을 블록으로 나누고 각 블록을 DCT변환하였다면, k번째 블록의 DCT계수는 $X[i, j, k], 0 \leq i, j \leq 7$ 로 표현되며 $X[0, 0, k]$ 는 k번째 블록의 화소 평균값이다.

Watson[14]은 민감도테이블 $t[i, j]$ 를 정의하였는데 이는 각 블록별로 주파수변화에 대한 최소인지변화를 나타내는 값이다. 즉 인간시각시스템은 아주 낮은 주파수나 반대로 아주 높은 주파수의 변화는 쉽게 인지할 수 없다는 특성을 표로 나타낸 것이다. 그리고 밝기마스킹 함수는 밝기변화를 인지할 수 있는 민감도를 나타내는 것으로 예를 들면 배경평균 밝기가 큰 값을 가지는 영역에서 밝기의 변화를 인지하기 위해서는 밝기 값이 더 커야 한다. 밝기마스킹 함수는 다음과 같다.

$$t_L[i, j, k] = t[i, j] \left(\frac{X_o[0, 0, k]}{X_{0,0}} \right)^\alpha \quad (1)$$

여기서 α 는 상수로 Watson은 0.649로 하였으며 $X_o[0, 0, k]$ 는 원 영상의 DCT계수이고, $X_{0,0}$ 는 영상의 평균밝기이다. 대비마스킹 함수는 밝기가 서로 다른 두 영역의 밝기 차가 작을 경우 이를 인지할 수 없다는 것으로 다음과 같이 표현된다.

$$s[i, j, k] = \max(t_L[i, j, k], |X_o[i, j, k]|^{0.7} t_L[i, j, k]^{0.3}) \quad (2)$$

위의 관계를 이용하여 왓슨거리는 다음과 같이 계산된다.

$$D_{wat}(x_o, x_w) = \left\{ \sum_{i,j,k} \left(\frac{X_w[i,j,k] - X_o[i,j,k]}{s[i,j,k]} \right)^4 \right\}^{1/4} \quad (3)$$

여기서 x_o, x_w 는 각각 원 영상과 워터마킹된 영상을 나타내고 $X_o[i,j,k], X_w[i,j,k]$ 는 원 영상 및 워터마킹된 영상의 k 번째 블록의 DCT 계수를 의미한다.

본 연구에서는 trellis 구조의 각 가지의 비용척도를 계산할 때 각 블록으로부터 추출된 N 개 DCT계수와 같은 수의 가우시안 난수를 생성하여 이 두 벡터의 선형상관 계수를 구하고 이를 각 단계마다 누적하여 Viterbi 알고리즘을 적용하여 최적경로를 찾고 이 최적경로에 해당하는 가우시안 난수를 워터마크 벡터 w_m 로 한다. 그러나 이렇게 하면 비용척도 계산시 원 영상에 대한 인간시각시스템의 특성을 고려하지 않게 되므로 선형상관계수와 왓슨거리를 동시에 고려한 비용함수를 고려한다. Wang[13]은 상관계수와 왓슨거리의 선형결합으로 비용척도를 계산하는 워터마킹 방법을 제시하였다.

그러나 상관계수와 왓슨거리사이의 결합계수에 따라 성능이 다르게 되고 또한 이 값을 사용자가 입력하도록 하여 여러 영상에 대한 일관성 있는 결과를 얻기가 매우 어렵다.

본 논문에서는 엔트로피마스크 함수를 적용한 새로운 비용척도를 사용한다. 이를 위해 아래와 같은 에너지기반 엔트로피마스크 함수를 이용한다[11]. 그림 5에 제안방법의 블록도를 나타내었다. 각 화소가 n 레벨로 양자화된 영상을 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 로 표현하면, 대응되는 각 화소의 확률은 $P(x_1) = p_1, P(x_2) = p_2, \dots, P(x_n) = p_n$ 와 같이 나타낼 수 있다. 정보이론에 따라 일반적인 엔트로피 $H_r(X)$ 는

$$H_r(X) = - \sum_{i=1}^n p_i \log_r p_i \quad (4)$$

와 같다. 본 논문에서는 각 화소의 확률값으로 $p_i = \frac{x_i}{S}$ 와 같은 정규화 에너지를 사용한다. 여기서 S 는 전체 에너지로 $S = \sum_{i=1}^n x_i^2$ 와 같다.

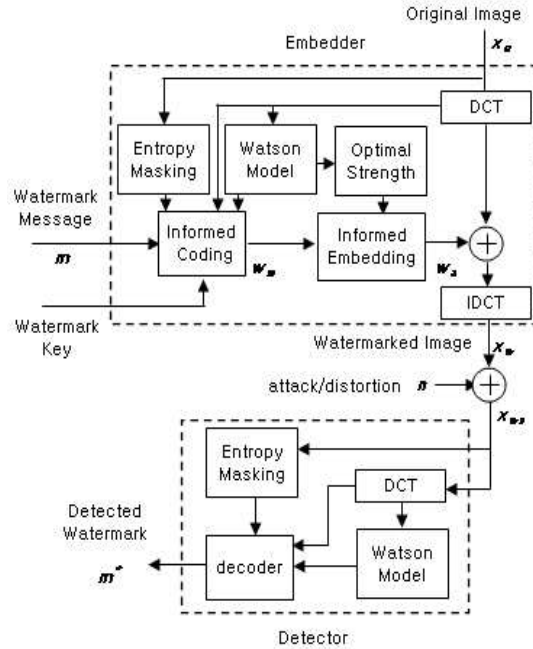


그림 5. 제안방법의 블록도
Fig.5 The block diagram of proposed method

이것을 식(4)에 대입하면 에너지기반 엔트로피 함수 $\hat{H}_r(X)$ 는

$$\begin{aligned} \hat{H}_r(X) &= - \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{S} \log_r \frac{x_i}{S} \\ &= - \frac{1}{S} \sum_{i=1}^n x_i (\log_r x_i - \log_r S) \end{aligned} \quad (5)$$

로 표현된다. $\hat{H}_r(X)$ 의 최대 및 최소값을 알아 보면, 만약 $x_1 = x_2 = \dots = x_n$ 이면

$p_1 = p_2 = \dots = p_n = \frac{1}{n}$ 이 된다. 이때 식(5)는

$$\hat{H}_r(X) = n \frac{1}{n} \log_r n = \log_r n \quad (6)$$

와 같고, 여기서 $r = n$ 이라 가정하면 $\hat{H}_n(X) = 1$ 이 되는데 $\hat{H}_r(X)$ 의 최대값이다. 또한 $x_1 \neq 0$ 이고 $x_2 = x_3 = \dots = x_n = 0$ 이면

$$\widehat{H}_r(X) = \log_r \frac{x_1}{x_1} = 0 \quad (7)$$

이 되므로, $\widehat{H}_r(X)$ 의 범위는 $0 \leq \widehat{H}_r(X) \leq 1$ 이다. 에너지기반 엔트로피 $\widehat{H}_r(X)$ 는 화소값 변화가 많은 영역은 증가하고, 반대로 변화가 작은 영역은 값이 감소한다. trellis 부호화의 비용척도함수는 $\widehat{H}_r(X)$ 를 이용하여 선형상관계수 및 왓슨거리의 선형함수로 다음과 같이 표현된다.

$$c_i = (1 - \widehat{H}_r)l_i - \widehat{H}_r p_i \quad (8)$$

여기서 c_i 는 trellis부호의 각 단계에서 비용척도이고 \widehat{H}_r 는 에너지기반 엔트로피, l_i 는 선형상관계수, p_i 는 왓슨거리이다.

위터마크의 검출방법은 삽입방법의 역 과정으로 먼저 위터마크된 영상 혹은 공격을 받은 영상을 8x8블록으로 중복되지 않게 나누어 DCT변환하고 엔트로피마스킹 값을 구하여 전체 trellis 구조에서 Viterbi 알고리즘을 사용하여 식(8)을 만족하는 최적경로를 찾아 이로부터 삽입된 위터마크를 검출할 수 있다.

IV. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서 제안한 방법의 성능을 평가하기 위하여 trellis 부호화는 64상태를 갖는 trellis구조를 사용하였다. 여기에 256x256 8비트 영상 10개를 사용하여 실험하였다.

먼저 각 영상을 8x8블록으로 중복되지 않게 나누어 DCT변환하고 각 블록에 한 비트의 위터마크 메시지를 삽입한다. 이렇게 하면 하나의 영상은 1024블록이 되므로 1024비트 위터마크를 삽입할 수 있다. 삽입할 메시지는 가우시안 난수(평균0, 분산1)를 이용하여 임의로 생성하였으며, 비트오차율(bit error rate, BER)을 전체위터마크비트에 대한 오차발생비트의 비율로 구한다. 정보 부호화 및 삽입, 위터마크 검출을 위해 각 블록에서 사용하는 DCT계수는 위터마크의 강인성과 비인지성을 고

려하여 그림 3과 같이 중간중간수 대역의 계수 16개를 사용한다. 그리고 에너지기반 엔트로피는 3x3 윈도우를 이동하면서 구하는데 그림 6에 Lena 영상에 적용한 예를 나타내었다.

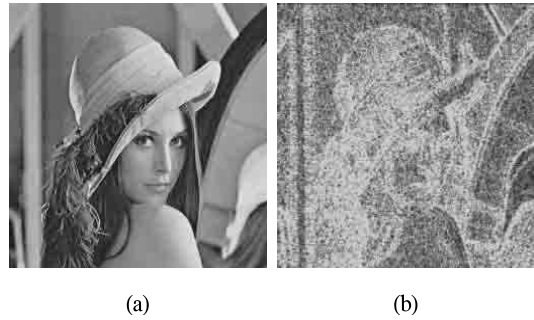
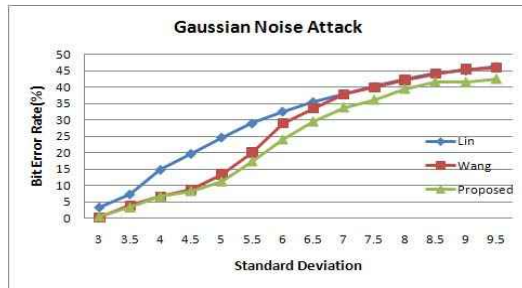


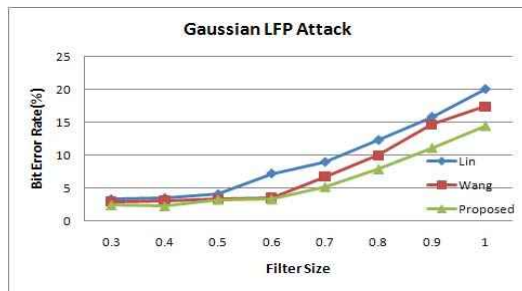
그림 6. Lena 영상 및 에너지기반 엔트로피마스킹값
Fig.6 The Lena image and its the energy-based entropy value

또한 강인성에 대한 성능평가를 위하여 가우시안잡음, 가우시안 저주파필터링, 화소값 증감, JPEG압축 공격에 대하여 공격강도를 변화시키면서 평균 BER를 구하였다. 최적 삽입강도를 결정하기 위한 부분은 $\alpha = \frac{D_t}{D_{wat}(x_o, x_w)}$ 로 계산한다. 여기서 D_t 는 목표왓슨거리, $D_{wat}(x_o, x_w)$ 는 식(3)으로 계산된 왓슨거리이다.

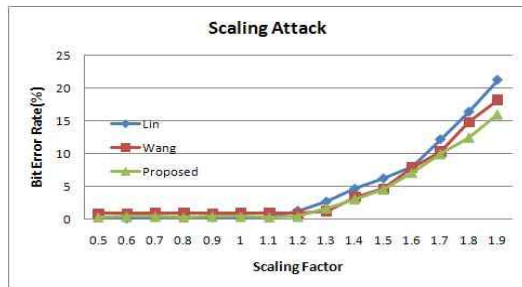
다음은 각 공격에 대한 성능평가에 대하여 설명한다. 컴퓨터 모의실험은 각 공격에 대하여 제안방법, Wang[13] 및 Lin[15]의 방법과 비교하였다. 그림 7(a)는 가우시안잡음 첨가에 대한 BER 결과이다. 가우시안 잡음 공격에 대하여 표준편차가 3.0일 때까지는 오차가 거의 발생하지 않음을 알 수 있었으며, 실험결과 제안방법의 성능이 향상되었음을 알 수 있다. 그림 7(b)는 가우시안저주파 필터링에 대한 BER결과이다. 그리고 그림 7(c)는 화소값 증감 공격에 대한 결과이고, 마지막으로 그림 7(d)는 JPEG 영상압축 공격에 대한 BER 결과이다. 화소값 증감 공격의 경우 증감인자가 1.2일 때까지는 오차가 거의 발생하지 않음을 알 수 있다.



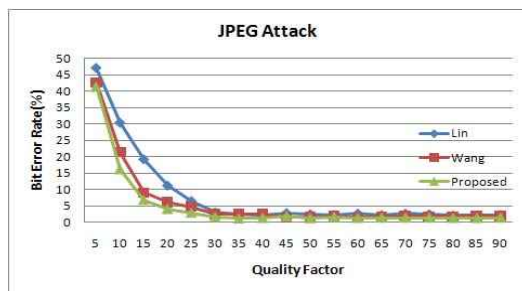
(a)



(b)



(c)



(d) JPEG 압축

그림 7. 컴퓨터모의 실험결과
 (a)가우시안 잡음, (b) 가우시안 저주파필터
 (c)화소값 증감, (d)JPEG압축 공격
 Fig.7 The results of computer simulation for
 (a) gaussian noise, (b) gaussian LFP, (c) scaling,
 (d) JPEG attack.

V. 결 론

본 논문에서는 정보부호화 및 삽입기반의 디지털 영상 워터마킹 방법을 연구하였다. 이를 위해 trellis부호화, 엔트로피마스크 및 왓슨모델을 도입하여 워터마크의 강인성 및 비인지성을 유지할 수 있는 방법을 제안하였다. 정보부호화를 위해 기존의 선형상관계수와 왓슨거리에서 서로 다른 가중치를 부여하여 비용척도함수로 사용하였으며, 가중치 부여할 때 엔트로피마스크를 사용함으로써 원 영상의 각 영역 특성을 고려하여 적응적으로 워터마크를 삽입하게 된다.

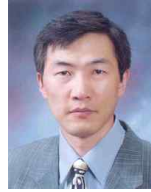
제안된 방법의 성능을 비트오차율을 측정하였다. 즉 가우시안 잡음, 가우시안 저주파필터링, 화소값 증감, JPEG압축 공격에 대하여 공격의 강도를 변화시키면서 메시지의 평균비트오차율을 계산하여 비교하였다. 향후 연구과제는 인간시각모델을 사용하여 푸리에변환, 웨이브렛변환 영역에 제안방법을 확장하는 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] I.J.Cox, M.L.Miller, J.A.Bloom, J.Fridrich, and T.Kalker, "Digital Watermarking and Steganography(2nd edition)", *Morgan Kaufmann* 2007.
- [2] H.T.Sencar, M.Ramkumar, and A.N.Akansu, "An overview of scalar quantization based data hiding methods", *Signal Processing* vol.86, pp.893-914, 2006.
- [3] O.H.Kwon, Y.S.Kim, and R.H.Park, "Watermarking for still image using the human visual system in the DCT domain", *Proc. IS-CAS*, vol.4, pp.76-79, June 1999.
- [4] B.Chen and G.W.Wornell, "Quantization index modulation: a class of provably good methods for digital watermarking and information embedding", *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol.47, pp.1423-1443, May 2001.
- [5] M.L.Miller, G.J.Doerr, and I.J.Cox, "Applying informed coding and embedding to design a robust, high capacity, watermark", *IEEE Trans. Image Process.*, vol.13, no.6, pp.792-807, Jun. 2004.

- [6] I.J.Cox, M.L.Miller, and A.L.McKellips, "Watermarking as communication with side information", *Proc. IEEE*, vol.87, no.7, pp.1127-1141, Jul. 1999.
- [7] M.H.M.Costa, "Writing on dirty paper", *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol.IT-29, no.3, pp.439-441, May 1983
- [8] I.J.Cox, M.L.Miller, and G.J.Doerr, "Dirty-paper trellis codes for watermarking", in *Proc. 9th IEEE Int. Conf. Image Process.*, vol.II, Rochester, NY, Sep.2002, pp.129-132.
- [9] T.R.Fischer, M.W.Macellin, and M.Wang, "Trellis-coded vector quantization", *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol.37, no.6, pp.1551-1566, Nov.1991.
- [10] A.Abrardo and M.Barni, "Informed watermarking by means of orthogonal and quasi-orthogonal dirty paper coding", *IEEE Trans. on Signal Process.*, vol.53, no.2, pp.824-833, Feb. 2005.
- [11] G.Wu and P.Huang, "A novel entropy based image watermarking in wavelet domain", *IEICE Trans., Commu.*, vol.E91-B, no.10, Oct. 2008.
- [12] A.J.Viterbi, "CDMA: principles of spread spectrum communications", *Addison Wesley Longman Inc.*, 1995.
- [13] C.K.Wang, M.L.Miller, and I.J.Cox, "Using perceptual distance to improve the selection of dirty paper trellis codes for watermarking", in *Proc. IEEE Int. Workshop on Multimedia Signal Processing*, Siena Italy, Sept. 2004, pp.147-150.
- [14] A.B.Watson, "DCT quantization matrices optimized for individual images", *Human Vision, Visual Processing, and Digital Display IV*, SPIE-1913, pp.202-216, 1993.
- [15] L.Lin, I.COx, G.Doerr, and M.Miller,"An efficient algorithm for informed embedding of dirty paper trellis codes for watermarking", in *Proc. 4th IEEE Int. Conf. on Image Process.*, I, pp.697-700, Sept. 2005.
- [16] S.W.Kim and S.Suthaharan, "An entropy masking model for multimedia content watermarking", *Proc. 37th IEEE System Science*, Hawaii, Jan. 2004.

저자소개



이정환(Jeong-Hwan Lee)

1984년 경북대학교 전자공학과
학사

1986년 한국과학기술원 전기 및
전자공학과 석사

1993년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사
2007~2008 미국 워싱턴주립대학교 객원연구원
1990년~현재 안동대학교 전자정보산업학부 교수
※관심분야: 영상처리, 멀티미디어, 워터마킹 등