

다층구조를 갖는 trellis부호를 이용한 워터마킹

이정환*

*안동대학교 전자정보산업학부

A Watermarking Method Based on the Trellis Code with Multi-layer

Jeong Hwan Lee*

*School of Electronic & Information Eng. Andong University,

E-mail : jhlee@andong.ac.kr

요 약

본 논문에서는 다층구조를 갖는 trellis 부호를 이용한 정보부호화 기반 워터마킹 방법에 대하여 연구하였다. 영상을 8x8블록으로 중복되지 않게 나누어 DCT변환을 수행하고 각 블록으로부터 12개의 중간주파수 대역의 계수를 추출한다. 이를 다층구조를 갖는 trellis 부호화의 각 단계에서 평균이 0이고 분산이 1인 가우시안 난수와 비교하여 선형상관계수가 최소인 벡터를 Viterbi 알고리즘으로 구하고 이 벡터를 원 영상에 삽입하여 워터마킹된 영상을 얻는다. 제안 방법의 성능을 평가하기 위해 다수의 영상에 대한 평균 비트오차율을 계산하여 성능을 비교하였다.

ABSTRACT

In this paper, a watermarking method based on the trellis code with multi-layer is proposed. An image is divided 8x8 block with no overlapping, and compute the discrete cosine transform(DCT) of each block, and the 12 medium-frequency AC terms from each block are extracted. Next it is compared with gaussian random vectors with zero mean and unit variance. As these processing, the embedding vectors with minimum linear correlation can be obtained by Viterbi algorithm at each layer of trellis coding. To evaluate the performance of proposed method, the average bit error rate of watermark message is calculated from different several images.

키워드

watermarking, trellis code, informed coding and embedding, multi-layer

1. 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[1~3, 11]. 또한 멀티미디어 데이터의 저작권보호를 위해 워터마킹 방법에 대한 연구가 활발하다[1~3, 11]. 워터마킹은 멀티미디어 데이터에 저작권정보인 워터마크를 삽입하는 방법으로 워터마크가 삽입된 영상으로부터 워터마크의 삽입유무를 인지할 수 없는 비인지성(imperceptible) 조건과 가우시안 잡음첨가, 각종 필터링, 화소값 증감, JPEG영상압축 등과 같은 다양한 공격으로부터 워터마크 정보가 소실되지 않아야 하는 강인성(robustness) 조건이 중요하다[1]. 워터마킹은 워터

마크의 삽입영역에 따라 공간영역 워터마킹과 주파수영역 워터마킹으로 나눌 수 있는데[1, 11], 공간영역 워터마킹 방법에 비해 주파수영역에 워터마크를 삽입하는 방법이 비인지성과 강인성 조건 면에서 유리한 것으로 알려져 있다[1, 19, 10].

주파수영역에 워터마크를 삽입하는 방법으로 통신이론에서 사용되는 기법을 적용한 정보부호화(informed coding) 및 삽입(embedding) 방법이 많이 연구되고 있다[1~4, 7, 8, 11]. 이 방법은 Costa[4] 논문을 바탕으로 제안된 워터마킹으로 부호기에서 특성이 완벽히 알려져 있는 잡음은 데이터통신 채널성능을 저하시키지 않는다는 이론이다. 일반적으로 이 잡음을 부가정보(side information)[1]라 하며 워터마킹시스템에서는 원 영상이 여기에 해당한다. 따라서 부호기 측에서 워터마크를 삽입할 때 원 영상의 정보를 충분히

이용할 필요가 있으며 블록도는 그림1과 같다.

Chen[2]등은 정보부호화 및 삽입방법으로 QIM(quantization index modulation)을 이용한 방법을 제안하였는데, 이 방법은 두 가지 양자화기를 사용하여 메시지비트에 따라 서로 다른 양자화기를 적용하여 워터마크를 삽입하는 방법이다. 그러나 이것은 구현이 쉽고 성능도 비교적 우수하지만, 화소의 증감(valumetric scaling) 공격에 워터마킹이 소실되는 단점이 있다[1,11]. 이를 해결하기 위한 방법으로 Miller[3]등은 trellis부호화[5]를 이용한 방법을 제안하였다.

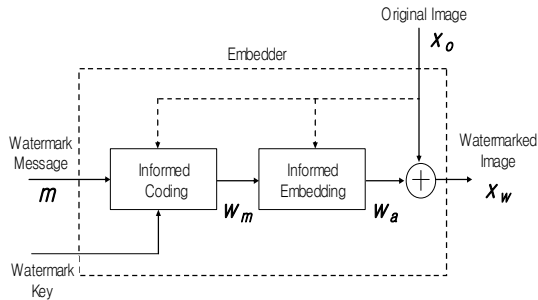


그림 1. 정보부호화 및 삽입기반 워터마킹

본 논문에서는 다층구조를 갖는 trellis부호화에 기반한 워터마킹 방법을 연구하였다. 또한 trellis 부호화에서 각 가지의 비용함수로 가우시안 난수와 추출된 DCT계수와 선형상관계수뿐 만 아니라 왓슨거리를 적용한 워터마킹 방법을 연구하였다.

II. 정보부호화 및 삽입 방법

정보부호화는 워터마크 메시지를 원 영상에 삽입하기 위해 원 영상으로부터 추출한 DCT 계수로 구성된 벡터와 선형상관계수가 가장 큰 가우시안 난수벡터를 찾는 과정이다[1,10]. 즉 원 영상의 정보를 이용하여 원 영상의 특성에 가장 가까운 형태로 삽입정보 w_m 을 결정하는 것으로 일반적으로 trellis 부호화를 이용한다. 전형적인 trellis 구조는 하나의 상태(state)에 2개의 가지(branch)가 연결 된다. 그러나 이렇게 하면 원 영상의 정보에 무관하게 워터마크 메시지 비트 0 혹은 1에 따라 유일한 경로(path)가 결정된다[1]. 따라서 정보부호화는 원 영상의 정보를 이용하여 삽입벡터를 결정하여야 하므로 그림 2와 같이 하나의 상태에 여러 개의 가지가 연결된 trellis 구조를 사용한다.

여기서 실선은 워터마크 메시지비트 '1'를 점선은 '0'을 표현한다. 이렇게 하면 시작단계(stage A)에서부터 마지막 단계(stage L)까지 사이에 주어진 워터마크 메시지를 부호화하기 위한 경로가 많이 만들어지게 된다. 그리고 메시지비트에 따라 각 단계에서 연결될 수 없는 가지를 제거하면 변

형된 trellis 구조를 얻을 수 있는데 여기에 Viterbi[5] 알고리즘을 적용하여 원 영상의 특성과 가장 유사한 최적경로를 찾고 이 경로에 해당하는 가우시안 난수를 삽입할 워터마크 w_m 로 한다.

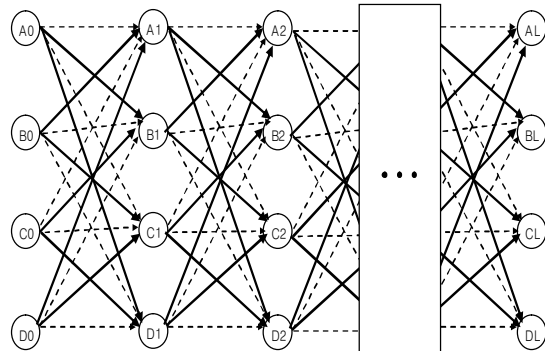


그림 2. 4상태 및 4가지를 갖는 trellis의 구조 예

위의 정보부호화 과정에서 구한 워터마크 w_m 을 원 영상에 삽입하여 워터마크된 영상을 얻을 수 있다. 그러나 워터마크된 영상이 가우시안잡음, 필터링, 화소값의 증감, JPEG 압축 등의 공격에 강인성을 유지할 수 있도록 w_m 을 변경할 필요가 있다. 즉 단순히 워터마크 w_m 에 영상과 무관하게 삽입강도(strength)를 나타내는 일정한 상수를 곱해서 워터마크를 삽입하는 blind방법은 강인성을 유지하기 어렵다[1]. 따라서 공격에 강인한 워터마킹을 위해서는 정보부호화 과정에서 Viterbi방법[5]으로 구한 최적경로에 해당하는 벡터와 이를 제외한 경로벡터와의 거리척도를 가능하면 크게 할 필요가 있다. 또한 일정한 강인성을 유지하기 위해 사용자가 요구하는 강인성을 유지할 수 있도록 워터마크 w_m 을 변형하는 과정을 거치는데 이를 정보 삽입과정이라고 한다.

III. 제안된 워터마킹 방법

워터마킹 방법은 두 가지 중요한 성능평가 척도인 강인성과 비인지성은 서로 상충관계에 있다. 즉 일반적으로 강인성을 증가하면 워터마킹의 삽입유무를 쉽게 인지하여 비인지성을 유지할 수 없고, 반대로 비인지성을 증가하면 다양한 공격에 워터마크가 유지되지 못하여 강인성이 감소되는 문제가 있다[1].

이러한 문제를 해결하기 위해 인간시각시스템의 특성을 고려한 워터마킹 기법이 연구되고 있는데 특히 왓슨모델[1,7,10]을 이용한 방법이 연구되고 있다. 왓슨모델은 DCT기반 영상압축의 화질 개선에 사용되는 모델로 인간시각시스템의 주파수변화에 대한 민감도, 밝기 및 대비변화에 대한 반응이 주변 화소값의 분포에 따라 다르게 반응한다는 것에 기초하고 있다[7].

왓슨모델은 영상을 8x8 블록으로 나눌 때 각 블록내의 각 화소위치별로 인지변화를 추정하는

것이다. 영상을 블록으로 나누고 각 블록을 DCT 변환하였다면, k번째 블록의 DCT계수는 $X[i, j, k]$, $0 \leq i, j \leq 7$ 로 표현할 수 있으며 $X[0, 0, k]$ 는 k번째 블록의 화소 평균값이다. 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 각각의 k번째 블록의 DCT 계수를 의미한다. 그리고 $s[i, j, k]$ 는 대비마스킹값을 의미한다.

본 연구에서는 trellis 구조의 각 가지의 비용척도를 계산할 때 각 블록으로부터 추출된 12개의 DCT계수와 같은 수의 가우시안 난수를 생성하여 이 두 벡터의 선형상관계수를 구하고 이를 각 단계마다 누적하여 Viterbi알고리즘을 적용하여 최적경로를 찾고 이 최적경로에 해당하는 가우시안 난수를 워터마크 벡터 w_m 로 한다. 그리고 특히 Viterbi알고리즘을 적용할 때 현재까지 제안된 방법은 그림 2와 같이 워터마크를 삽입할 때는 메시지 비트(0/1)에 따라 노드사이 가지의 형태를 다르게 하여 워터마크를 삽입하였다. 그러나 이렇게 하면 노드사이의 가지 수가 감소하게 되어 삽입벡터사이의 거리를 최적화할 수 없다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 그림 3과 같은 다층구조를 갖는 trellis구조를 도입하여 메시지 비트에 따라 전체 trellis구조를 서로 다르게 적용하여 워터마크 비트를 삽입하는 알고리즘을 연구하였다.

워터마크의 검출방법은 삽입방법의 역 과정으로 먼저 워터마크된 영상 혹은 공격을 받은 영상을 8x8블록으로 중복되지 않게 나누어 DCT변환하고 엔트로피마스킹 값을 구하여 전체 trellis 구조에서 Viterbi알고리즘을 사용하여 최적경로를 찾고 이로부터 삽입된 워터마크를 검출한다.

IV. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서는 64상태를 갖는 trellis구조를 사용하였다. 여기에 256x256 8비트 영상을 사용하여 실험하였다. 먼저 각 영상을 8x8블록으로 중복되지 않게 나누어 DCT변환하고 각 블록에 한 비트의 워터마크 메시지를 삽입한다. 이렇게 하면 하나의 영상은 1024블록이 되므로 1024비트 워터마크를 삽입할 수 있다. 삽입할 메시지는 가우시안 난수(평균0, 분산1)를 이용하여 임의로 생성하였으며, 비트오차율(bit error rate, BER)를 구하여 성능을 평가한다.

정보부호화 및 삽입, 워터마크 검출을 위해 각 블록에서 사용하는 DCT계수는 워터마크의 강인성과 비인자성을 고려하여 중간주파수 대역의 계

수 12개를 사용한다. 또한 강인성에 대한 성능평가를 위하여 가우시안잡음, 가우시안 저주파필터링, 화소값 증감, JPEG압축 공격에 대한 결과를 위해 10개 영상에 대한 평균 BER를 계산하였다.

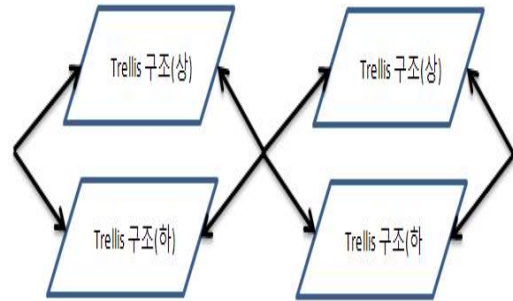
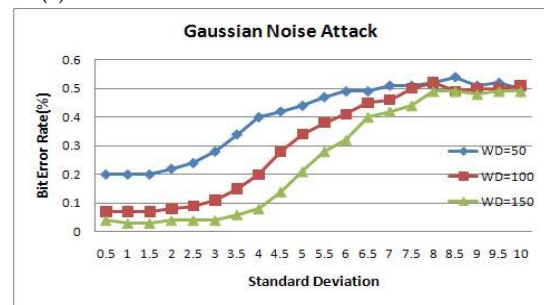


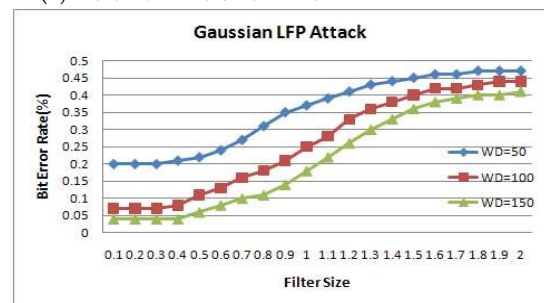
그림 3. 다층구조를 갖는 trellis 구조

그리고 왓슨거리를 각각 50, 100, 150으로 변화시키면서 실험하였다. 그림 7(a)는 가우시안잡음 첨가에 대한 BER 결과이다. 가우시안 잡음 공격에 대하여 WD=150일 경우 표준편차가 3.0일 때까지는 오차가 거의 발생하지 않음을 알 수 있다. 그림 7(b)는 가우시안저주파 필터링에 대한 BER 결과이다. 그리고 그림 7(c)는 화소값 증감 공격에 대한 결과이고, 마지막으로 그림 7(d)는 JPEG 영상압축 공격에 대한 BER 결과이다. 화소값 증감 공격에서 WD=150일 경우 증감인자가 1.2일 때까지는 오차가 거의 발생하지 않음을 알 수 있다.

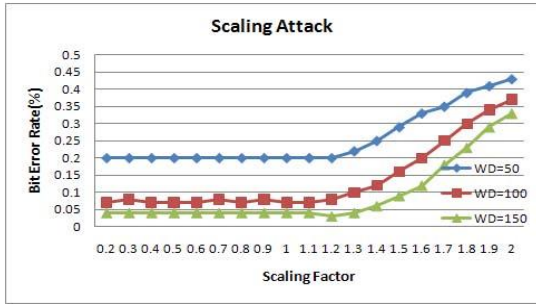
(a) 가우시안 잡음



(b) 가우시안 저주파 필터링



(c) 화소값 증감



(d) JPEG 압축

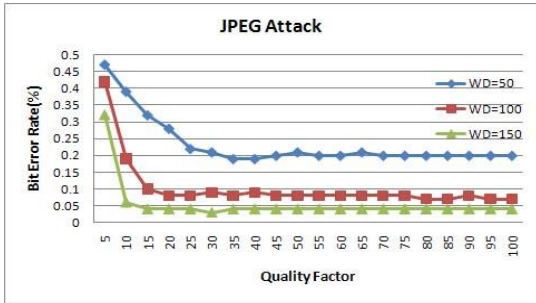


그림 4. 실험결과 (a)가우시안잡음 (b)가우시안저주파필터 (c)화소값증감 (d)JPEG

V. 결 론

본 논문에서는 다층 trellis 구조를 갖는 정보부호화 및 삽입 기반 워터마킹에 대하여 연구하였다. 이를 위해 다층구조 trellis부호화 및 왓슨인지 모델을 도입하여 워터마크의 강인성 및 비인지성을 유지할 수 있는 방법을 연구하였다. 정보부호화를 위해 선형상관계수와 왓슨거리를 사용하고 또한 원 영상의 각 블록 특성을 고려한 워터마킹을 제안하였다. 제안된 방법의 성능을 비트오차율(BER)를 측정하여 비교평가 하였다. 또한 가우시안 잡음, 가우시안 저주파필터링, 화소값 증감, JPEG압축 공격에 대하여 10개의 영상을 사용하여 평균 BER를 서로 다른 목표왓슨거리에 따라 계산하였다.

향후 연구과제는 다층 trellis 구조에 대한 보다 효과적인 연구와 인간시각모델을 사용한 워터마킹 방법에 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]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.

[3]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.

[4]M.H.M.Costa, "Writing on dirty paper", *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol.IT-29, no.3, pp.439-441, May 1983

[5]A.J.Viterbi, "CDMA: principles of spread spectrum communications", *Addison Wesley Longman Inc.*, 1995.

[6]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.

[7]A.B.Watson, "DCT quantization matrices optimized for individual images", *Human Vision, Visual Processing, and Digital Display IV*, SPIE-1913, pp.202-216, 1993.

[8]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.

[9]S.W.Kim and S.Suthaharan, "An entropy masking model for multimedia content watermarking", *Proc. 37th IEEE System Science*, Hawaii, Jan. 2004.

[10]이정환, "Trellis 부호 및 엔트로피 마스킹을 이용한 정보부호화 기반 워터마킹", 한국해양정보통신학회논문지 게재예정

[11]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.