

논문 2006-43IE-4-6

비트율과 움직임 벡터를 이용한 적응적 동영상 워터마킹

(Adaptive Video Watermarking using the Bitrate and the Motion Vector)

안 일 영*

(I. Y. Ahn)

요 약

본 논문에서는 MPEG2 부호화기내에서 워터마크 세기를 비트율과 움직임 벡터의 크기에 따라 적응적으로 조절하는 방법을 제안한다. I 프레임에 대하여는 양자화 스텝 크기에 따라 워터마크 세기를 가변적으로 조절하고, P, B 프레임은 고효율의 압축이 실현되므로 워터마크의 강인성을 유지하기 위해 비트율과 매크로 블록의 움직임 벡터의 크기에 따라 적응적으로 워터마크 세기를 조절한다. 워터마크 검출은 MPEG 동영상을 완전히 복호화하지 않고 MPEG 복호화시에 DCT 영역에서 실시간으로 검출한다. 실험 결과, 제안한 방법은 화질의 차이가 눈에 띄지 않고 GoP 변환후 동영상 재압축, 저주파 필터 공격과 프레임 삭제 등의 동영상 편집 공격에서도 강인함을 나타낸다.

Abstract

This paper proposes a adaptive video watermarking algorithm according to bitrate and motion vector size in MPEG2 system. The watermark strength in the I-frames is adapted for quantization step size and the strength in the P-B-frames is adapted for quantization step size and motion vector of macroblock to make the watermark more robust against the accompanying degradation due to aggressively compression. A realtime watermark extraction is done directly in the DCT domain during MPEG decoding without full decoding of MPEG video. The experimental simulations show that the video quality results almost invisible difference between the watermarked frames and the original frames and the watermark is resistant to frame dropping, MPEG compression, GoP conversion and low pass filter attacks.

Keywords : Watermarking, Video Watermarking, MPEG, Copyright protection

I. 서 론

오늘날 소프트웨어와 컴퓨터 시스템의 발달과 더불어 인터넷의 보급 확대에 따라 디지털 이미지나 비디오가 더욱 쉽게 편집, 저장, 전송할 수 있게 됨으로써 디지털 미디어의 저작권 보호가 사회적 이슈가 되어 왔다. 디지털 워터마킹(watermarking)은 이러한 원본 데이터의 저작권 보호 문제를 해결하기 위한 대안으로써 여러 방법들이 연구되어 왔으며 일부 실용화되고 있다^{[1],[2]}. 강인한 워터마킹의 목표는 디지털 미디어의 소유자 정보인 삽입된 워터마크가 원 영상에서 보이지 않아

야 되며 워터마크를 훼손하는 고의 또는 비고의적인 여러 가지 공격에서도 워터마크를 추출할 수 있어야 하는 것이다^{[3],[4]}.

동영상 워터마킹은 비압축 영역에서 워터마크를 삽입하는 방법과 압축영역에서 삽입하는 방법으로 나눌 수 있다. Hartung과 Girod는 압축된 비트 스트림에 직접 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다^[5]. 워터마크의 DCT를 계산하고 압축된 스트림내의 VLC(variable length codeword)에 워터마크를 더한다. 이 방법은 워터마크 삽입전의 동영상의 파일 크기와 워터마크 삽입 후의 파일 크기가 동일하다는 장점^[6]이 있으나, P, B 프레임에 워터마크를 삽입할 경우 양자화한 이후에 워터마크를 삽입하므로 양자화된 데이터보다 워터마크가 더 크므로 MPEG의 비트율 제어에 문제가 발생한다. 따라

* 정회원, (주)씨디에스
(CDS)

접수일자: 2006년8월21일, 수정완료일: 2006년12월6일

서 I 프레임에만 워터마크를 삽입해야 하는 단점이 있어 워터마크가 삽입된 MPEG 영상을 복호화하여 다른 GoP로 변환한 다음 재압축하는 공격에 취약하다.

Langelar는 I 프레임에만 워터마크하였다. DCT계수의 고주파 성분사이의 에너지 차에 따라 8x8 픽셀 블록에 워터마크하였다^{[7],[8]}. 삽입된 비트는 에너지 차의 부호에 따르며 에너지 차는 DCT 계수를 지그재그 스캔하여 컷오프 점 이전과 이후 값으로 한다. 워터마크 검출은 선택 영역의 에너지 차의 부호 값으로 계산한다.

DCT 계수 레벨에서 워터마크를 삽입하므로 워터마크 삽입 및 검출 과정에서 VLC 복호화만이 필요하고 스트림의 완전한 복호화와 재부호화가 불필요하므로 상대적으로 알고리즘이 간단하다. 스트림에서 워터마크를 완전히 제거하기 위해 완전한 복호화와 재부호화가 필요하므로 충분한 강인성을 가지고 있는 방법이며 삽입된 워터마크의 양이 많다.

또한 동영상의 MPEG 압축시에 각 매크로 블록에서 계산되는 움직임 벡터에 워터마크를 삽입하는 방법^[9-12]은 움직임 벡터의 모듈(module) 연산에 의해 만들어진 특징 벡터와 워터마크에 따라 압축 도메인에서 움직임 벡터에 워터마크한다. 움직임 벡터를 가지는 P, B 프레임에만 삽입하는 것으로 I 프레임에는 적용할 수 없다. 또한 순방향 예측과 역방향 예측을 수행하여 이전 프레임과 차이를 압축하는 P, B 프레임에 있어서 배경과 같은 움직임 차이가 거의 없는 프레임에서는 워터마크 검출 효율이 좋지 않다.

Dugad와 Ahuja는 MPEG에 의한 동영상 압축시에 I, P, B 프레임에 모두 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다^[13]. I 프레임에 고정적인 워터마크 세기를 적용하고 P, B 프레임에는 MPEG2 부호화기에서 움직임 보상을 위해 복호화한 프레임과 원 영상간의 MSE(mean square error)에 따라 적응적으로 워터마크의 세기를 조절하였다. 그러나 I 프레임에도 적응적으로 워터마크 세기를 조절할 필요가 있으며 비트 레이트(bit-rate)를 높여 압축하였을 경우 MSE 값이 작게 계산되므로 워터마크 세기 또한 작게 된다. 따라서 삽입된 워터마크를 검출할 경우 비트오류 값이 높게 나타난다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 MPEG2 부호화기내에서 워터마크 세기를 비트율과 움직임 벡터의 크기에 따라 적응적으로 조절하는 방법을 제안한다. I 프레임에 대하여는 양자화 스텝 크기에 따라 워터마크 세기를 가변적으로 조절하고, P, B 프레임은 고효율의 압축이 실현되므로 워터마크의 강인성을

유지하기 위해 좀 더 강한 워터마크 세기를 적용할 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 P, B 프레임에 대해서는 비트율과 움직임 벡터의 크기에 따라 적응적으로 워터마크 세기를 조절한다. 본 논문은 II장에서 제안한 워터마크 삽입과 검출 방법을 제안하고 III장에서는 제안한 방법에 대한 실험 결과를 보여준다. 워터마크 삽입에 따른 화질을 PSNR(peak signal to noise ratio)로 계산하고 워터마크 검출은 DCT 계수 상관관계 계산으로 행한다. 여러 가지 공격에 따른 알고리즘의 강인성을 보여준다. 마지막으로 IV장에서는 결론을 기술한다.

II. 제안한 방법

1. 워터마크 삽입

그림 1에서 MPEG2 부호화기내에서 DCT 계수의 저주파수 대역에 저작권 정보로 사용되는 워터마크를 비트율과 움직임 벡터의 크기에 따라 적응적으로 삽입하는 방법을 보여준다.

MPEG2 부호화기는 공간적 압축을 수행하는 인트라 코딩과 시간적 압축을 수행하는 인터 코딩으로 나누며 DCT, 양자화(quantization), 움직임 예측과 보상(motion estimation and compensation), 가변길이 부호화(variable length coding)로 구성된다^[14]. 여기서 양자화 과정은 DCT로 변환된 계수에 대하여 실제로 압축을 수행하는 과정이다. 양자화의 목적은 주어진 출력 비트량 한도내에서 가장 좋은 화질을 얻는 것을 목적으로 한다. 양자화는 인간 시각 특성을 고려하고 인간 시각이 둔감한 고주파 영역에서는 크게 양자화하고 상대적으로 덜 중요한 정보의 양을 줄인다. 또한 부호기는 화질의 적절한 균형을 이루기 위하여 여러 형식의 픽처들 간에 전체 비트 수를 할당하는데, 이 할당은 화면의 복잡도와 픽처의 형식에 대한 비트 할당량에 따라 변화한다. 부호기의 비트율 제어는 양자화 스케일 값을 변경하는 것으로 주로 버퍼의 충만도에 따라서 양자화 스텝 크기를 가변적으로 데이터에 적용한다. 즉, 발생 비트수가 특정 기준치 이상이면 버퍼안의 데이터가 증가하므로 양자화 값을 증가시켜 데이터를 줄이고 기준 이하로 데이터가 발생하면 양자화 크기를 감소시켜 부호기의 버퍼 상태를 일정하게 조절하는 것이다.

따라서 본 논문에서는 워터마크 삽입시 I 프레임에 대하여는 MPEG2 부호화기내에서 계산된 양자화 스텝 크기에 따라 워터마크 세기를 가변적으로 조절하며 P, B 프레임은 현재 프레임과 가장 잘 정합되는 참조 프

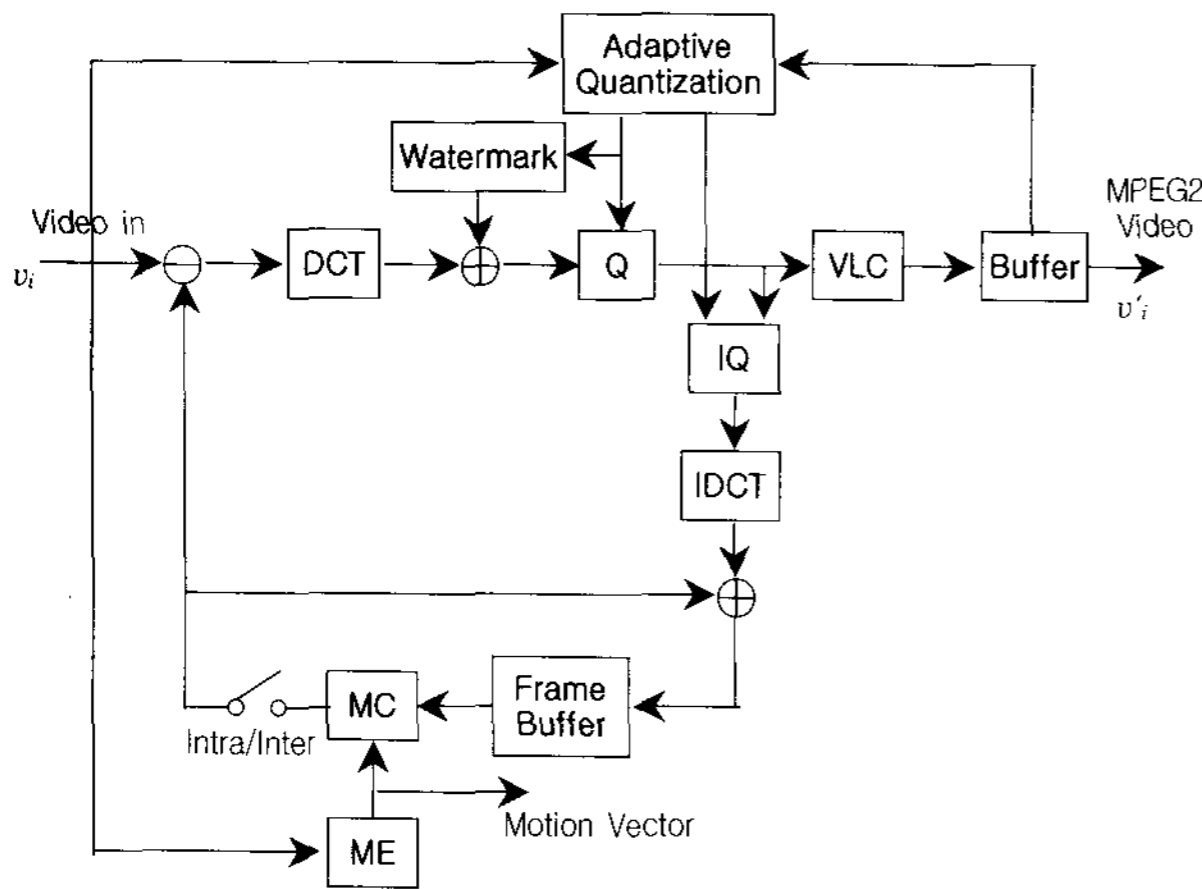


그림 1. 워터마크 삽입
Fig. 1. Watermark embedding.

레이프에서의 블록을 예측 프레임으로 하여 현재 프레임의 블록과 참조 프레임의 블록과의 차이를 부호화한다.

따라서 각 프레임 시퀀스에서 움직임이 거의 없는 부분에서는 예측차가 거의 없으므로 DCT 계수 또한 0인 부분이 많다. 이 부분에서 P, B 프레임은 고효율의 압축이 실현되므로 워터마크의 강인성을 유지하기 위해 좀 더 강한 워터마크 세기를 적용할 필요가 있다. 따라서 P, B 프레임에 대해서는 비트율과 움직임 벡터의 크기에 따라 적응적으로 워터마크 세기를 조절한다. 각 매크로 블록에서의 양자화 스텝 크기를 버퍼의 상태에 따라 계산한 다음 다음과 같이 양자화된 DCT 계수를 계산한다.

$$(32F_{ij}/Q_{intra} + 0.75mquant)/(2mquant) \quad (1)$$

$$8F_{ij}/mquant Q_{intra} \quad (2)$$

여기서 식 (1)은 인트라 프레임의 양자화이며 식 (2)는 인터 프레임의 양자화이다. F_{ij} 는 8×8 블록의 DCT 계수, Q_{intra} 는 인트라 프레임의 양자화 계수, Q_{inter} 는 인터 프레임의 양자화 계수, $mquant$ 는 양자화 스텝 크기이다.

삽입할 워터마크는 특정 문자를 나타내는 시그네처(signature)인 2진 시퀀스를 미리 정한 키를 사용하여 랜덤하게 순서를 바꾼 다음, 주파수 확산 방식을 이용하여 삽입한다^[15]. 즉, 저주파 대역에 워터마크가 삽입된 비디오 신호 v'_i 는

$$v'_i = v_i + \alpha b_i p_i \quad (3)$$

이 된다. 여기서 v_i 는 원 영상, α 는 삽입할 워터마크의

세기, b_i 는 확산된 워터마크 비트, p_i 는 PN 시퀀스를 의미한다. 이때 워터마크 세기 α 는 양자화 스텝 크기에 따라 실험적으로 미리 정한 임계값을 이용하여 다음 식과 같이 가변시킨다.

$$\alpha = \begin{cases} mquant/d, & \text{if } mquant > 12 \\ 5.0 & \text{if } mquant \leq 12 \end{cases} \quad (4)$$

여기서 d 는 실험적으로 미리 정한 값으로, I 프레임은 2.0, P, B 프레임에서는 움직임 벡터의 크기가 1보다 작은 매크로 블록에 대하여는 1.6으로 설정하고 그 이외의 값에 대해서는 2.0으로 설정한다.

2. 워터마크 검출

워터마크 검출은 MPEG2 비디오를 복호화하는 과정에서 실시간으로 직접 검출한다. 워터마크가 삽입된 MPEG2 동영상에 입력되어 각 매크로 블록 단위로 가변길이 복호화, 역양자화를 수행한 값은 8×8 블록으로 된 DCT 계수이다. 이 DCT 계수에 워터마크 삽입시 사용되었던 PN 시퀀스를 곱하면 워터마크 삽입시에 행한 것과 같은 랜덤하게 순서가 섞인 2진 시퀀스를 얻는다. 여기에 주어진 키를 이용하여 원래의 순서대로 섞어 워터마크로 사용된 시그네처를 검출한다. 워터마크 검출 과정은 그림 2에 보여진다.

각 프레임에서 저작권 정보가 양호하게 검출되었는지 계산하는 척도는 검출된 워터마크의 BER(bit error rate) 값과 워터마크가 삽입된 영상의 화질을 판단하기 위해 PSNR 값을 사용한다.

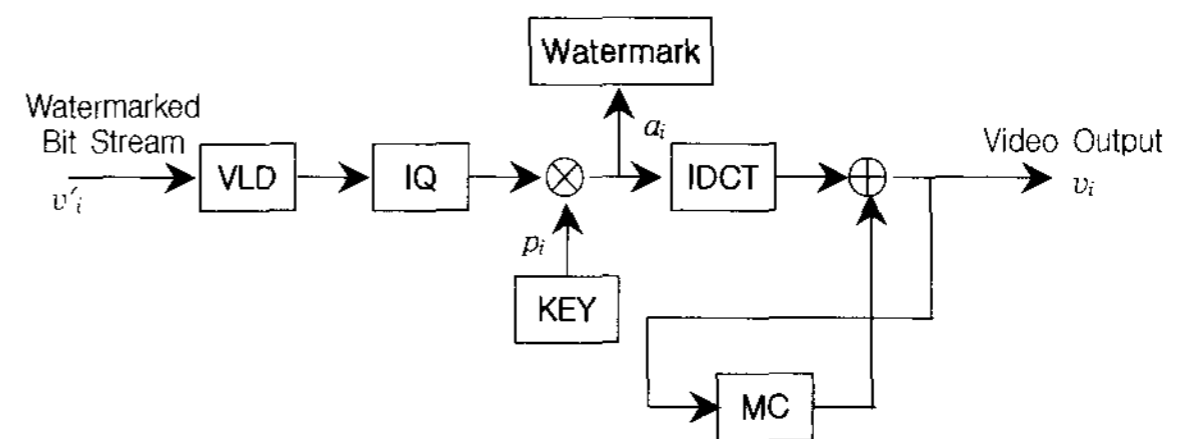


그림 2. 워터마크 검출
Fig. 2. Watermark extraction.

III. 실험 및 고찰

해상도 352×240, 프레임 수 200개의 Pingpong 동영상과 Football 동영상을 사용하여 MPEG2 부호화기 및 복호화기에 제안한 알고리즘을 추가하여 실험하였다. MPEG2 부호화기에서 사용된 주요 파라미터는 다음과 같다.

표 1. MPEG2 부호화기에서 사용된 주요 파라미터
Table 1. Parameters in the MPEG2 Encoder.

입력 프레임 파일 형태	*.y, *.u, *.v
입력 프레임 수	200
GoP내의 프레임 수	12
IP 프레임 사이 거리	3
프레임 크기	352×240
프레임 레이트(frame rate)	25/초
비트 레이트	1.5Mbps
가상 버퍼 크기	48

Pingpong 동영상은 0번 프레임부터 88번 프레임까지는 서서히 줌 아웃(zoom-out)되고 장면전환이 일어난다. 89번에서 147번 프레임에서는 화면의 중앙부분에서만 움직임이 있으며 배경의 변화가 없으며 148번 이후부터는 느린 카메라 워크가 나타나는 동영상이다. 또한 Football 동영상인 경우는 후반부에 빠른 카메라 워크가 있으며 장면전환이 없다.

식 (4)에서 계산한 워터마크의 세기에 따라 각 매크로 블록에 삽입할 워터마크의 양을 가변시킨다. 그림3은 각 프레임에서 계산한 평균 워터마크 세기를 보여준다. Pingpong 동영상에서 I, P, B 프레임의 평균 워터마크 세기는 각각 5.4, 5.6, 7.2이며 Football 동영상에서는 각각 6.1, 6.8, 10.4이다. 또한 각 프레임마다 워터마크 세기가 적응적으로 변화됨을 보여준다. 그림4는 1.5Mbps로 압축된 동영상에서 검출한 워터마크의 BER 값을 보여준다. Pingpong 동영상에서 I, P, B 프레임의 워터마크의 평균 BER 값은 각각 0.0021, 0.0691, 0.1038이며 Football 동영상에서는 각각 0.0005, 0.0253, 0.011이다. 특히 Pingpong 동영상일 경우 배경의 변화가 없는 프레임에서 BER 값이 커지나 전체적으로 워터마크가 잘 검출됨을 보여준다.

그림 5는 워터마크가 삽입된 프레임과 원래의 프레임에서 계산한 PSNR 값을 나타낸다. Pingpong과 Football 동영상인 경우 PSNR 값은 각각 평균 35.86dB와 34.12dB이며 움직임이 비교적 빠른 동영상인 Football 동영상인 경우 Pingpong 동영상에 비하여 PSNR 값이 낮게 나오나 움직임이 빠른 부분에서는 인간 시각이 인지하지 못하므로 원래 영상과의 차이를 거의 구별할 수 없다.

워터마크를 삽입하여 1.5Mbps로 압축한 동영상을 복

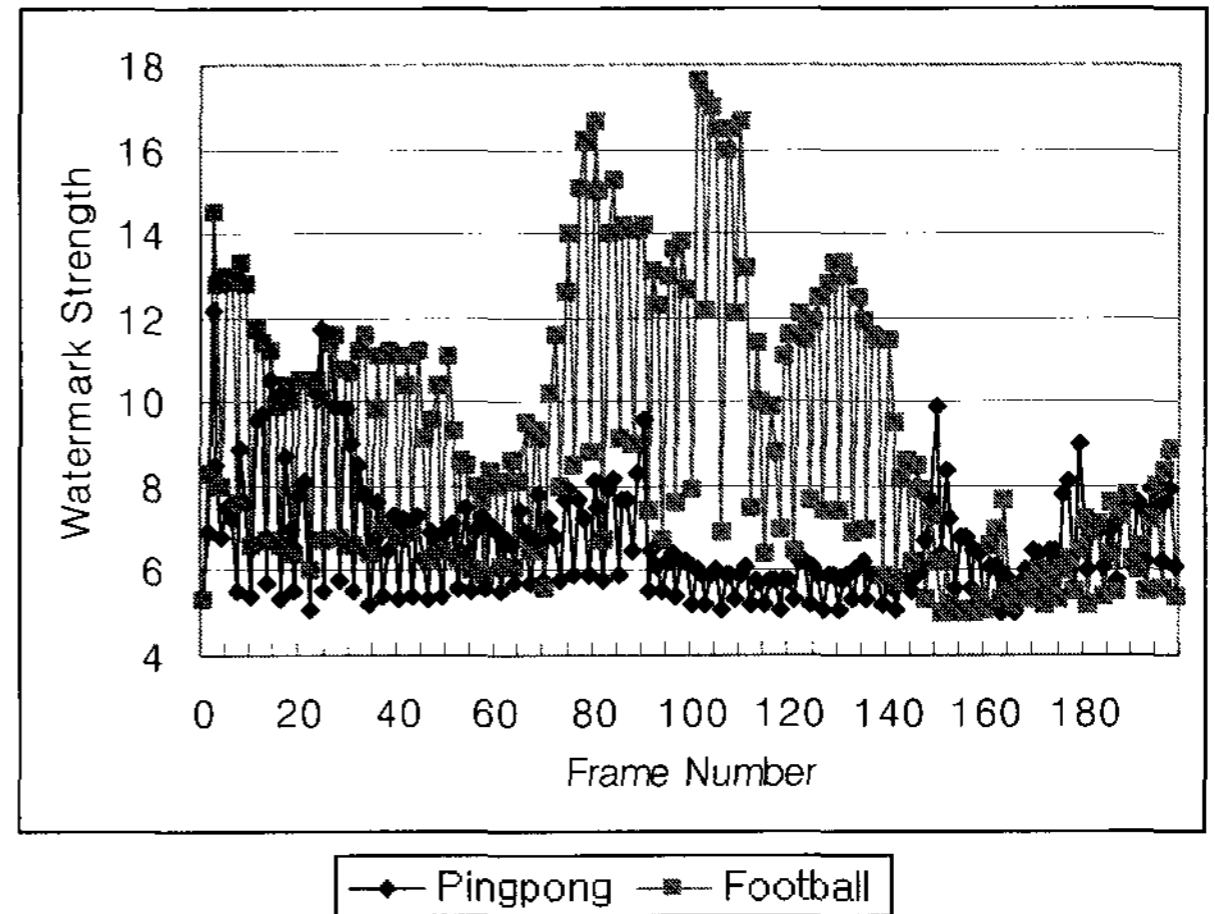


그림 3. 워터마크 세기 변화(1.5Mbps 압축 동영상)
Fig. 3. Watermark strength variation(the compressed video with 1.5Mbps).

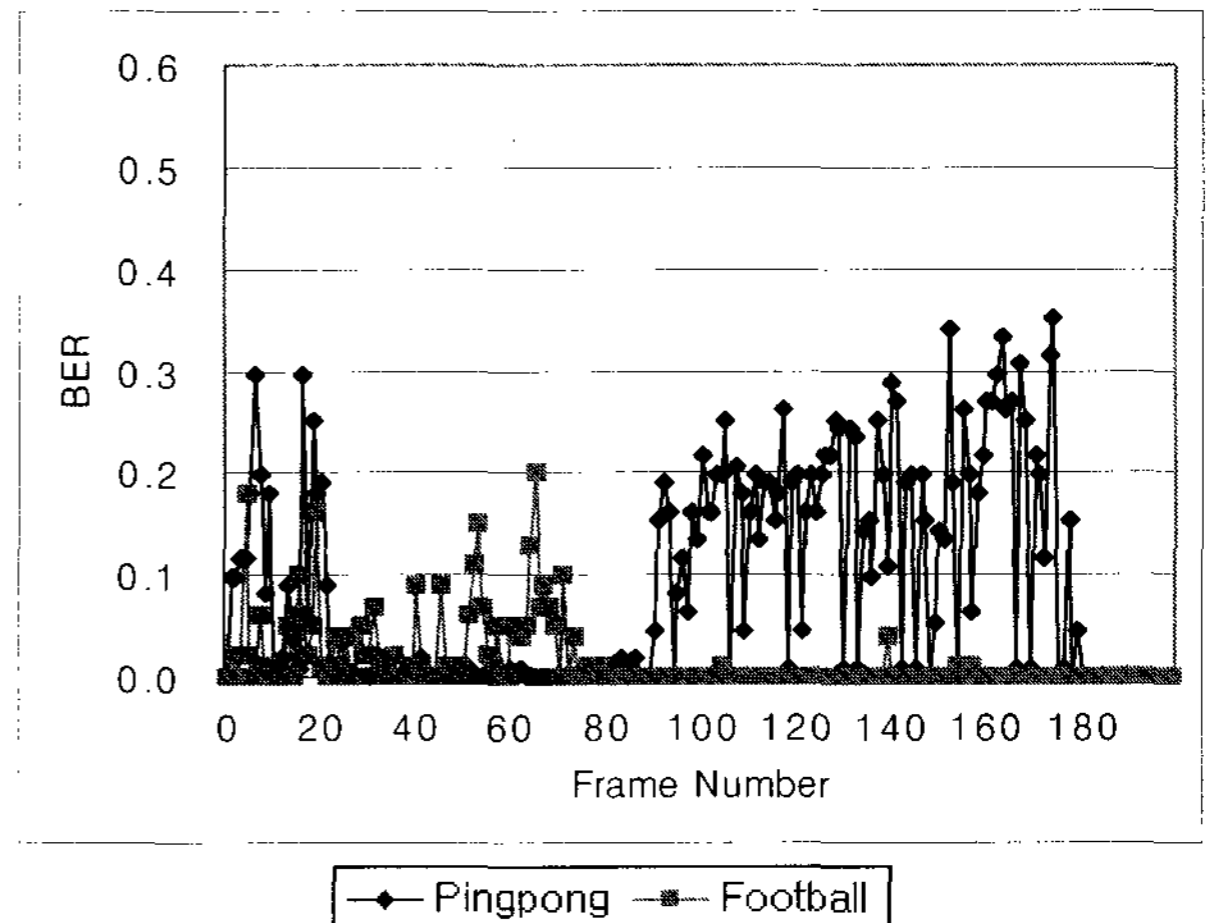


그림 4. 1.5Mbps로 압축된 동영상에서 검출된 워터마크의 BER
Fig. 4. BER of watermark in the compressed video with 1.5Mbps.

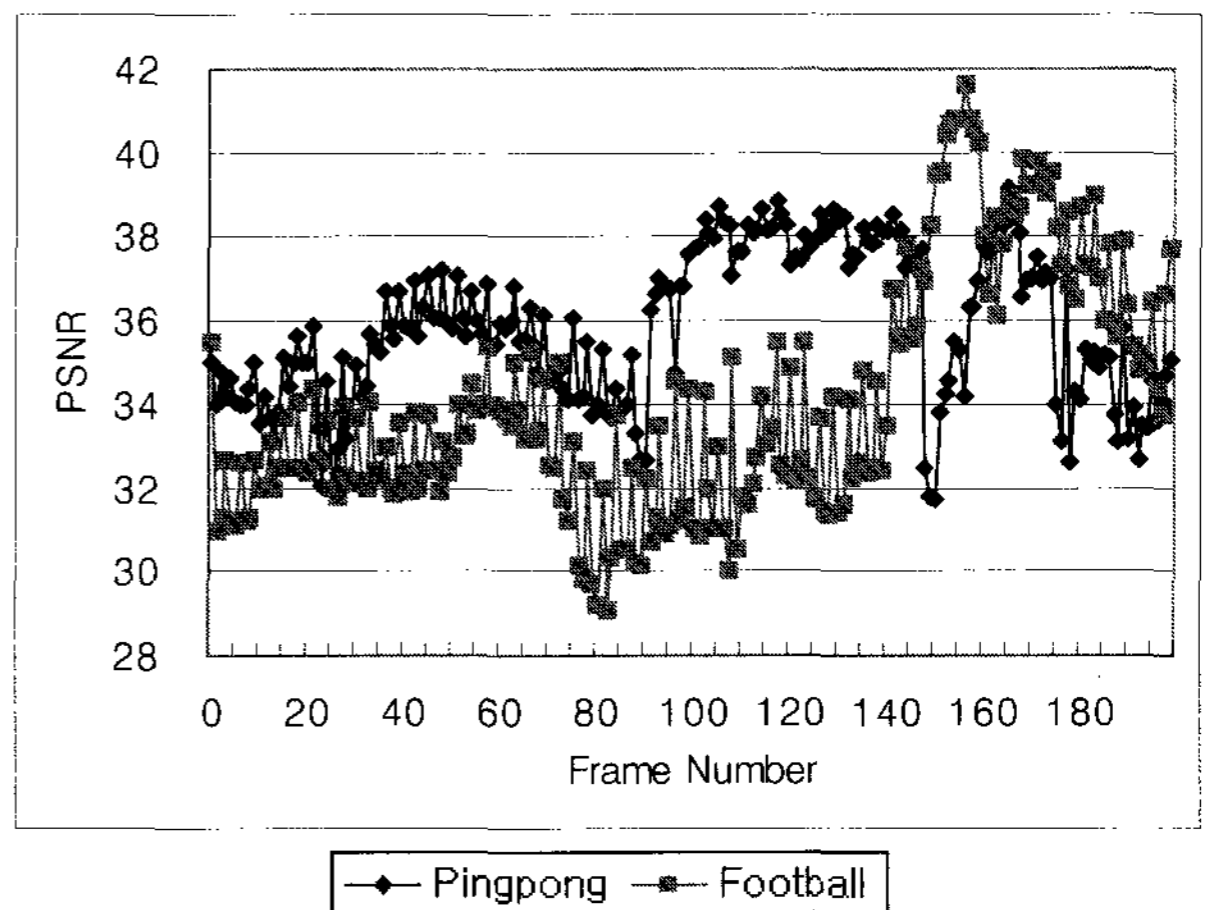


그림 5. PSNR(1.5Mbps로 압축된 동영상)
Fig. 5. PSNR(the compressed video with 1.5Mbps),

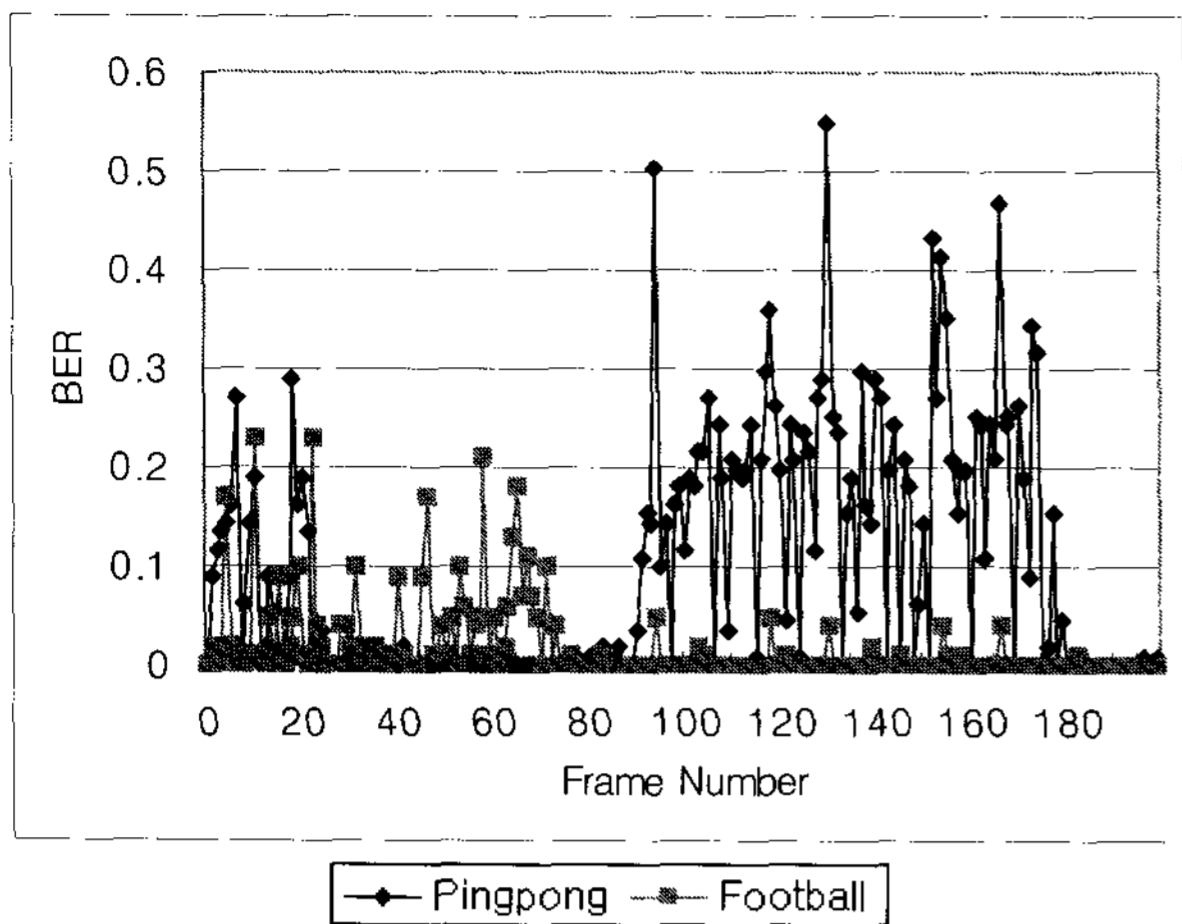


그림 6. GoP 변환 공격 영상에서 검출한 워터마크의 BER

Fig. 6. BER of the detected watermark in the GoP conversion attack.

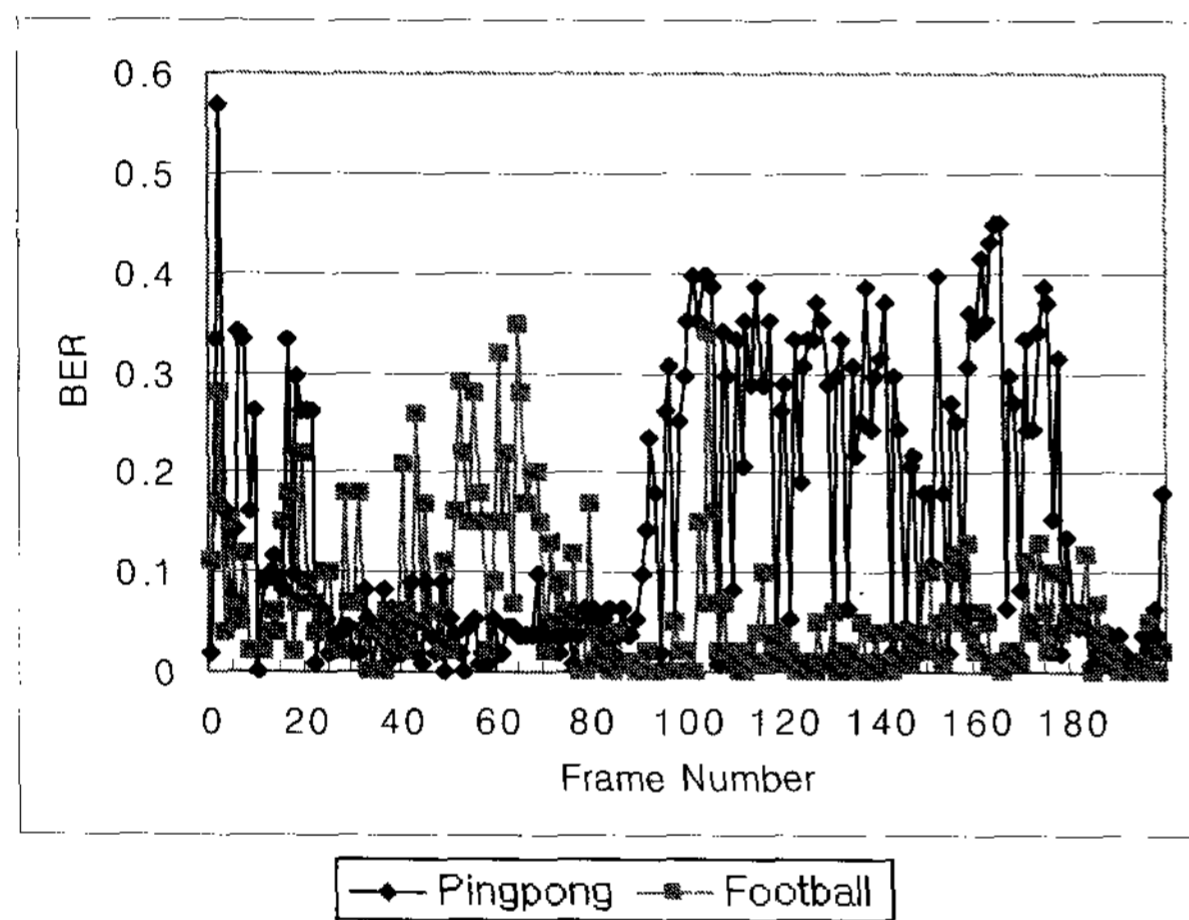


그림 7. 저주파 필터 공격 영상에서 검출한 워터마크의 BER

Fig. 7. BER of the detected watermark in the low pass filter attack.

호화하여 GoP내의 프레임 수를 9로 변환한 후 재압축하는 공격을 가한 영상에서 검출한 워터마크의 BER 값은 그림6에 보여준다. Pingpong 동영상과 Football 동영상에 대하여 평균 BER 값은 각각 0.095과 0.176을 나타내어 워터마크가 잘 검출됨을 보여준다.

워터마크를 삽입하여 1.5Mbps로 압축한 동영상을 복호화하여 각 프레임에 저주파 필터 공격을 가한 후 재압축한 영상에서 검출한 워터마크의 BER 값은 그림7에 보여준다. Pingpong 동영상과 Football 동영상에 대하여 평균 BER 값은 각각 0.152과 0.063을 나타낸다.

IV. 결 론

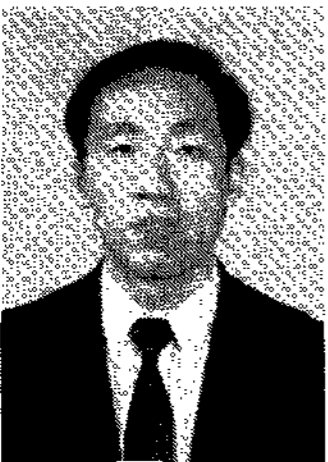
본 논문에서는 MPEG2 부호화기내에서 워터마크 세기를 비트율과 움직임 벡터의 크기에 따라 적응적으로 조절하는 방법을 제안한다. I 프레임에 대하여는 양자화 스텝 크기에 따라 워터마크 세기를 가변적으로 조절하고, P, B 프레임은 고효율의 압축이 실현되므로 워터마크의 강인성을 유지하기 위해 좀 더 강한 워터마크 세기를 적용할 필요가 있다. 따라서 P, B 프레임에 대해서는 비트율과 움직임 벡터의 크기에 따라 적응적으로 워터마크 세기를 조절한다. 실험 결과, 제안한 방법은 모든 프레임에 대하여 각각의 매크로 블록마다 워터마크 세기가 적응적으로 조절될 수 있다. 또한 MPEG 동영상의 완전 복호화없이 MPEG2 복호화 과정에서 실시간으로 워터마크를 검출할 수 있다. 동영상 압축과 GoP 변환 공격 및 저주파 필터 공격에서도 충분한 워터마크가 검출되며 모든 프레임에 워터마크를 삽입하므로 프레임 삭제 등의 동영상 편집 공격에서도 우수한 워터마크 검출율을 보인다. 향후 연구 방향은 MPEG4 등의 다른 압축 시스템에서의 워터마킹 방법에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] T. Kalker, G. Depovere, J. Haitsma and M. Maes, "A video watermarking system for broadcast monitoring", Proc. of the SPIE In Security and Multimedia Contents, vol.3657, 1999.
- [2] J. Haitsma and T. Kalker, "A Watermarking Scheme for Digital Cinema", Proc. of IEEE ICIP, pp.487-489, 2001.
- [3] B. T. Hannigan, A. Reed and B. Bradley, "Digital Watermarking using Improved Human Visual System Model", Proc. of SPIE vol.4321, pp.468-474, 2001.
- [4] F. Deguillaume, G. Csurka and T. Pun, "Countermeasures for Unintentional and Intentional Video Watermarking Attacks", Proc. of the SPIE In Security and Multimedia Contents II, vol.3971, pp.346-357, 2000.
- [5] F. Hartung, B. Girod, "Watermarking of Uncompressed and Compressed Video", Signal Processing 66, pp.283-301, 1998.
- [6] D. Simitopoulos, S. A. Tsiftaris, N. V. Boulgouris and M. G. Strintzis, "Compressed-domain Video Watermarking of MPEG Streams",

- Multimedia and Expo, Proceedings. 2002 IEEE International Conference vol.1, pp.569-572, Aug. 2002.
- [7] G. C. Langelaar, R. L. Lagendijk and J. Biemond, "Realtime Labeling of MPEG2 Compressed Video," Journal of Visual Communication and Image Representation, 1998.
- [8] G. C. Langelaar, R. L. Lagendijk and J. Biemond, "Watermarking by DCT Coefficient Removal: A Statistical Approach to Optimal Parameter Setting," Proc. of the SPIE In Security and Watermarking of Multimedia Contents, vol.3971, pp.2-13, 1999.
- [9] C-H Lee, H-S Oh and H-K Lee, "Adaptive Video Watermarking using Motion Information," Proc. of SPIE In Security and Watermarking of Multimedia Contents II, vol.3971, pp.209-217, 2000.
- [10] T-Y Chung, M-S Hong, Y-N Oh, D-H Shin and S-H Park, "Digital Watermarking for Copyright Protection of MPEG2 Compressed Video," IEEE Trans. on Consumer Electronics, vol.44, no. 3 pp. 895-901, 1998.
- [11] C. T. Hsu and J. L. Wu, "DCT-based Watermarking for Video," IEEE Trans. on Consumer Electronics, vol.44, no.1, pp.206-216, 1998.
- [12] Z. Zhongjie, J. Gangyi, Y. Mei and W. Xunwei, "New Adaptive Algorithm for Video Watermarking," TENCON '02. Proceedings. 2002 IEEE Region 10 Conference on Computers, Communications, Control and Power Engineering, pp.152-155, Oct. 28-31. 2002.
- [13] R. Dugad, N. Ahuja, "A Scheme for Joint Watermarking and Compression of Video," Proc. of IEEE International Conference Image Processing, pp.80-83, 2000.
- [14] J. L. Mitchell, W. B. Pennebaker, C. E. Fogg and D. LeGall, MPEG Video Compression Standard, International Thomson Publishing(ITP)
- [15] I. Cox, J. Kilian, T. Leighton, T. Shamoon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia", IEEE Trans. on Image Processing vol.6 no.12, pp.1673-1687, Dec 1997

 저 자 소 개



안 일 영(정회원)

1983년 2월 한양대학교 전자공학과 학사

1988년 8월 한양대학교 전자공학과 석사

2004년 2월 한양대학교 전자계산학과 박사

<주관심분야: 신호처리, 워터마킹, 영상압축>