
워터마크 검출율에 기반한 적응적 워터마킹 방법

안일영

Adaptive Watermarking Method using Watermark Detection Rate

Il-young An

요 약

본 논문에서는 MPEG2 부호화기내에서 삽입된 워터마크(watermark)의 비트 검출율에 따라 워터마크의 삽입 세기를 적응적으로 조절하는 방법을 제안한다. MPEG2 부호화내에서 워터마크를 삽입하고, 움직임 보상을 위해 복호화한 프레임에서 추출한 워터마크의 BER(bit error rate) 값에 따라 워터마크 세기를 적응적으로 조절한다. 워터마크의 각 비트는 주파수 확산방식을 사용하여 삽입한다. 워터마크 검출은 MPEG2 복호화시에 주파수 영역에서 실시간으로 검출한다. 실험 결과, PSNR(peak signal to noise ratio)은 고정적인 워터마크 세기를 적용한 경우 31.5dB, 가변적 워터마크 세기를 적용한 경우 33.0dB이다. 평균 BER은 0.126으로 허용 한계치 0.2보다 작다.

ABSTRACT

This paper proposes an adaptive video watermarking algorithm according to bit detection rate of watermark in MPEG2 system. The watermark strength is adaptively applied as BER(bit error rate) of watermark extracted from decoded frame for motion compensation. Watermark insertion uses a frequency spread spectrum method. A realtime watermark extraction is done directly in the DCT domain during MPEG decoding. The experimental simulations show that PSNR(peak signal to noise ratio) results 31.5dB for a fixed watermark strength and 33.0dB for an adaptive watermark strength. Also average BER is 0.126 and less than 0.2 available value.

키워드

Watermarking, MPEG2, Video Watermarking, Information Hiding

1. 서론

디지털 워터마킹(digital watermarking)은 이미지나 동영상 등의 멀티미디어 콘텐츠(contents)에 대한 소유권 보호를 위해 멀티미디어 콘텐츠에 정보를 삽입하는 것이다. 대부분의 워터마킹 시스템에서 이미지의 고화질을 유지하면서 여러 가지 공격에서 워터마크를

검출하기 충분할 정도의 강건한 워터마크가 삽입된 이미지를 얻기를 원하지만 이 두 조건은 서로 상충된다. 즉, 워터마크의 강건함을 강조하면 화질에 영향을 주는 가시성이 저하된다[1].

Hartung과 Girod[2]는 MPEG 비트 스트림에 직접 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 이미 압축된 동영상을 부분적으로나마 복호화하는 과

정을 포함한다. 워터마크를 더한 후 VLC의 길이가 더하기 전 길이보다 길지 않아야 된다는 제한이 있으며 워터마크 검출시 원 영상의 영향을 받는다는 단점이 존재한다. 또한 Dugad와 Ahuja[3]는 워터마크 삽입시 임계값 이상인 DCT 계수 값에만 워터마크하는데 워터마크 삽입시와 검출시에 정한 임계값 이상인 DCT 계수 값의 개수가 각 프레임에 따라 다르고 동영상에 따라 다르게 나타난다. 그러므로 저작권 정보로 사용되는 워터마크 검출이 필요한 경우 검출 효율이 낮아지는 단점이 있다. 또한 P, B 프레임에 삽입하는 워터마크 세기는 움직임 보상을 위해 복호화된 프레임과 원 영상간의 MSE(mean square error)에 따라 적응적으로 조절한다. 그러나 비트 레이트를 높여 압축하였을 경우 MSE 값이 작게 계산되므로 워터마크 세기 또한 작게된다. 따라서 삽입된 워터마크를 검출할 경우 워터마크 비트 오류 값이 높게 나타난다.

따라서 본 논문에서는 MPEG2 부호화기[4]내에서 움직임 보상을 위해 복호화된 프레임에서 추출한 워터마크의 BER(bit error rate) 값에 따라 워터마크 세기를 적응적으로 조절하여 워터마크를 삽입하고 MPEG2 복호화기내에서 실시간으로 워터마크를 검출하는 방법을 제안한다.

II. 제안한 방법

2.1 워터마크 삽입

I 프레임은 intra-coding 방법을 사용하여 부호화한다. 프레임내의 정보만 사용하며 움직임 예측을 하지 않는다. P, B 프레임은 프레임간의 차이를 부호화하는 inter-coding 방법을 사용한다. 대부분의 압축이 여기서 발생한다[5]. 그림 1에서 DCT 계산 단계로 입력되는 데이터는 I 프레임일 경우, 원래의 프레임이며 P, B 프레임인 경우, 복호화된 프레임과 입력 프레임과의 움직임 보상 후 그 차이 값이 입력된다. 따라서 DCT 계산 단계로 입력되는 데이터의 양을 줄이고 압축을 실현하는 것이다.

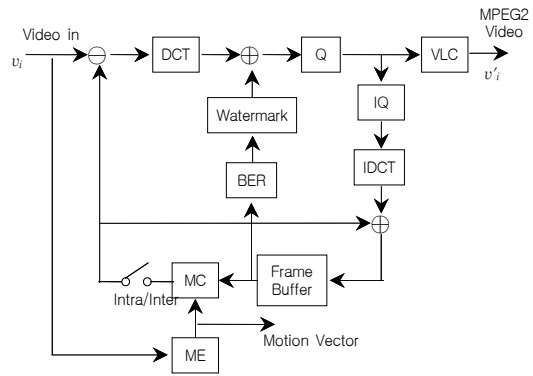


그림 1. 제안된 워터마킹 방법
Fig. 1 Proposed watermarking method

삽입할 저작권 정보로서의 워터마크인 시그네처 a_j 는 다음과 같다.

$$a_j, a_j \in \{-1, 1\} \dots\dots\dots (1)$$

여기서 j 는 시그네처 비트의 인덱스이다. a_j 를 주파수 확산 방식을 이용하여 확산 크기를 나타내는 chip-rate cr 값에 따라 다음과 같이 확산된 시그네처 b_i 를 구한다. 즉, 1비트의 시그네처를 chip-rate에 해당하는 값으로 확산시키는데 chip-rate의 값을 크게 하면 워터마크 검출 효율이 우수하나 삽입하는 정보의 비트 수가 적어진다[2].

$$b_i = a_j, \quad jcr \leq i \leq (j+1)cr \dots\dots\dots (2)$$

이것을 다음과 같은 PN 시퀀스 p_i 로 변조한다. 이 PN 시퀀스는 워터마크 검출시 키로 사용된다.

$$p_i, p_i \in \{-1, 1\} \dots\dots\dots (3)$$

변조된 워터마크 신호 w_i 는

$$w_i = \alpha b_i p_i \dots\dots\dots (4)$$

이다. 워터마크가 삽입된 동영상 신호 v'_i 는

$$v'_i = v_i + \alpha b_i p_i \dots\dots\dots (5)$$

이 된다. 여기서 v_i 는 원 영상을 의미한다. 이 과정이 그림 2에 보여진다.

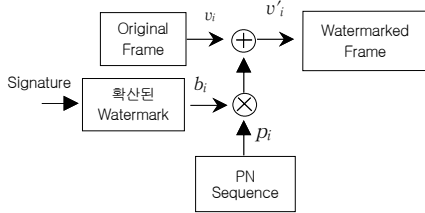


그림 2. 워터마크 삽입
Fig. 2 Watermark embedding

이 연산은 DCT 영역에서 수행되며 프레임의 휘도 성분에만 삽입한다. I 프레임의 DCT 계수에 워터마크를 더하며 B 프레임과 P 프레임은 움직임 보상 후 그 차이 값의 DCT 계수에 워터마크를 삽입한다. 여기서 DCT 계수의 DC 성분은 제외하며 삽입하는 주파수 대역은 중간 주파수 대역으로 한다.

B 프레임은 압축시 워터마크가 대부분 손상될 수 있고 참조 프레임으로 사용하지 않으므로 더해진 워터마크가 다음 프레임에 전해지지 않는다. P 프레임에서는 B 프레임보다는 손상이 적으며 압축을 위한 참조 프레임으로 사용되므로 B 프레임에 삽입되는 워터마크 보다 적게 삽입한다. 또한 움직임 보상을 위해 복호화된 프레임에서 삽입된 워터마크를 검출함으로써, 삽입한 워터마크가 MPEG 압축과 복호화 과정에서 어느 정도 손실되는지를 알 수 있다. 따라서 워터마크 세기는 모든 프레임에 대하여 워터마크 비트의 에러율(BER)에 따라 적응적으로 정한다. Ahuja의 방법은 I 프레임에는 일정한 값을 주고 P와 B 프레임에는 부호화기에서 움직임 보상을 위하여 복호화된 프레임과 원래의 프레임과의 MSE를 계산하여 가변시켰으나 본문에서는 부호화기 내의 움직임 보상을 위해 복호화된 프레임에서 검출한 워터마크 비트의 BER에 따라 삽입하는 워터마크 세기를 I, B, P 프레임 모두에 가변시킨다. 이 때 프레임간의 픽셀 값은 변화가 적으므로 같은 형태의 이전 프레임에서 손상된 양만큼 같은 형태의 다음 프레임에 삽입할 워터마크 세기를 조정한다.

즉, 현재 P 프레임에 삽입하는 워터마크의 세기는 이전 P 프레임에서 계산된 BER 값에 따라 워터마크 세기를 정하며, B 프레임에서는 이전 B 프레임에서 계산된 BER 값에 따라 워터마크 세기를 계산한다. I 프레임에도 동일한 방법을 적용한다.

2.2 워터마크 검출

워터마크 검출은 MPEG 동영상을 복호화하는 과정에서 실시간으로 직접 검출한다. 워터마크가 삽입된 MPEG 동영상이 입력되어 각 매크로 블록 단위로 가변길이 복호화, 역양자화를 수행한다. 이 후 동영상 재생을 위해 프레임 재순서화 과정 직전에서 한 개의 프레임에 있어서 상관관계[6]를 계산하여 워터마크로 사용된 시그네처를 검출한다. 워터마크 검출 과정은 그림 3에 보여지며 그 식은 다음과 같다[2].

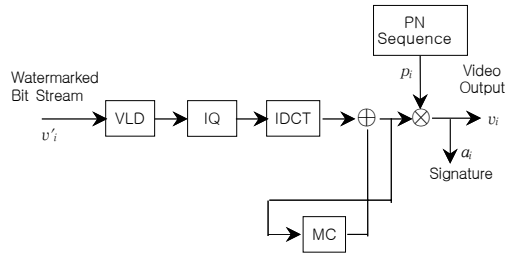


그림 3. 워터마크 검출
Fig. 3 Watermark detection

$$s_j \cong \sum_{i=jcr}^{(j+1)cr-1} p_i v'_i \dots\dots\dots (6)$$

$$= \sum_{i=jcr}^{(j+1)cr-1} p_i v_i + \sum_{i=jcr}^{(j+1)cr-1} \alpha p_i p_i b_i$$

여기서 PN 시퀀스 p_i 의 1과 -1의 개수가 같다고 가정하면 첫 번째 항은 0이된다. 두 번째항은 b_i 에 따라 부호가 결정된다. 따라서

$$sign(s_j) \cong a_j \dots\dots\dots (7)$$

이 된다. 즉, s_j 의 부호에 따라서 원래의 2진 시그네처 정보를 검출할 수 있다. 그러나 식 (6)에서의 가정은 DCT 계수 v'_i 값이 차이가 있으므로 워터마크 검출 효율을 낮추는 요인이 된다. 따라서 본 논문에서는 DCT 계수의 부호를 먼저 계산하고 이 값과 PN 시퀀스와의 상관관계를 계산한다. 즉, 식 (6)은 다음 식 (8)와 같이 변경하여 워터마크 검출시 원 영상의 영향을 줄일 수 있으므로 검출 효율을 높일 수 있다.

$$s_j \cong \sum_{i=jcr}^{(j+1)cr-1} p_i \frac{v'_i}{|v'_i|} \dots\dots\dots (8)$$

$$= \sum_{i=jcr}^{(j+1)cr-1} p_i \frac{v_i}{|v'_i|} + \sum_{i=jcr}^{(j+1)cr-1} \alpha p_i p_i \frac{b_i}{|v'_i|}$$

각 프레임에서 저작권 정보가 양호하게 검출되었는지 계산하는 척도는 식 (9)를 사용하며 워터마크의 삽입된 영상에 대한 비가시성에 대한 척도는 식 (10)으로 계산한다[7].

$$BER = \frac{\text{오류가 생긴 비트 수의 합}}{\text{삽입된 총 비트 수}} \dots\dots\dots (9)$$

$$PSNR = 10 \log_{10} 255^2 / MSE [dB] \dots\dots\dots (10)$$

$$MSE = \frac{1}{NM} \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^M (CW_{ij} - C_{ij})^2$$

여기서 N, M 은 이미지의 가로, 세로 크기이며, CW_{ij}, C_{ij} 는 워터마크가 삽입된 이미지의 픽셀과 원 영상의 픽셀 값이다.

III. 실험 및 고찰

본 논문에서는 해상도 352×240, 프레임 수 300 개의 Pinpong 동영상을 사용하여 MPEG2 부호화기 및 복호화기에 제안한 알고리즘을 추가하여 실험한다.

워터마크 삽입은 각 프레임의 8×8 픽셀 블록의 DCT 계수에 4개의 매크로 블록 단위마다 1비트로 확산된 워터마크를 더한다. 또한 각 프레임에 삽입하는 워터마크의 세기는 비트 레이트에 따라 초기값을 표 1과 같이 다르게 설정한다.

표 1. 비트 레이트에 따른 각 프레임 형태의 초기 워터마크 세기 값
Table 1. Initialized watermark strength values of each frame type according to the bit rate

Bit-rate(Mbps)	I Frame	P Frame	B Frame
1.5	7.0	8.0	9.0
3.0	5.0	6.0	7.0
5.0	3.0	4.0	5.0

비트 레이트를 낮게 하여 압축할 경우 삽입된 워터마크가 손실되는 비율이 비트 레이트를 높게 하여 압축할 경우 보다 크다. 따라서 실험적으로 워터마크 검출율이 0.2내외가 되는 범위에서 초기값을 설정한다. 이 초기값은 같은 형태의 이전 프레임에서 검출한 BER 값에 따라 다음 알고리즘과 같이 적응적으로 변화시킨다.

부호화기내에서 움직임 보상을 위해 복호화된 프레임에서 계산한 워터마크 비트의 BER 값이 0.2 이상이면 워터마크 비트의 검출 효율을 높이기 위해 워터마크 세기를 1씩 증가시키며 0.1 이하이면 높은 화질을 유지하기 위해 1씩 감소시키고 0.1과 0.2사이 값이면 현재의 워터마크 세기를 그대로 유지한다. 각 프레임에 대하여 워터마크 세기의 최대값은 I 프레임에 대하여는 7.0, P, B 프레임은 I 프레임에 비하여 압축율이

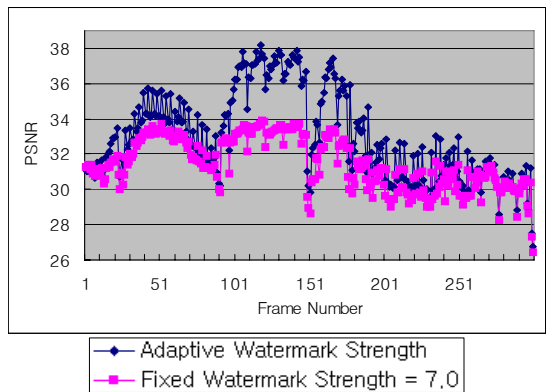


그림 4. 고정된 워터마크 세기(= 7.0)를 적용한 경우와 적응적으로 워터마크 세기를 적용한 경우의 PSNR 비교(1.5Mbps의 Pingpong 동영상)
Fig. 4 The comparison of PSNR by the fixed watermark strength(= 7.0) and the adaptive watermark strength(Pingpong video with 1.5Mbps)

높으므로 P 프레임에 대하여는 8.0, B 프레임에 대하여는 9.0으로 설정하고 최소값은 1, 최대값은 9로 한다.

그림 4에서는 부호화기내에서 움직임 보상을 위해 복호화된 프레임에서 계산한 워터마크 비트의 BER값에 따라 적응적으로 워터마크 세기를 변화시킨 경우와 고정된 세기의 워터마크를 적용한 경우의 화질 비교를 PSNR 값으로 보여준다. 각 프레임에 대한 PSNR 값의 변화는 고정된 워터마크 세기를 적용한 경우가 적응적으로 워터마크 세기를 적용한 방법에 비하여 변동폭이 작아 동영상의 특성을 잘 반영하지 못하여 화질저하를 가져온다. 또한, 평균 PSNR 값은 워터마크 세기를 적응적으로 가변시킨 경우 33.0dB, 고정된 값을 적용한 경우 31.5dB가 되어 적응적으로 워터마크 세기를 적용한 경우가 전반적으로 동영상의 화질 향상을 가져온다.

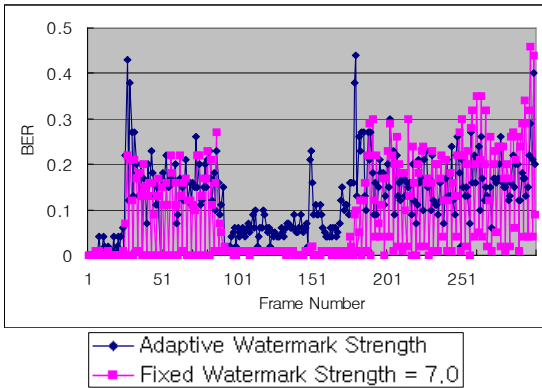


그림 5. 고정된 워터마크 세기를 적용한 경우와 적응적으로 워터마크 세기를 조정된 경우 워터마크 BER 비교(1.5Mbps의 Pingpong 동영상)

Fig. 5 The comparison of BER by the fixed watermark strength(= 7.0) and the adaptive watermark strength(Pingpong video with 1.5Mbps)

그림 5에서는 이 두가지 경우에 대한 워터마크 비트 에러율을 보여준다. Pingpong 동영상의 27, 180번째 프레임에서는 BER 값이 적응적으로 워터마크 세기를 적용한 경우가 고정된 워터마크 세기를 적용한 경우보다 훨씬 높게 계산되며 평균 BER 값도 적응적으로 가변시킨 경우 0.126, 고정된 값을 적용한 경우 0.086으로 계산된다. 그러나 허용 가능한 한계 BER 값인 0.2를 초과하는 프레임 개수가 적응적으로 가변

시킨 경우 47개, 고정된 값을 적용한 경우 52개이며 평균 PSNR 값은 적응적으로 가변시킨 경우 33.0dB, 고정된 값을 적용한 경우 31.5dB이므로 제안한 방법이 효율적으로 워터마크 삽입, 검출이 이루어짐을 보여준다.

그림 6에는 실험 영상에 대하여 원본 영상과 워터마크를 삽입한 영상의 첫 번째 프레임을 비교하여 보여 준다. 위쪽 영상은 원본 동영상의 첫 번째 프레임이며 아래 영상은 워터마크를 삽입한 첫 번째 프레임이다. 두 영상의 차이는 시각적으로 구별할 수 없다.

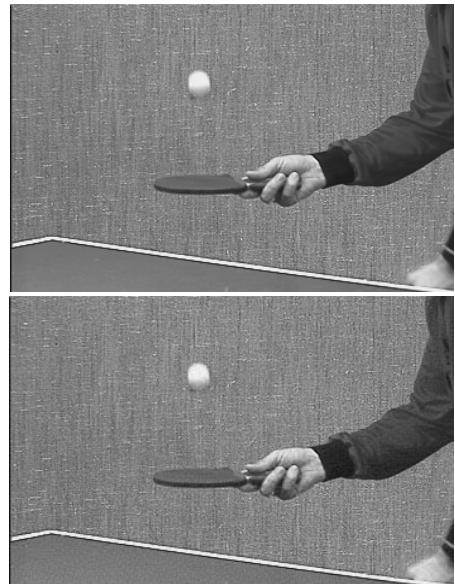


그림 6. 원본 동영상 시퀀스(위쪽)와 워터마크가 삽입된 동영상 시퀀스(아래쪽)의 첫 번째 프레임(1.5Mbps로 압축)

Fig. 6 First frame of the original video sequence(top) and the watermarked video sequence(bottom) (compressed into 1.5Mbps)

VI. 결 론

본 논문에서는 MPEG2 부호화기내에서 워터마크를 삽입하고 삽입된 워터마크의 비트 검출율에 따라 워터마크의 삽입 세기를 적응적으로 조절하는 방법을 제안한다. MPEG2 부호화내에서 움직임 보상을 위해 복호화된 프레임에서 추출한 워터마크의 BER 값에

따라 워터마크 세기를 적응적으로 조절한다. 워터마크 검출은 MPEG2 복호화기내에서 실시간으로 검출한다. 실험 결과, 각 프레임에 대한 PSNR 값의 변화는 고정된 워터마크 세기를 적용한 경우가 적응적으로 워터마크 세기를 적용한 방법에 비하여 변동폭이 작아 동영상의 특성을 잘 반영하지 못하여 화질저하를 가져온다. 또한 평균 BER 값도 적응적으로 가변시킨 경우 0.126, 고정된 값을 적용한 경우 0.086으로 계산된다. 그러나 허용 가능한 한계 BER 값인 0.2를 초과하지 않으므로 제안한 방법이 효율적으로 워터마크 삽입, 검출이 이루어짐을 보여준다. 향후 여러 가지 동영상 형식에 대한 워터마크 방법에 대한 연구가 필요하다.

pp.477-485, 2000.

저자 소개



안일영(II-young An)

1983년 한양대 전자공학과 졸업
1988년 한양대 대학원 전자공학과
졸업(공학석사)
2004년 한양대 대학원 전자계산
과 졸업(공학박사)
2009년 ~ 현재 서정대학 인터넷정보과 교수
※ 관심분야 : 영상처리, 영상압축

참고 문헌

- [1] B. T. Hannigan, A. Reed and B. Bradley, "Digital Watermarking using Improved Human Visual System Model," Proc. of SPIE In Security and Watermarking of Multimedia Contents III, vol.4321, pp.468-474, 2001.
- [2] F. Hartung, B. Girod, "Watermarking of Uncompressed and Compressed Video," Signal Processing, vol.66, no.3, pp.283-301, 1998.
- [3] R. Dugad, N. Ahuja, "A Scheme for Joint Watermarking and Compression of Video," Proc. of IEEE International Conference Image Processing, pp.80-83, 2000.
- [4] MPEG2 Video Codec, Ver.1.2 MPEG Software Simulation Group, <http://www.mpeg.org/>
- [5] J. L. Mitchell, W. B. Pennebaker, C. E. Fogg and D. LeGall, MPEG Video Compression Standard, International Thomson Publishing(ITP)
- [6] I. J. Cox, M. L. Miller and J. A. Bloom, Digital Watermarking, Morgan Kaufmann Publishers, 2001.
- [7] J. Jing and G. YongLiang, "Robust Compressed Video Watermarking," Proc of the SPIE In Security and Watermarking of Multimedia Contents II, vol.3971,