

논문 2005-42TE-4-4

장면내의 프레임간 유사성을 이용한 워터마킹 방법

(Watermarking Method using Similarity between Frames in the Scene)

안 일 영*

(I-Y Ahn)

요 약

워터마크를 삽입한 동영상의 화질을 향상시키고 다양한 공격에 강인하게 하기 위해 하나의 장면내에서 프레임간의 유사성을 이용하여 워터마크를 삽입하는 방법을 제안한다. 3개의 프레임 단위로 2 프레임씩 짹을 이루어 워터마크를 삽입·검출한다. 실험 결과, 제안한 방법은 PSNR(peak signal to noise ratio) 값이 평균 45dB 정도의 고화질을 나타내며 동영상 압축, 저주파 필터 공격과 프레임 삭제 등의 동영상 편집 공격에서도 강인함을 나타낸다.

Abstract

This paper presents a watermarking method using similarity between frames in the scene to resist to various attacks and to improve the video quality. This method inserts and detects a watermark in the frame pair every 3 frame. The experimental simulations show that the video quality is improved more than 45dB compared with previous methods and the watermark is resistant to frame drop, MPEG compression and low pass filter attacks.

Keywords : Watermarking, Video Watermarking, Scene

I. 서 론

1990년대 이후 아날로그 테이프가 디지털 디스크로 대체되고 인터넷에 연결된 개인용 컴퓨터와 DVD 플레이어가 각 가정에 보급되는 등의 디지털 산업의 눈부신 발전을 보였다^[1]. 그러나 이러한 것들은 디지털 데이터를 원본 데이터와 동일하게 쉽게 복사할 수 있고 대용량으로 신속하게 재배포될 수 있으므로 저작권 문제에 대한 많은 관심을 불러 일으켰다. 오늘날 원본 데이터의 저작권 보호 문제를 해결하기 위한 여러 방법들이 연구되어 왔으며 일부 실용화되고 있다^{[2],[3]}.

강인한 워터마킹의 목표는 삽입된 워터마크가 원 영상에서 보이지 않아야 되며 여러 가지 공격에서도 워터마크를 추출할 수 있어야 하는 것이다^{[4],[5]}. Tsang과 Au^[6]는 움직임이 거의 없는 동영상 프레임에 있어서 인

접한 프레임들간의 동일한 위치에서의 화소값이나 8×8 블록의 DCT(discrete cosine transform) 계수값이 변화가 거의 없으므로 워터마크 검출시 원 영상의 영향을 최소화할 수 있는데 착안하여 2개의 프레임마다 짹을 이루어 워터마크를 삽입하였다. 인접한 프레임이 상관관계가 매우 높고 DCT 계수 또한 거의 같으므로 원 영상의 영향을 최소화할 수 있다. 그러나 첫 번째 프레임 삭제 등의 편집에서 워터마크를 전혀 검출할 수 없으며, 움직임이 빠르고 장면 전환이 많은 광고 영상에 있어서 원 영상의 영향을 받아 삽입된 워터마크 검출 효율이 떨어진다. Haitsma와 Kalker^[3]는 프레임의 밝기 성분의 평균을 시간축을 따라 변화시키는 방법을 제안하였다. 이 방법은 각 프레임에 하나의 시퀀스 값과 대응하므로 워터마크 검출시 프레임과 워터마크 시퀀스가 동기되어야 하며 또한 일부 프레임 삭제 등과 같은 공격에 취약하다.

대부분의 워터마킹 관련 논문들에서 주어진 키(key)를 사용한 PN 시퀀스 발생기를 사용하여 워터마크를

* 정회원, (주)씨디에스
(CDS)

접수일자: 2005년10월27일, 수정완료일: 2005년12월8일

생성하고 있다^[7]. 공격자로부터 워터마크를 제거하거나 조작하는 것을 방지하기 위한 워터마킹 과정의 핵심은 비밀 키를 생성하고 워터마크 검출과정에서 프레임으로부터 이 비밀 키를 설정할 수 있는가이다^[8]. Kalker^[3]는 같은 워터마크 패턴을 일정한 길이의 시퀀스마다 반복하여 삽입하였다. 이것은 프레임 동기화 계산에 있어서 많은 계산량을 필요로 한다. 또한 상관관계가 없는 이미지 사이에서의 collusion attack과 같은 통계적인 공격에 취약하다. 이러한 공격에 대한 해결책으로써 워터마크 키를 프레임의 특징에 따라 달리 적용하는 것이다. 이것은 시간축 동기화가 가능하고 이미지에 워터마크를 철저히 보이지 않게 함으로써 워터마크 삽입시 공격자가 워터마킹된 이미지에 같은 워터마크로 위조하는 것을 곤란하게 할 수 있다^{[9],[10]}.

동영상에 대한 조작이나 공격에 대하여 동기화하는 것은 매우 복잡하다. Niu^[11] 등은 시간축을 따라 템플릿을 삽입하는 동기화 워터마킹 방법을 제안하였다. 이것은 시간 축을 따라 모든 프레임에 대하여 기하학적 변형이 매우 짧은 간격에서 동일하다고 가정한다. 시간축 템플릿은 3개의 원 픽셀 위치를 계산하고 각 워터마크 최소 세그멘트(WMS)에 정보를 삽입한다. 워터마크 검출은 시간축 템플릿을 예측 필터와 시간축을 따른 상관관계 계산으로 검출할 수 있다. 동영상 시퀀스가 움직임이 거의 없다면 시간축이나 넓은 영역 또는 변화가 심한 영역을 따라 빠른 움직임을 가진 픽셀을 선택한다.

Lin^[10]은 시간축 동기화에 대한 해결책을 제시하였다. 이 방법은 공격의 목표가 될 수 있고 워터마크의 비가시성이 감소하므로 템플릿 패턴을 사용하지 않으며 프레임간 시간적 중복성을 고려한다. 프레임의 특징에 따라 새로운 키를 생성하여 워터마크를 삽입하기 위해 사용한다. 워터마크 검출 시에서는 키를 생성하기 위해 프레임의 특징을 검출하여 생성된 키에 따라 워터마크를 검출한다. 워터마크를 검출하지 못하면 메모리 큐에 있는 다음 키를 사용한다. 성공적인 검출 이후 다음 키를 생성한다. 이 방법은 단일 공격으로서 프레임 평균화하는 것에 검출율이 상당히 저하되며 키 생성에 시간이 소요된다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 프레임간 유사성을 이용한 워터마킹 방법을 제안한다. 3개의 프레임 단위로 2 프레임씩 짹을 이루어 워터마크를 삽입·검출한다. 본 논문은 II장에서 장면 전환 프레임 검출 방법과 워터마크 삽입·검출 방법을 제안하고 III

장에서는 장면 전환 프레임 검출과 워터마크 삽입·검출에 대한 결과를 실험으로 보여준다. 워터마크 삽입에 따른 화질을 PSNR로 계산하고 워터마크 검출은 DCT 계수 상관관계 계산으로 행한다. 또한 여러 가지 공격에 따른 알고리즘의 강인성을 보여준다. 마지막으로 IV장에서는 결론을 기술한다.

II. 제안한 방법

동영상 프레임에 같은 워터마크를 독립적으로 삽입하였을 경우, 공격자는 여러 개의 워터마킹된 프레임의 평균 값을 계산하고 이 값을 워터마킹된 프레임에서 빼면 워터마크 W 를 추출할 수 있다. 즉, 워터마크가 삽입된 각각의 프레임이 F_1+W , F_2+W, \dots, F_k+W 라고 하면 워터마크와 각 프레임간의 상관관계가 없으므로 평균화 과정의 결과는 워터마크 W 가 된다. 공격자는 이미지에서 워터마크 W 를 추출할 수 있다. 이 공격에 대한 해결책은 각 프레임마다 다른 키를 사용하거나 각 프레임에 다른 위치에 워터마크를 삽입하는 것이다. 또한 Tsang과 Au^[6]이 제안한 방법은 프레임 편집 등의 시간축 공격에 취약하며 장면 전환이 심한 광고 영상 등에 비효율적이다. 따라서 본 논문에서는 하나의 장면 내에서의 프레임간 유사성을 이용하고 프레임 삭제, MPEG 압축 및 저주파 필터 공격에 강인한 워터마킹 방법을 제안한다.

1. 장면 전환점 검출

비디오는 몇 개의 샷(shot)으로 나눌 수 있다. 샷은 비디오 프레임 시퀀스가 시간적, 공간적으로 유사한 단위이다^[12]. 2개의 샷 사이의 경계는 카메라 브레이크(camera break) 또는 장면 전환점(cut points)라고 하는데 이러한 장면 전환점을 검출하므로써 비디오 분석, 인덱싱(indexing), 비디오 검색 등을 손쉽게 할 수 있으며 장면 전환점의 종류는 컷(cut), 와이프(wipe), 디졸브(dissolve) 등이 있다.

본 논문에서는 장면 검출 계산을 간단히 하기 위하여 컷만 존재하는 동영상을 대상으로 하며 프레임의 중앙 부분의 픽셀 값의 평균을 비교하여 차이가 가장 큰 프레임에서 장면 전환이 있다고 판단한다. 그 식은 다음과 같다.

$$D(z, t) = |f(z, t+1) - f(z, t)|/dt \quad (1)$$

2. 워터마크 삽입

그림 1과 같이 입력되는 압축되지 않은 동영상에서 f_i, f_{i+1}, f_{i+2} ($i=0, 1, \dots, n$) 3프레임씩 읽어 f_i 와 f_{i+1} , f_{i+1} 와 f_{i+2} 프레임에 대하여 두 프레임씩 짹을 이루어 워터마크를 삽입한다. 삽입하는 위치는 프레임 삭제 등의 동영상 편집에 강인하게 하기 위하여 각 프레임의 16×16 블록의 홀수번째와 짹수번째로 나누어 설정한다. 즉 f_i, f_{i+1} 에는 홀수번째의 블록에 워터마크를 삽입하고 f_{i+1}, f_{i+2} 블록에는 짹수번째의 블록에 워터마크를 삽입한다.

삽입할 워터마크는 2진 시퀀스를 사용하여 주파수 확산 방식을 이용하여 삽입한다^{[15],[16]}. 즉, 중간대역에 워터마크가 삽입된 비디오 신호 v'_i 는

$$v'_i = v_i + ab_i p_i \quad (2)$$

이 된다. 여기서 v_i 는 원 영상, b_i 는 확산되는 워터마크, p_i 는 PN 시퀀스를 의미한다. 2개의 프레임마다 짹을 이루어 워터마크를 삽입하는데 각 프레임은 8×8 블록으로 나누고 DCT한다. 시각적으로 저주파 영역에서의 왜곡이 고주파 영역에서 보다 잘 나타나고 고주파 영역은 압축이나 저주파 필터에 쉽게 워터마크가 손상되므로 16개의 중간대역에 워터마크를 삽입한다. 각각의 워터마크 비트 $w_i = a \cdot b_i \cdot p_i$ 를 블록의 중간대역 주파수에 더하고 음수의 워터마크를 삽입 짹의 다른 프레임의 같은 위치의 블록에 더한다.

워터마크의 강인성을 높이기 위해 인간의 시각이 저주파 영역에서보다 고주파 영역에서 화질의 왜곡에 대한 민감도가 떨어지는 특성을 이용한 공간적 마스킹 기법, 느리게 재생되는 동영상보다는 빠르게 변하는 동영상에 있어서의 민감도가 떨어지는 시간적 마스킹 기법을 사용할 수 있다. 본 논문에서는 MPEG 압축에 강인한 공간적 마스킹 기법을 사용한다. 이미지의 변화 정도를 계산한 Chang^[14]이 제안한 식(3)을 사용한다.

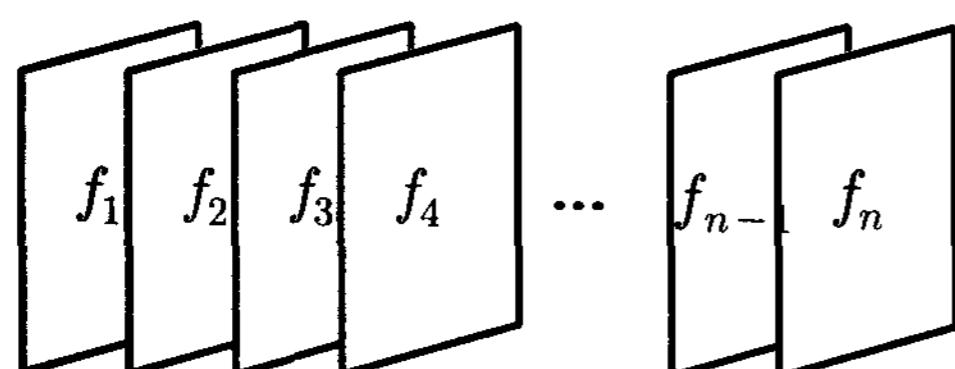


그림 1. 동영상 시퀀스

Fig. 1. Video Sequence.

$$c(f) = \sum_{i=0}^{L-1} h(i) - \max_i h(i) \quad (3)$$

여기서 $h(i)$ 는 gray level i 에서의 픽셀 수이다. $c(f)=0$ 이면 이미지는 gray level의 변화가 없으며 큰 값을 가질수록 이미지가 복잡하게 구성되어 있다. 8×8 블록에서 복잡도를 계산하여 미리 정한 임계값보다 크면 워터마크 크기를 증가시킨다.

3. 워터마크 검출

워터마크 검출시 삽입 짹의 첫 번째 프레임의 블록에서 다음 프레임의 같은 위치의 블록을 빼면 워터마크 크기는 2배가 된다. 인접한 프레임이 상관관계가 매우 높고 DCT 계수 또한 거의 같으므로 삽입 짹의 뱃셈은 상관관계 계산 시, 원 영상의 방해를 최소화할 수 있다. 따라서 워터마크 크기가 2배가 되어 원 영상으로부터 방해가 적으므로 BER(bit error rate)이 줄어들며 같은 BER을 가진다면 화질이 향상된다.

$$[(f_i + w_i) - (f_{i+1} - w_i)] \cdot w_i = 2|w_i|^2 \quad (4)$$

여기서 f_i, f_{i+1} 은 짹을 이루는 프레임이며 w_i 는 삽입할 워터마크이다. 추출된 DCT 계수와 PN 시퀀스와 상관관계 계산하여 그 값이 양수이면 삽입된 비트는 1, 음수이면 -1이 된다.

III. 실험 및 고찰

해상도 352×240 , 프레임 수 300개의 Pingpong 동영상과 210개의 Football 동영상을 사용하여 실험한다. 먼저 원 영상에서 장면 전환 프레임을 검출하고, 하나의 장면 단위로 워터마크 삽입 · 검출을 수행한다.

Pingpong 동영상에 대한 장면 전환 프레임 검출 실험 결과는 그림 2와 같다. 위 그림은 동영상의 각 프레임의 중앙 부분의 단면이며 아래 그림은 식 (1)을 사용하여 계산한 두 프레임간의 차이다. Pingpong 동영상의 88, 147번 프레임에서 장면전환이 일어나는 것을 보여준다. 또한 Football 동영상인 경우는 후반부에 빠른 카메라 워크가 있으며 장면전환이 없다.

식 (3)에서 계산한 프레임의 공간적 복잡도에 따라 워터마크 세기를 가변시킨다. 실험적으로 미리 정한 임계값인 복잡도 $c(f)$ 가 60 이상이면 워터마크 세기 a 를 4

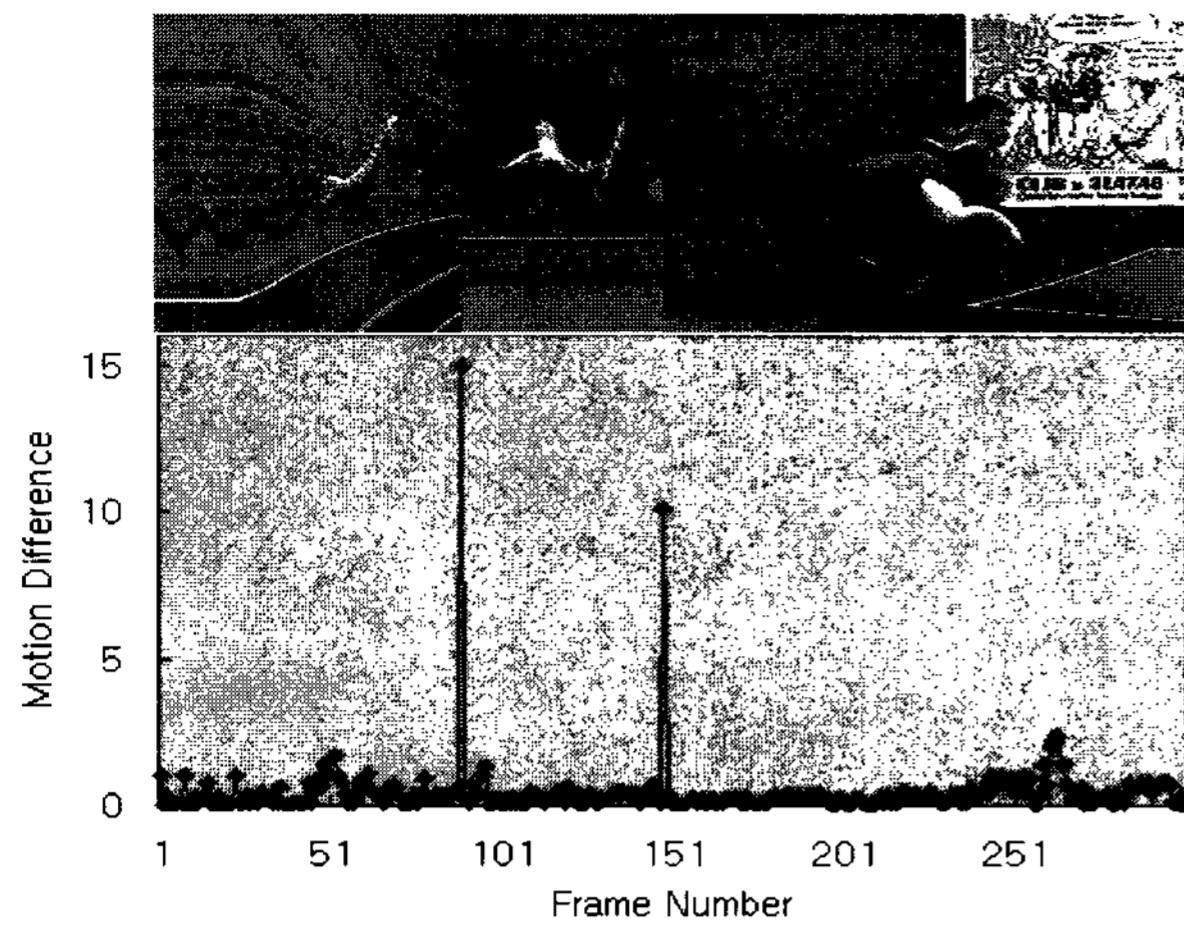


그림 2. 동영상 프레임의 시간축 단면(위)과 프레임간 차이(아래)

Fig. 2. Temporal slices of video frames and motion differences.

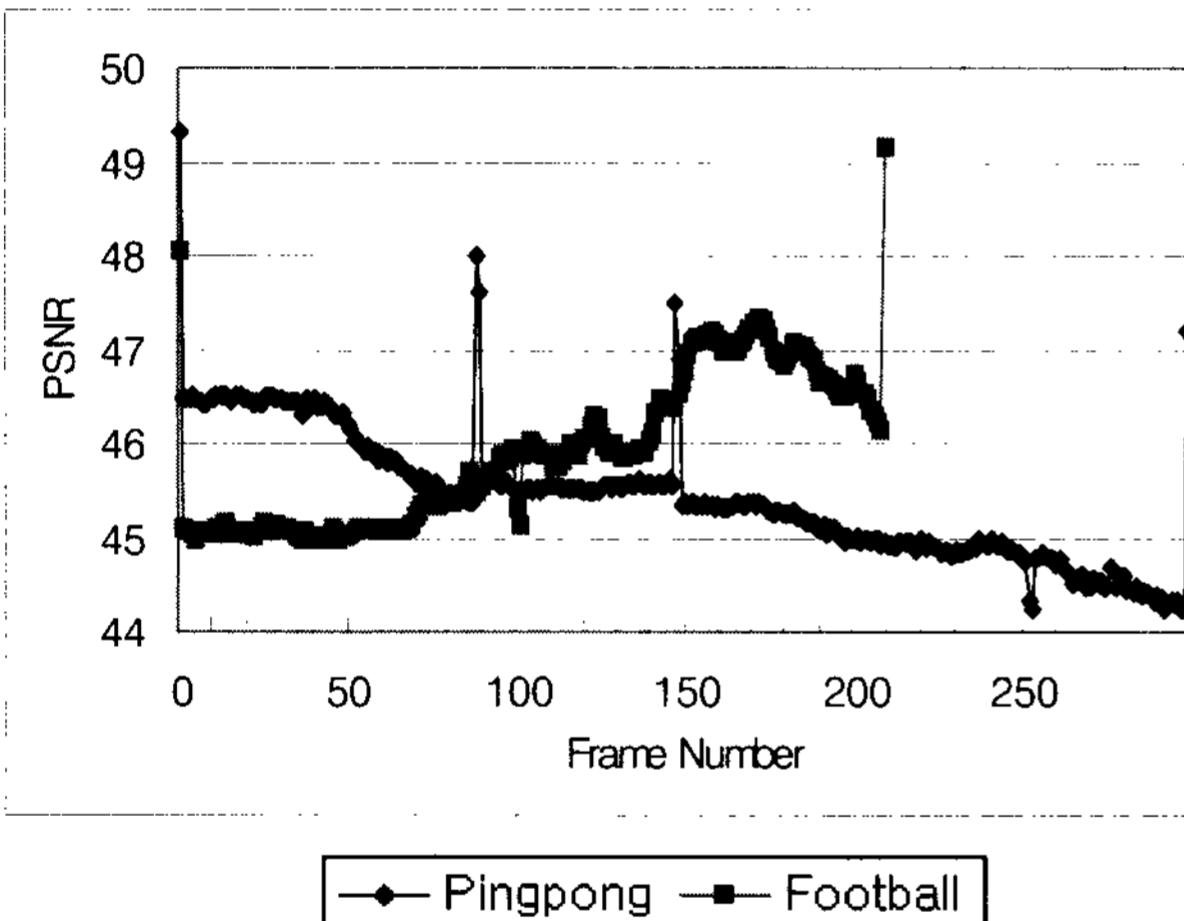


그림 3. PSNR

Fig. 3. PSNR.

로 증가시키고 60 미만이면 2로 한다. 그림 3은 워터마크가 삽입된 프레임에서 계산한 PSNR 값을 나타낸다. Pingpong과 Football 동영상인 경우 PSNR 값은 각각 평균 45.56dB와 45.9dB이며 각 동영상의 처음과 끝 프레임, Pingpong 동영상인 경우 장면 전환 프레임에서 높은 PSNR 값을 보인다. 이는 해당 프레임에서는 전후 프레임과 짹을 이루지 않기 때문에 하나의 프레임에 대하여 모든 블록에 워터마크를 삽입하지 않고 전체 블록 개수÷2 만큼 워터마크를 삽입하기 때문이다.

워터마크를 삽입한 동영상을 1.5Mbps로 압축한 동영상에서 검출한 워터마크의 BER 값은 그림 4에 보여준다. Pingpong 동영상과 Football 동영상에 대하여 평균 BER 값은 각각 0.1과 0.08을 나타내며 일반적으로 워터마크 검출율에 대한 허용 가능한 한계값을 0.2로 볼 때

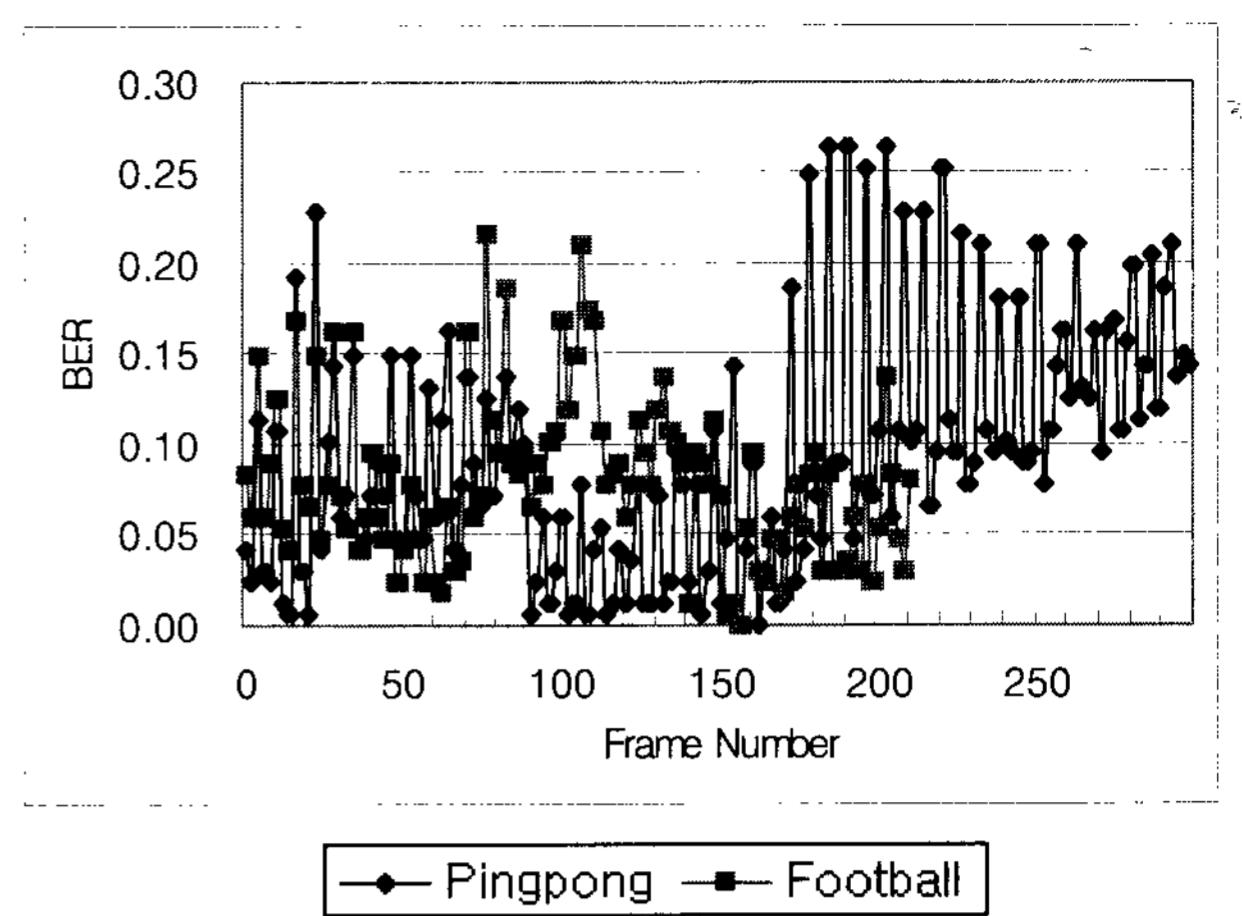


그림 4. 1.5Mbps로 압축한 동영상에서 검출한 워터마크의 BER

Fig. 4. BER of a detected watermark in the MPEG video of 1.5Mbps.

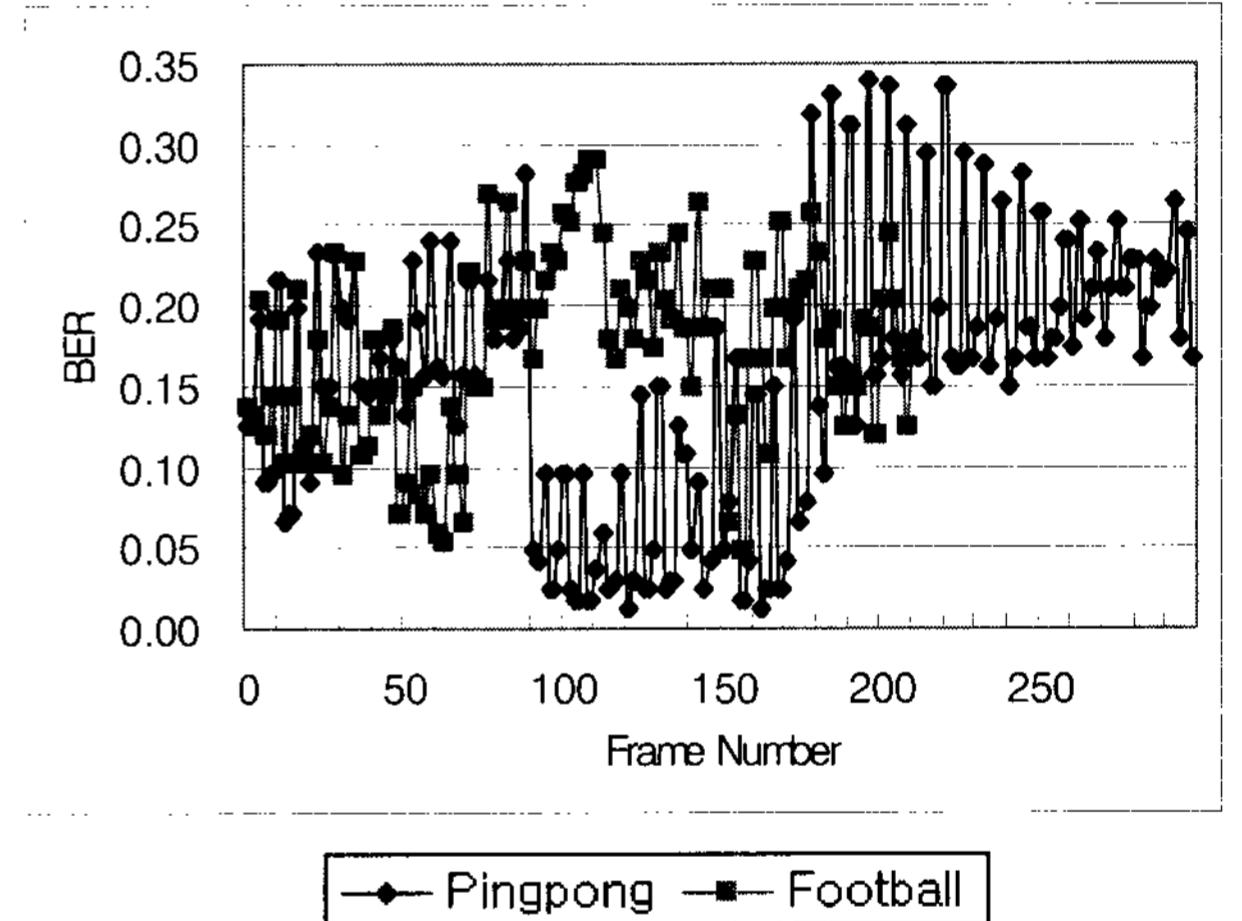


그림 5. 저주파 필터 공격이 가해진 동영상에서 검출한 워터마크 BER

Fig. 5. BER of a detected watermark in the low pass filter attack.

이 한계값을 초과하는 프레임의 개수는 Pingpong 동영상일 경우 30개, Football 동영상일 경우 4개가 되어 제안한 방법이 MPEG 압축에도 워터마크를 잘 검출함을 보여준다.

워터마크를 삽입하여 1.5Mbps로 압축한 동영상을 복호화하여 각 프레임에 저주파 필터 공격을 가한 경우에 대하여 검출한 워터마크의 BER 값은 그림 5에 보여준다. Pingpong 동영상과 Football 동영상에 대하여 평균 BER 값은 각각 0.16과 0.18을 나타낸다.

워터마크를 삽입하여 1.5Mbps로 압축한 동영상을 복호화하여 11~200번 프레임만 남긴 상태에서 검출한 워터마크의 BER 값은 그림 6에 보여준다. Pingpong 동영상과 Football 동영상에 대하여 모두 양호한 BER 값을

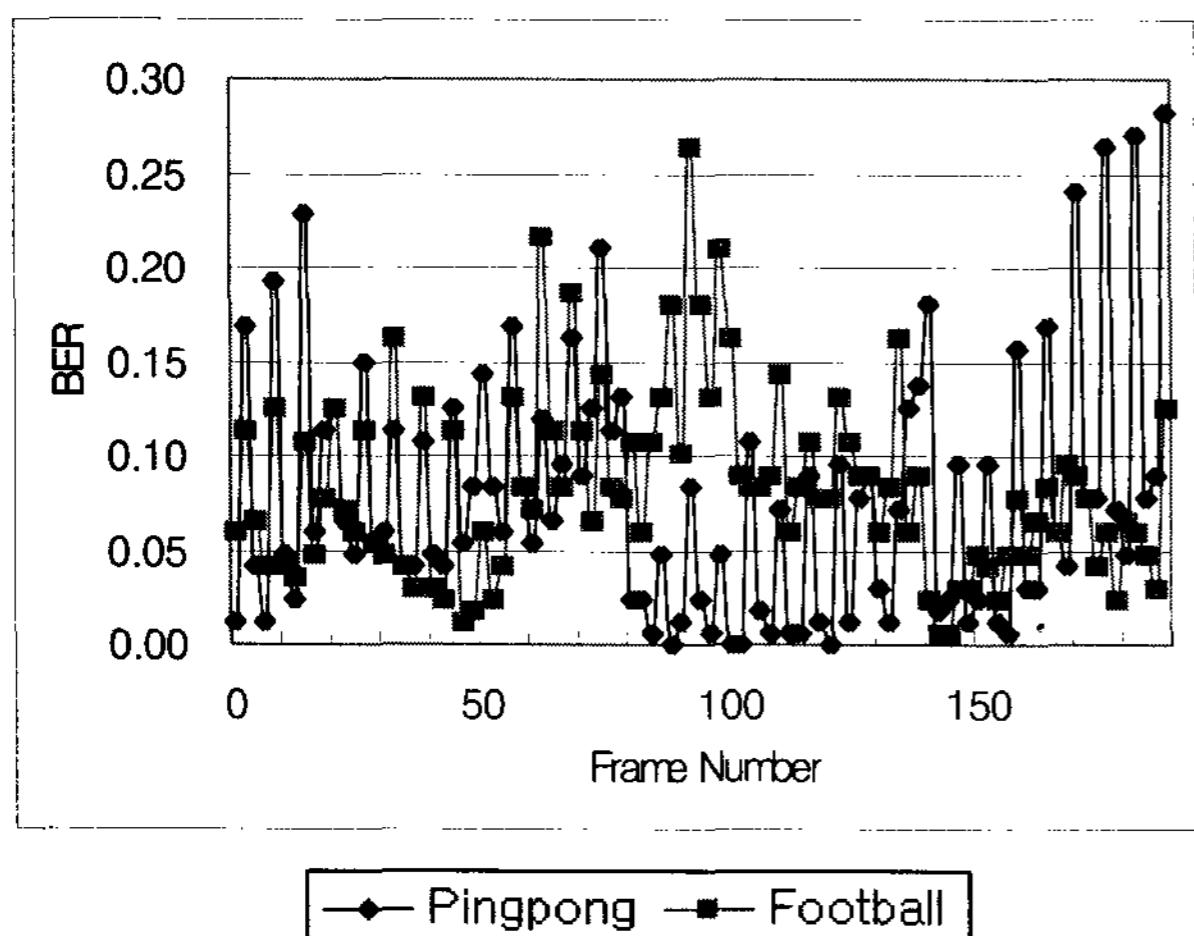


그림 6. 프레임 삭제 공격이 가해진 동영상에서 검출한 워터마크 BER

Fig. 6. BER of a detected watermark in the frame skip attack.

보인다.

IV. 결 론

본 논문에서는 워터마크를 삽입한 동영상의 화질을 향상시키고 여러 가지 다양한 공격에 강인하게 하기 위해 하나의 장면내에서 인접한 프레임간의 유사성을 이용한 워터마킹 방법을 제안한다. 3개의 프레임 단위로 2 프레임씩 짹을 이루어 워터마크를 삽입·검출한다. 제안한 방법은 PSNR 값이 평균 45dB 정도의 고화질을 나타내며 동영상 압축과 저주파 필터 공격에서도 워터마크 검출율은 워터마크 검출율에 대한 허용 가능한 한 계값인 0.2이하의 값을 나타낸다. 또한 프레임 삭제 등의 동영상 편집 공격에서도 우수한 워터마크 검출율을 보인다. 향후 연구 방향은 동영상의 움직임이 큰 영역에 대하여 워터마크 검출율을 높이는 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] J. Haitsma and T. Kalker, "A Watermarking

Scheme for Digital Cinema", *Proc. of IEEE ICIP*, pp.487-489, 2001.

- [4] 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.
- [5] F. Hartung, B. Girod, "Watermarking of Uncompressed and Compressed Video", *Signal Processing* 66, pp.283-301, 1998.
- [6] K. F. Tsang, O. C. Au, "Robust and High Quality Video Watermarking with the use of Temporal Redundancy", *Proc. of SPIE* vol.4314, pp.55-63, 2001.
- [7] S-J Weng, T-T Lu and P-C Chang, "Key-based Watermarking System on MPEG2", *Proc. of SPIE* vol.5020, pp.516-525, 2003.
- [8] W. Macy, M. Holliman, M. M. Yeung, "Robust Frame-dependent Video Watermarking", *Proc. of the SPIE In Security and Multimedia Contents II*, vol.3971, pp.186-197, 2000.
- [9] K. Su, D. Kunder and D. Hatzinakos, "A Novel Approach to Collusion-resistant Video Watermarking", *Proc. of the SPIE In Security and Multimedia Contents V*, vol.5020, 2003.
- [10] E. T. Lin and E. J. Delp, "Temporal Synchronization in Video Watermarking", *Proc. of the SPIE In Security and Multimedia Contents IV*, vol.4675, pp.478-490, 2002.
- [11] X. Niu, M. Schmucker and C. Busch, "Video Watermarking Resisting to Rotation, Scaling and Translation Video", *Proc. of the SPIE In Security and Multimedia Contents IV*, pp.512-519, 2002.
- [12] C. W. Ngo, T. C. Pong and R. T. Chin, "Video Partitioning by Temporal Slice Coherency", *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, vol.11 no.8 pp.941-953, August 2001.
- [13] 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.
- [14] S-K Chang, "Principles of Pictorial Information Systems Design", Prentice-Hall, pp.61-71, 1989.

저자소개



안 일 영(정회원)

1983년 2월 한양대학교 전자공학과 학사

1988년 8월 한양대학교 전자공학과 석사

2004년 2월 한양대학교 전자계산학과 박사

<주관심분야: 신호처리, 워터마킹, 영상압축>