

# MPEG 압축비디오에 대한 워터마킹 성능분석

이미애\*, 박지환\*\*

부경대학교 교육대학원 전산교육전공\*

부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부\*\*

## Performance Analysis of Watermarking for MPEG Compressed Video

Mi Ae Lee\*, Ji Hwan Park\*\*

Dept. of Computer Education, Pukyong Nat'l University\*

Dept. of Electronic, Computer and Telecommunication Engineering, Pukyong Nat'l University\*\*

### 요 약

본 논문에서는 MPEG 비디오에 대한 워터마킹 알고리즘에 대하여 알아보하고자 한다. 디지털 워터마크는 저작권 보호를 위하여 개발된 기법으로 디지털 데이터에 보이지 않도록 저작권 정보를 삽입하는 방법이다. 따라서 디지털 동영상에 대해서도 지적 재산권 보호가 가능하며, MPEG의 비트 스트림에 삽입하는 워터마크에 대해서 다양한 방법으로 성능분석을 하고자 한다

### 1. 서론

최근 컴퓨터 및 네트워크의 보급과 함께 인터넷의 급속한 발전으로 각종 디지털 영상 및 멀티미디어 제작물의 불법적인 복제가 쉽게 이루어지고 있다. 따라서 이런 멀티미디어 데이터의 불법적인 복제를 방지하기 위한 저작권 보호기법으로 워터마킹 기술이 널리 사용되고 있다. 디지털 워터마킹은 이러한 지적 재산권의 보호를 위하여 디지털 데이터에 보이지 않게 제작자의 저작권 정보를 삽입하는 방법으로 비소유권자의 불법적인 조작을 막고, 필요할 경우 소유권 인증을 위한 방법을 제공하여 준다.

디지털 워터마킹은 보통 문서, 정지영상, 오디오 등 모든 종류의 디지털 데이터에 대하여 연구가 이루어지고 있으며, 본 논문에서는 특히 MPEG 비디오에 삽입되는 워터마크에 대해서 다양한 영상을 사용

하여 성능을 분석하고자 한다

일반적으로 동영상 데이터에 삽입되는 워터마크는 다음과 같은 특징을 가져야 한다. 첫째, 비가시성으로 삽입되는 워터마크는 인간의 시각으로는 인지할 수 없어야 한다. 둘째, 강인성으로 삽입되는 워터마크는 외부의 공격에 쉽게 제거되지 않아야 한다. 셋째, 워터마크의 삽입 및 추출 알고리즘이 복잡하지 않아야 한다. 넷째, 삽입되는 워터마크가 비디오의 Bit-rate를 증가시키지 않아야 한다. 만약에 Bit-rate가 증가하게 되면, 디코더 버퍼(buffer)의 용량이 증가되어야 하고, 또한 비디오의 화질에 왜곡이 생길 가능성이 높다. 마지막으로, 삽입되는 워터마크는 비디오의 압축과 동시에 이루어져야 한다. 즉 실시간이 유지되어야 한다[1].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저, 2장에서는

MPEG 파일의 구조에 대해서 알아보고, 3장에서는 워터마크의 삽입 및 추출 알고리즘에 대해서 간단히 기술할 것이다. 4장에서는 3장에서 기술한 알고리즘을 모의 실험을 통하여 다양한 영상과 다양한 방법을 이용하여 알고리즘의 성능을 분석하고자 한다. 5장에서는 결론과 함께 향후의 연구과제를 제시한다.

## 2. MPEG Video

보통 대용량 비디오 데이터는 저장과 처리의 효율성을 위하여 압축된 형태로 사용되는데, 현재 가장 많이 쓰이는 압축방식이 MPEG이다. MPEG은 Motion Picture Expert Group의 약자로서 20세기에서 21세기에 걸쳐 컴퓨터, 통신 등 멀티미디어 분야에서 공통으로 사용하기 위하여 디지털 동영상 부호화, 음향 부호화에 대한 국제 표준으로 제정되었다.

MPEG은 크게 두 가지의 방법으로 압축이 이루어진다. 첫째, 인트라(Intra) 프레임 방식으로 기본 프레임은 I-프레임이며 JPEG에서와 유사한 방식으로 압축이 이루어진다. 이 프레임은 앞 또는 뒤의 다른 프레임과는 관계없이 독립적으로 하나의 영상으로 부호화되며, P와 B프레임의 참조 대상이 된다. 둘째, 인터(Inter) 방식의 기본 프레임은 P-프레임과 B-프레임으로 이것은 이전 프레임을 참조하는 예측 프레임이다. 즉, 움직임이 있는 경우 앞 화면에 있는 물체 자체에 변화가 없이 좌우나 상하로 이동하는 경우가 대부분이므로 이전의 화면과 현재의 화면의 차이가 매우 적은 것을 이용하여 차이 값만을 부호화 하는 것이다. 두 프레임의 차이를 매크로 블록, 8\*8블록 DCT, 양자화, 가변길이 부호화를 거치면서 부호화된다. 실제 MPEG 파일은 첫 번째 방법보다는 두 번째 방법에서 압축이 많이 이루어 진다[4].

MPEG 파일은 다음과 같은 계층구조를 가진다. 가장 상위의 Sequence계층과 랜덤 액세스를 위한 기본 단위인 GOP(Group Of Picture) 계층, 픽처(Picture) 계층, 슬라이스(Slice) 계층, 움직임 보상의 단위인 매크로(Macro) 계층, 그리고 DCT 단위인 블록(Block)계층으로 구성된다.

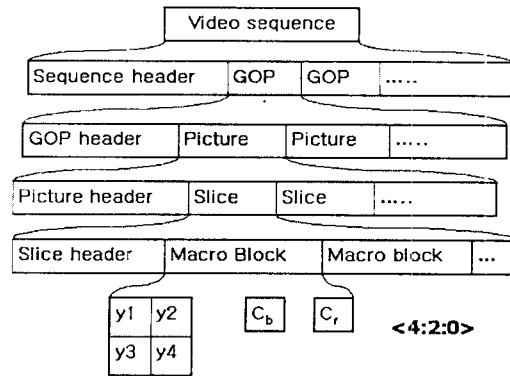


그림1. MPEG 파일의 계층구조

MPEG 방식으로 압축된 동영상은 다음과 같은 구조를 가진다. 즉, 하나의 GOP 단위에서는 I-프레임, P-프레임과 B-프레임이 연속해서 나타난다. I-프레임에서부터 다음의 I-프레임까지를 GOP라 부른다. MPEG에서는 GOP내의 프레임의 개수를 N이라고 하고 I와 P 혹은 P와 P사이의 프레임의 개수를 M이라고 칭한다. 아래 그림은 GOP의 구조를 보여준다[4].

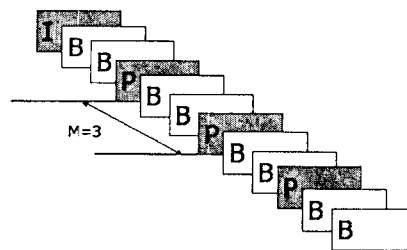


그림2. GOP의 구조(N=12, M=3)

동영상에 워터마크를 삽입하기 위해서는 MPEG으로 인코딩 할 때 실시간(Real-Time)으로 워터마크를 삽입하거나 추출해야 한다[2][3]. 아래 그림은 MPEG 인코딩 안에서 워터마크가 삽입되는 위치를 그림으로 나타내었다. 따라서, 원 비디오 영상은 MPEG으로 압축이 됨과 동시에 워터마킹(watermarking) 또는 라벨링(Labeling)이 되는 것이다

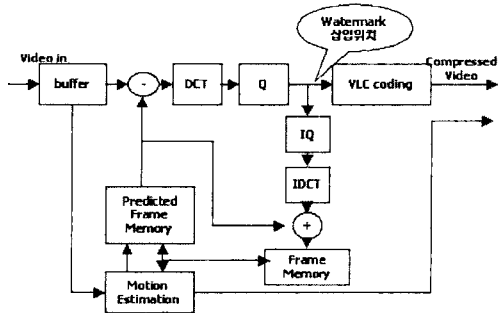


그림3. MPEG압축과정 중 삽입되는 워터마크 위치

### 3. 워터마크의 삽입 및 추출

MPEG으로 압축되는 비디오에 워터마크를 실시간으로 삽입하기 위해서는, DCT와 IDCT 또는 모션 벡터(motion-vector)와 같은 복잡한 연산을 피하는 곳에 워터마크를 삽입하는 것이 효율적이다. 따라서 워터마크는 block-layer에 해당하는 최하위 계층에서 삽입되고 추출이 된다.

삽입되는 워터마크  $L_i$  ( $i=0,1,2,.., l-1$ )는 비트 스트림으로 구성되며,  $L_i$ 가 가질 수 있는 값은 0 또는 1이다. MPEG-2 Standard의 B.14 또는 B.15 테이블에는 수 많은 VLC(Variable Length Code)가 정의되어 있다. 이런 수 많은 VLC 중에는 특히 다음의 세 가지 조건을 만족하는 VLC가 있다.

run length가 같다.

level은 1만큼 차이가 난다.

코드의 길이가 같다.

특히 이를  $lc$ -VLC(label-bit-carrying-VLC)라 부르는 기로 한다. 아래 표1은  $lc$ -VLC의 일례를 보여주고 있다[1][5].

워터마크를 삽입할 때 DC성분은 제외되고, AC성분에만 워터마크를 삽입한다. 워터마크를 삽입할 때는 먼저 각각의 매크로 블록(macro block)에서  $lc$ -VLC가 있는지를 검사한다. 만약  $lc$ -VLC를 만나면, 워터마크의 비트 스트림인  $L_i$ 와 level의 LSB를 비교 해서 같으면, 원래 VLC를 그대로 넘기고, 만약에 같지 않으면, VLC 대신에  $lc$ -VLC를 넘긴다.

표1.  $lc$ -VLC의 일예 (B.14 table)

VLC code (size)	Run	Level	LSB of Level
0010 0110 (8)	0	5	1
0010 0001 (8)	0	6	0
0000 0001 1101 (12)	0	8	0
0000 0001 1000 (12)	0	9	1
0000 0000 1101 0 (13)	0	12	0
0000 0000 1100 1 (13)	0	13	1
0000 0000 0011 101 (15)	1	10	0
0000 0000 0011 100 (15)	1	11	1
0000 0000 0001 0011 (16)	1	15	1
0000 0000 0001 0010 (16)	1	16	0

삽입하고자 하는 워터마크를 다 삽입할 때까지 루틴을 반복한다.

워터마크를 추출하고자 할 때는 먼저, 워터마크가 삽입된 비디오의 매크로 블록에서  $lc$ -VLC가 있는지를 검사한다. 만약  $lc$ -VLC가 나타나면 이  $lc$ -VLC의 level의 LSB값이 바로 워터마크가 되며, 이 루틴은  $lc$ -VLC가 나타나지 않을 때까지 반복된다. 또한 추출 시 워터마크가 삽입되지 않은 원 비디오 영상 없이 바로 워터마크를 추출할 수 있다 [1][5]. 워터마크의 삽입 및 추출 알고리즘을 간단하게 그림4로 표시하였다.

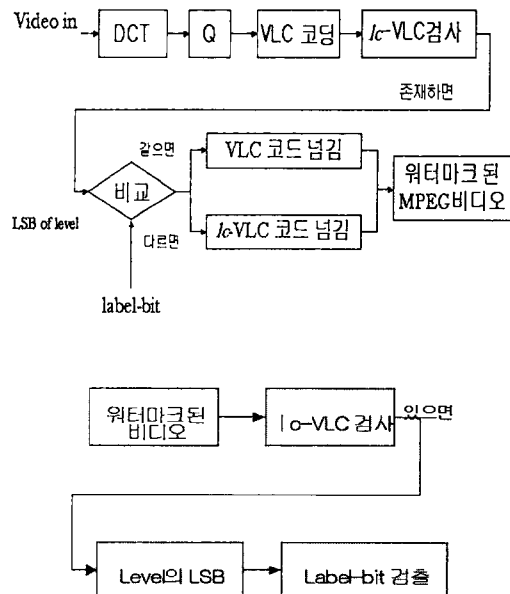


그림4. 워터마크 삽입과 추출 블록도

#### 4. 모의실험 및 성능분석

워터마크로 삽입되는 라벨의 bit-rate는 비디오의  $Ic$ -VLCs의 개수에 달려 있으며, 워터마크를 삽입하기 전에 먼저 그 개수를 알 수 없다. 왜냐하면, 원 비디오의 종류에 따라  $Ic$ -VLCs의 개수가 달라지기 때문이다. 따라서 모의실험에서는 실험영상으로 사용되는 영상의  $Ic$ -VLCs의 개수만큼 워터마크를 삽입하였다. 즉, 삽입할 수 있는 라벨의 비트 스트림을 최대로 삽입하는 것이다.

본 논문에서는 세 가지 실험영상을 사용하였다. tennis, flower-garden, mobile의 150개 프레임을 각각 코딩하여 MPEG 파일로 만들었다. Visual C++ 6.0 환경에서 모의실험 하였으며, 352 by 240 pixels, GOP M=12, N=30이며 25 frames/second로 코딩 하였다. 실험영상은 1.4, 2.0, 4.0 Mbit/s로 코딩하여 각각의 최대 라벨의 bit-rate를 계산하였다.

표2. Maximum Label Bit-rate(tennis-150frame)

Video bit-rate	Number of $Ic$ -VLC	Max. of label bit-rate
1.4 M bit/s	51,359	8.5 k bit/s
2.0 M bit/s	115,712	19.6 k bit/s
4.0 M bit/s	439,941	73.3 k bit/s

표3. Maximum Label Bit-rate(flower-150frame)

Video bit-rate	Number of $Ic$ -VLC	Max. of label bit-rate
1.4 M bit/s	22,711	3.83 k bit/s
2.0 M bit/s	56,052	9.33 k bit/s
4.0 M bit/s	294,008	49.0 k bit/s

표4. Maximum Label Bit-rate(mobile-150frame)

Video bit-rate	Number of $Ic$ -VLC	Max. of label bit-rate
1.4 M bit/s	23,427	3.9 k bit/s
2.0 M bit/s	52,257	8.7 k bit/s
4.0 M bit/s	267,230	44.5 k bit/s

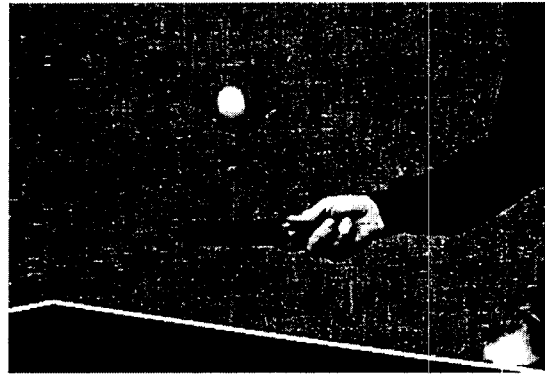


그림5. 워터마크를 삽입한 I-frame(4.0 Mbit/s)

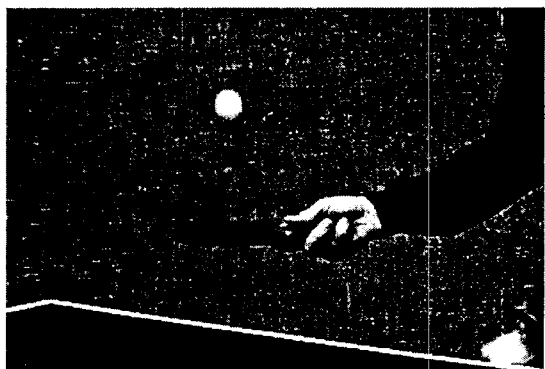
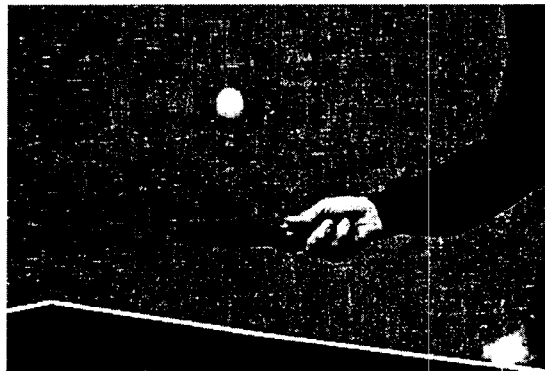


그림6. 워터마크 삽입하지 않은 I-frame과 워터마크 삽입한 I-frame의 AND 영상 (4.0 Mbit/s)

그림 5.6 은 워터마크를 삽입한 I-frame과 워터마크를 삽입하지 않은 I-frame의 AND 영상을 나타내고 있다. AND 영상에서 볼 수 있듯이, 대부분 워터마크는 에지와 배경부분으로 삽입되어 있는 것을 알 수

있다. 또한 그림6에서도 볼 수 있듯이 bit-rate가 높아질수록 삽입된 워터마크의 수가 많다는 것을 알 수 있다. 또한 삽입된 워터마크는 그 수가 많아도 눈에 띄게 화질의 저하를 가져오지 않는다는 것을 알 수 있다. 표5는 워터마크를 삽입한 영상(4.0 Mbit/s)의 1초 단위의 평균 PSNR 값을 보여주고 있다. 평균값이 대체로 35dB 이상의 값을 가지므로 본 알고리즘은 대체로 만족할 만한 수준의 화질을 나타낸다고 말할 수 있다.

표5. 시간대별 프레임들의 평균 PSNR

시간대(초)		1	2	3
평균 PSNR(dB)	tennis	45.87	49.64	47.08
	flower	36.20	36.41	36.42
	mobile	35.20	35.96	35.84
시간대(초)		4	5	6
평균 PSNR(dB)	tennis	47.11	50.36	50.2
	flower	36.57	35.39	36.28
	mobile	34.92	35.70	37.01

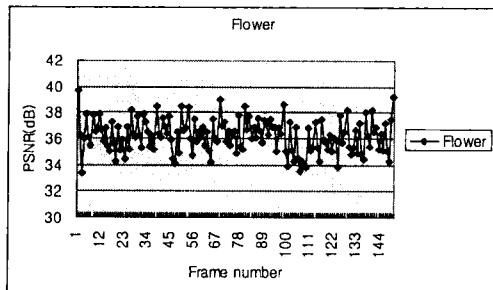


그림7. 각 프레임 별 PSNR (flower-garden)

그림7은 flower 비디오에 워터마크를 삽입하였을 때의 각 프레임별로 PSNR을 보여주고 있다. 본 논문에서 성능 분석한 기법은 이미 코딩 된 MPEG 비트열도 디코딩 하여 적용가능하며 수행시간이 빠르기 때문에 실시간에 작업을 수행할 수 있다.

### 5. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 MPEG으로 압축된 비디오 영상의 저작권 보호를 위한 워터마크 알고리즘에 대해 성능분

석을 하였다. 실험결과, 전 프레임에 즉 I-프레임과 P, B-프레임에 모두 워터마크가 삽입되며 워터마크가 삽입된 영상과 삽입되지 않은 영상을 서로 비교해 보았을 때 화질의 차이가 거의 없었다. 또한 삽입된 워터마크를 추출한 결과 100% 추출이 되었다.

따라서, 본 논문에서 제시하고 있는 삽입 추출 알고리즘은 간단하고 복잡한 계산을 요구하지 않으므로 수행시간이 대체로 빠르다. 그러나, 워터마킹된 MPEG 스트림을 디코딩하여, 다시 워터마킹을 하였을 때 원래 삽입된 워터마크는 쉽게 파괴가 되는 단점을 가지고 있다. 그러나 알고리즘이 단순하고 복잡한 계산식을 요구하지 않기 때문에, 경제적인 응용에는 적용 가능한 방법이라고 생각된다.

향후 연구과제로는 다양한 공격에도 견고하면서, 빠른 수행능력과 아울러 실시간 실행 가능한 알고리즘에 대한 연구가 더 필요할 것이다.

### [참고문헌]

- [1]Gerrit C. Langelaar, Reginald L. Legendijk, and Jan Biemond "Real-Time Labeling of MPEG-2 Compressed Video" Journal of Visual Communication and Image Representation Vol.9, No.4 December, pp256-270, 1998.
- [2]Frank Hartung, Bernd Girod "Watermarking of Uncompressed and Compressed Video", Signal Processing, Vol.66, No.3, pp283-301, May 1998.
- [3]이형훈, 배창석, 최재훈, 최윤식 "MPEG 비디오를 위한 하이브리드 워터마킹 알고리즘", 한국정보처리학회 논문지 제6권 11호 1999년 11월.
- [4]이호석, 김준기 "알기 쉬운 MPEG-2 소스코드 해설" 홍릉과학출판사, 2001.
- [5]G.Langelaar, "Real-time Watermarking Technique for Compressed Video Data", PH.D. Thesis of Delft Univ. of Technology, The Netherlands, February 2000.