

MPEG-2 DCT 계수에 워터마크를 삽입하는데 따른 화질저하에 관한 연구

윤철환*, 정종수*, 최광돈*, 신승중*, 정광호*, 류대현*

*한세대학교 IT 학부

e-mail: {chyoon, tony, kdchoi, expersin, khjung, dhryu,}@hansei.ac.kr

A Study on Image Quality Degradation by Watermarks Insertion in MPEG-2 DCT Coefficients

Chul-hwan Yoon*, Jong-soo Jung*, Kwang-Don Choi*, Seung-jung Sin*,
Kwang-ho Jung*, Dae-hyun Ryu*

*Dept. of Information & Telecommunication, Hansei University

요 약

동영상에서 워터마크를 삽입 하는 경우 압축 영역에서 수행하는 것이 유리할 경우가 있다. 그러나, 압축 영역에서의 워터마크 삽입은 심각한 화질 저하를 가져올 수 있다. 본 논문에서는 MPEG-2 압축 방식에서 DCT 계수에 워터마크를 삽입하는 경우의 화질 저하에 대한 실험 결과를 제시하고자 한다.

1. 서론

오늘날 디지털 기술의 발전과 인터넷의 확산으로 디지털 멀티미디어 콘텐츠가 부각 되고 있다. 그러나 디지털 콘텐츠는 복사가 쉽고 조작이 용이하기 때문에 저작권 보호가 큰 이슈로 떠오르고 있다. 디지털 콘텐츠 저작권 보호 기술중 하나인 워터마킹 기술은 디지털 콘텐츠에 보통의 방법으로는 알 수 없는 저작자만의 정보를 삽입 하는 기술이다. 그래서, 후에 있을 지도 모르는 저작권 분쟁에서 자신의 소유권을 증명할 수 있게 한다.

기존에는 워터마킹 기술이 이미지를 중심으로 발전하였지만, 최근에는 동영상이나 음악 같은 멀티미디어 매체에 확대되고 있는 추세이다. 이 중에서 동영상 워터마킹 기술은 크게 비압축 영역에서 워터마크를 삽입하는 방법과 압축 영역에서 워터마크를 삽입하는 방법으로 나눌 수 있다.

먼저 비압축 영역에서 워터마크를 삽입할 경우 실시간으로 구현될 필요가 없다. 또한, 정지 영상에서의 워터마킹 기법을 그대로 적용 가능하다는 장점을 갖는다. 그런데, 동영상은 데이터의 양이 매우 크기 때문에 보통 MPEG-2 압축을 하여 저장하거나 유통을 한다. 따라서, 압축 영역에서의 워터마킹 기법이 중요

한 의미를 갖는다[1,2].

그러나, 압축 영역에서의 워터마킹에는 여러 가지 제약이 따른다. 첫째, 워터마크 삽입으로 압축 효율에 영향을 미쳐서는 안된다. 둘째, 계산 복잡도 문제이다. 워터마킹 알고리즘이 복잡하게 되면 계산 시간이 늘어나 실시간 구현이 어렵게 된다. 따라서, 간단하면서도 공격에 강인한 알고리즘이 요구된다. 그리고, 압축된 데이터 위에 바로 워터마크를 삽입하는 것은 거의 불가능 하므로 복호화를 하여 삽입 해야 한다. 이때 복호화 단계를 최소한으로 줄여 시간을 절약해야 한다[3]. 그런데, 압축 영역에서 워터마킹을 했을 경우 복호화 과정에서 큰 화질의 저하를 가져올 수 있으므로 워터마크 삽입 위치를 신중히 결정 해야한다.

기존의 연구에서는 화질 저하 문제를 이유로 DCT 계수의 DC 값에만 워터마크를 삽입하고 있다[3]. 본 논문에서는 DC 값 이외에 AC 값에 워터마크를 삽입하고 삽입 위치에 따른 그 화질 저하의 정도를 비교 하였다.

2. MPEG-2 의 개요

MPEG-2 는 비디오와 오디오 신호의 디지털 압축 표준인 MPEG-1 의 확장이다. MPEG-1 보다 고품질을 실

현하기 위해 5~10Mbps 이상의 높은 비트율을 제공하며 차세대 방송 기술인 HDTV 의 동영상 압축 표준으로 채택되었다.

MPEG-2 는 공간적 압축 기술과 시간적 압축 기술로 나눌 수 있다. 공간적 압축 기술은 영상에 DCT 를 수행하여 주파수 별로 변환하고, 지그재그 스캔으로 계수를 주파수 별로 모은다. 저주파 값들은 인간 시각에 민감하고, 고주파 값들은 상대적으로 덜 민감하다. 그래서, DCT 계수를 양자화 할 때 저주파 데이터는 적은 값으로 나누고, 고주파 데이터는 큰 값으로 나누어 고주파 계수 값을 많이 삭감한다. 최종적으로 가변 길이 부호화를 수행하여 전체적인 크기를 줄이게 된다. 시간적 압축 기술은 움직임 추정을 사용한다. 움직임 추정은 픽처의 전체 내용을 모두 보내는 것이 아니고, 전 픽처의 차이점 만을 보냄으로써 데이터의 양을 줄이는 기술이다. 보통의 동영상에 경우 각 픽처의 차이가 적으므로 움직임 추정을 사용하면 데이터의 양은 크게 줄어든다.

MPEG-2 는 I, P, B 픽처로 구성된다. Intra 프레임인 I 픽처는 공간적 압축 기술로 코딩을 한다. 그리고, Inter 프레임인 P,B 픽처는 시간적 압축 기술로 코딩을 한다. 따라서, I 픽처에 대해서는 정지 영상용 워터마크 기법을 바로 적용할 수 있으나 B,P 픽처에는 직접 적용하기 어렵다.

3. 동영상 워터마킹의 개요

Hartung 은 공간 영역과 압축 영역에서 워터마크를 대역 확산을 이용하여 삽입하는 방식을 각각 제안하였다. [1]

Hartung 이 제안한 압축 영역에서의 워터마킹 기법은 다음과 같다. 먼저 압축된 비트 스트림을 가변 길이 부호화와 역 양자화를 수행하여 DCT 계수를 구한다. 그 후, DCT 계수에 대역 확산을 사용하여 I,P,B 모든 프레임에 워터마크를 삽입하였다. 하지만, 워터마크 삽입에 의한 에러가 그 프레임을 참조하는 프레임으로 전파되는데 이를 막기 위해 에러 보상이 필요하다. 이는 알고리즘의 계산 복잡도를 증가시킨다.

따라서, 계산의 복잡도를 줄이기 위해서 I 프레임에만 워터마크를 삽입하고, DCT 계수가 아닌 양자화 된 DCT 계수에 워터마크를 삽입한다.[3] 이 경우 DQ,Q 과정이 생략되므로 속도가 절약된다(그림 1).

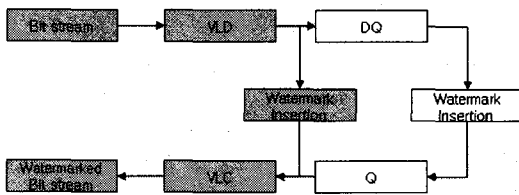


그림 1. 양자화 영역에서의 워터마크 삽입

하지만, 양자화된 DCT 계수에 워터마크를 삽입할 경우 디코더의 역 양자화 과정에서 워터마크 신호가 강

조되어 화질의 저하가 나타난다. 따라서 모든 DCT 계수에 워터마크를 삽입할 경우 큰 화질 저하가 발생하게 된다. 그러므로, 가장 효과적으로 삽입 가능한 주파수 영역을 찾아 일부의 계수에만 워터마크를 삽입해야 한다.

4. 실험 방법

본 논문에서는 MPEG-2 인코딩과 동시에 워터마크를 삽입하는 방법을 사용하였다. 주파수별 화질 저하를 알아보기 위해 크게 DC, 저주파, 중주파, 고주파 4개의 영역으로 나누어 실험 하였다. 워터마크 삽입과정은 먼저, 양자화된 DCT 계수 중에서 밝기 신호(Y 성분)만을 뽑아낸다. 그 중에서 DC 값, 저주파, 중간 주파수, 고주파에 해당하는 계수 하나를 추출하여 각각에 워터마크를 직접 삽입하는 방법을 사용하였다. I,P,B 픽처중에 I 픽처에만 워터마크를 삽입하였으며, I 픽처의 모든 블록을 대상으로 하였다. 마지막으로 가변 길이 부호화를 수행하여 워터마크가 삽입된 MPEG-2 비트 스트림을 만들어 낸다(그림 2). 기본적으로 사용된 워터마크는 1,-1,...,1,-1 인 비트 열이다. 워터마크의 강도에 따른 화질의 저하를 알아보기 위해 삽입 강도를 3,5,7,10 배로 하여 실험하였다

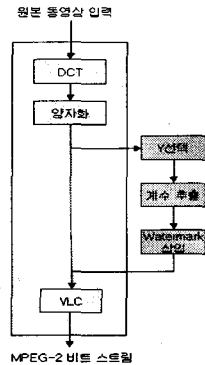


그림 2. 워터마크 삽입 실험도

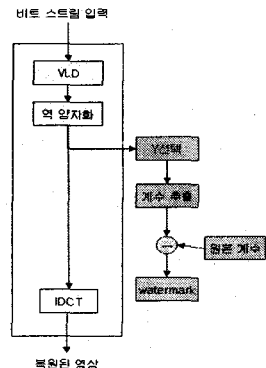


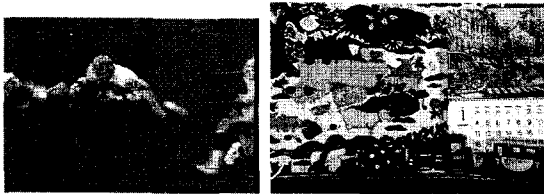
그림 3. 워터마크 추출 실험도

복호화 방법은 기존의 MPEG-2 복호기를 그대로 사용하였다. 워터마크를 추출하기 위해서는 부호화때 사용했던 계수들이 필요하다. 입력된 비트 스트림을 먼저 가변 부호 복호화를 하고 역양자화 후 IDCT 를 수행하여 복원된 영상을 만든다(그림 3). 화질 측정 방법은 워터마크를 삽입하지 않고 복원한 영상과 워터마크 삽입 후에 복원한 영상간의 PSNR 을 사용하였다.

5. 실험 결과 및 고찰

352 x 240 크기의 foot ball 과 740 x 480 크기의 mobile and calendar 영상을 실험영상으로 사용하였다. Football 은 한 장의 픽처에 1320 개의 블록이 존재하여, 총 1320 비트를 삽입했고, mobile 은 5280 개의 블록이 존재하므로 총 5280 비트를 삽입하였다.

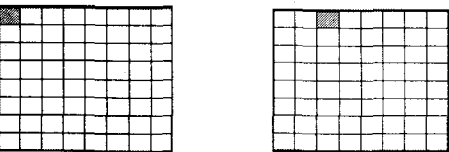
실험은 DC 값 저주파, 중주파, 고주파로 나누어 수행하였다. 저주파는 지그재그 스캔시 5 번째 계수, 중주파는 32 번째 계수, 고주파는 60 번째 계수에 삽입하였다. 계수의 선택은 임의로 하였다. 그리고, 압축 영역에서의 공격이 없다고 가정하여 워터마크 추출 실험은 따로 수행하지 않았다. 공격이 없을 경우 복호화 과정에서 워터마크는 100% 추출된다.



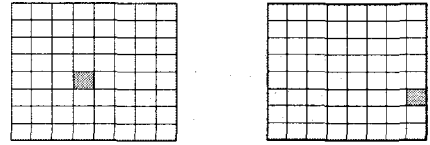
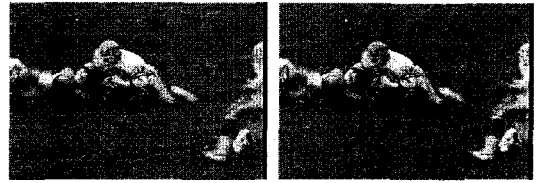
(a) Foot Ball (b) mobile and calendar

그림 4. 각 영상의 첫 번째 I Picture

워터마크의 삽입은 첫번째 I 픽처에만 삽입하였고 화질 측정 역시 첫번째 I 픽처를 대상으로 하였다.



(a) DC 값에 삽입 (b) 저주파(5)에 삽입



(c) 중주파(32)에 삽입 (d) 고주파(60)에 삽입

그림 4. 워터마크 삽입 결과 (Foot ball)

표 1. 워터마킹 위치에 따른 PSNR 의 변화

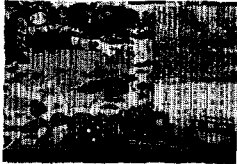
| | DC(0) | 저주파(5) | 중주파(32) | 고주파(60) |
|-----------|---------|---------|---------|---------|
| Foot ball | 48.52dB | 30.56dB | 25.70dB | 19.67dB |
| Mobile | 45.82dB | 28.21dB | 24.59dB | 18.88dB |

DC 값에 삽입 하고 복원한 뒤의 PSNR 은 45dB 이상의 높은 화질을 보였다. 눈으로 확인했을 때 원본과 화질의 차이를 느낄 수 없었다. 반면, 저주파 값에 삽입한 경우 30dB 이하의 화질을 보여 주었다. 중주파에서도 마찬가지로 5dB 정도의 화질이 떨어지며, 마지막으로 고주파에서는 20dB 이하의 상당히 나쁜 화질을 보여주었다. 전체적으로 주파수가 높아질수록 상당한 화질의 저하를 보여주었고, 특히 DC 값에서 삽입한 경우와 AC 값에서 삽입한 경우 화질 차는 눈에 보일 정도였다. 그림 4 와 표 1 에 그 결과를 나타내고 있다.

일반적으로 DC 값은 시각적으로 중요한 값이기 때문에 값을 변경시켜서는 안 된다. 반면, AC 값의 경우는 시각적으로 덜 민감한 부분이기 때문에 변경시켜도 쉽게 눈에 인지 되지 않는다. 하지만 이 실험 결과에서는 반대의 결과가 나타난다. 워터마크를 인코딩시에 양자화 된 DCT 계수에 삽입하므로, DC 계수의 경우 역 양자화 과정에서 AC 계수 값들에 비해 적게 강조가 되어 화질의 왜곡이 적어진다. AC 계수의 경우는 복호화 과정에서 역 양자화를 수행할 때 DC 계수에 비해 상당히 큰 값으로 곱해지므로 전체적인 계수의 값이 커지게 되고, 삽입한 워터마크 값 또한 커지게 된다. 따라서, 양자화 된 DCT 계수에 삽입할 때에는 DC 값에 워터마크를 삽입하는 것이 바람직하다. 그림 5 에는 워터마크 세기에 변화에 따른 화질 변화를 실험한 결과를 나타내었다.



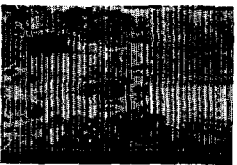
(a) 5 배 강도로 DC 값에 삽입



(b) 5 배 강도로 AC(5) 값에 삽입



(c) 10 배 강도로 DC 값에 삽입



(d) 10 배 강도로 AC(5) 값에 삽입

그림 5. 워터마크 삽입 결과(mobile and calendar)

표 2. 워터마크 강도에 따른 PSNR 비교(mobile)

| 워터마크 강도 | 1 | 3 | 5 | 7 | 10 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| AC(5) | 28.21dB | 19.02dB | 14.88dB | 12.31dB | 9.74dB |
| DC | 45.82dB | 41.65dB | 38.38dB | 35.87dB | 33.04dB |

워터마크의 세기를 변화 시켜 삽입했을 경우도 DC 값이 가장 우수한 화질을 나타내었다. AC(5 번째 저주파 계수에 삽입할 경우는 강도를 3 배로 높였을 때 거의 10dB 의 화질이 떨어졌다. 5 배로 강도를 높였을 경우 5dB 의 화질 저하가 있었고, 7 배, 10 배 강도에서는 각각 3dB 정도의 화질 저하가 발생하였다.

반면 DC 값의 경우는 10 배 강도까지 꾸준히 3dB 정도의 적은 양이 하락하는 것을 알 수 있다. 실험 결과 DC 값은 10 배 강도에서도 상대적으로 높은 화질을 유지한다.

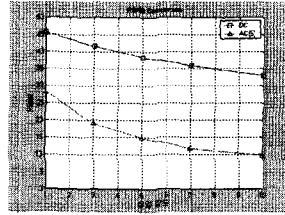


그림 6. 화질 비교 그래프 (mobile)

그림 6 에서 DC 값에 삽입한 경우에 삽입 강도에 따른 화질 저하가 완만한 반면, AC 값에 삽입한 경우에는 삽입 강도에 따른 화질 저하가 상대적으로 큰 것을 알 수 있다.

6. 결론

동영상에서 워터마크를 삽입 하는 경우 압축 영역에서 수행하는 것이 유리할 경우가 있다. 그러나, 압축 영역에서의 워터마크 삽입은 심각한 화질 저하를 가져올 수 있다. 압축 영역에 삽입할 경우에는 부분 복호화하여 양자화된 DCT 계수에 삽입하는 것이 속도 면에서 유리하다.

그러나, 압축 영역에 워터마크를 삽입하는 것이므로, 특정 계수를 선택하여 삽입하는 것이 화질 저하를 최소화 할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 MPEG-2 압축 방식에서 양자화된 DCT 계수에 워터마크를 삽입할 경우 어떤 대역에 삽입할 때 가장 화질 저하가 적은지를 실험하고 그 결과를 제시하였다.

실험 결과 AC 계수들에 워터마크를 삽입할 경우는 역 양자화 과정에서 워터마크 신호가 증폭이 되어 화질의 저하가 너무 심했지만, DC 계수들에 워터마크를 삽입할 경우 역 양자화 과정에서의 영향이 상대적으로 적어 화질의 저하가 거의 없었다. 또한, 워터마크의 강도를 높여서 삽입할 경우 DC 값의 경우 10 배 정도의 강도에서도 비교적 높은 화질을 보여 주었다. 따라서 양자화된 DCT 계수에 워터마크를 삽입하는 방법에서는 DC 값에 넣는 것이 가장 바람직하다는 결론을 얻었다.

참고문헌

- [1] Hartung and B. Girod, "Watermarking of Uncompressed and Compressed Video", Signal Processing, vol. 66, no. 3 (Special issue on Watermarking), pp. 283-301, May 1998.
- [2] Hartung and B. Girod, "Digital Watermarking of Raw and Compressed Video", Proc. European EOS/SPIE Symposium on Advanced Imaging and Network Technologies, Berlin, Germany, October 1996.
- [3] 김경순, 임재혁, 원치선, "MPEG 동영상의 실시간 워터마킹 기법", 제 14 회 신호 처리 합동 학술대회 논문지 제 14 권 1 호, 2001
- [4] 류대현, "동영상 저작권 보호를 위한 디지털 워터마킹 기술", 한국멀티미디어학회, 제 2 권 제 4 호, pp. 438 - 450, 1999. 12.