

MPEG 비디오를 위한 하이브리드 워터마킹 알고리즘

이 형 훈, 최 재 훈, 배 창 석, 최 윤 식

연세대학교 전기.컴퓨터 공학과

전화 : (02) 361-2774 / 팩스 : (02) 392-4230

Hybrid Watermarking Algorithm for MPEG Video

Hyung Hoon Lee, Jai Hoon Choi, Chang Seok Bae, Yoonsik Choe

School of Electrical and Computer Engineering Yonsei University

E-mail : yschoe@bubble.yonsei.ac.kr

Abstract

In this paper, we propose a hybrid watermarking algorithm for MPEG bitstream. Hybrid watermarking technique uses Spread Spectrum technique for I-frame and Motion Vector technique for P, B-frame. Thus, it enables all MPEG frame to be watermarked. By applying above technique, it is possible not only to protect intellectual property right but also to be robust to all kinds of attacks. And this scheme requires partial decoding of MPEG bitstream, so it can be applied to real time watermarking applications.

I. 서론

최근 컴퓨터 및 네트워크에 대한 기술과 인터넷의 비약적인 발전으로 인하여 각종 멀티미디어 서비스와 환경이 개인에게까지 제공되고 있다. 이러한 디지털 멀티미디어 데이터들은 아날로그 데이터와는 달리 복제가 용이하며 복제에 의한 데이터의 열화도 발생하지 않는다. 따라서 이러한 멀티미디어 데이터의 불법적인 복제를 방지하기 위한 저작권 보호 기법의 개발이 필요하다. 디지털 워터마크는 이러한 저작권 보호를 위해서 개발된 기법으로 디지털 데이터에 보이지 않도록 저작권 정보를 삽입하는 방법이다.

지금까지 정지영상에 대해서는 많은 워터마킹 기법들이 개발되었지만[1-3] 동영상에 대한 워터마킹 기법에 대해서는 활발한 연구가 이루어지지 않고 있는 실정이다. 하지만 멀티미디어 서비스의 비약적인 발전으로 인하여 이에 대한 연구가 절실히 요구되고 있다. 그러므로 본 논문에서는 현재 가장 널리 사용되고 있는 동영상 압축 표준인 MPEG을 이용한 워터마킹 삽입 기법에 대해 논해보고자 한다.

일반적으로 동영상 디지털 워터마크는 다음과 같은 조건을 만족해야 한다.

1. 내용보호

(워터마크는 시각적으로 보이지 않고, 소유권을 표시하려는 데이터를 손상하지 말아야 한다)

2. 대중성

(워터마크는 특정 데이터에만 제한하지 않고, 디지털로 표시되는 모든 데이터에 적용되어야 한다)

3. 명백성

(원영상에 대한 허용되지 않는 조작에도 소유권 표시가 명백해야 한다)

4. 견고성

(워터마크에 대한 임의의 공격에도 제거가 어려워하며 에러환경에 강인해야 한다)

5. 실시간성

(MPEG 코딩시에 워터마크를 삽입하거나 추출하여야 하므로 모든 작업이 실시간에 이루어져야 한다.)

위에서 열거한 조건을 만족시키는 워터마킹 기법들 중에서 현재 가장 많이 사용되어지는 방법이 주파수 확산 (Spread Spectrum) 워터마킹 기법이다.[3] 이 방

법은 일반적으로 정지영상에 대해서 저작권 정보를 삽입하는 방법으로 여러 에러환경에서 강인한 특성을 가지며 저작권 정보를 추출하는데 원영상이 필요하지 않다는 장점을 가지고 있다. 따라서 공간영역에서 동영상의 워터마킹에 적용하기에 적합한 기법이다. 하지만 이 기법을 변환영역에서 동영상의 스트림에 직접 적용하는 경우 I-프레임의 스트림에 적용하는데에는 어려움이 없지만 P, B-프레임의 스트림에 적용하는데에는 문제가 있다. 이것은 P, B-프레임에서 드리프트 (drift) 보상의 과정이 요구되어 효율적인 알고리즘 구현이 불가능하기 때문이다.[4]

동영상에 적용할 수 있는 또다른 워터마킹 방법으로 움직임 벡터를 이용한 기법이 있다.[5] 이 기법의 경우 각 매크로 블록의 움직임 벡터에 저작권 정보를 삽입하는 방법으로 움직임 벡터를 가지는 P, B-프레임에 적용하기에는 문제가 없지만 움직임 벡터를 가지지 않는 I-프레임에 적용하는 것은 불가능하다.

따라서 본 논문에서는 움직임 벡터를 가지지 않는 I-프레임에 대해서는 주파수 확산 (Spread Spectrum) 워터마킹 기법을 사용하여 저작권 정보를 삽입하고 P, B-프레임에 대해서는 움직임 벡터를 이용한 워터마킹 방법을 사용하여 모든 프레임에 워터마크 정보를 삽입할 수 있는 하이브리드 워터마킹 기법을 제안한다.

II. 주파수 확산 (Spread Spectrum) 워터마킹 기법

주파수 확산 (Spread Spectrum) 워터마킹은 저작권 정보에 해당하는 신호의 에너지를 넓은 주파수 영역으로 확산시켜 잡음과 비슷한 상태로 만들어 주고 이 신호를 영상 신호에 더해져서 저작권 정보를 삽입하는 방법이다. 이렇게 삽입된 저작권 정보는 단순히 잡음처럼 작용하므로 원영상에 시각적인 저하를 발생시키지 않으며 정보가 넓은 주파수 영역에 확산되었기 때문에 에러환경에서 쉽게 파괴되지 않는다. 이렇게 영상에 삽입된 정보는 삽입된 것과 같은 noise 시퀀스가 곱해졌을 경우에만 상관도 (correlation)에 의해서 검출되어진다.

삽입하려고 하는 저작권 정보를 실수들의 시퀀스 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ (단, x_i 는 평균이 0이고 분산이 1인 정규분포를 가짐)로 나타내고, 원영상을 $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ 로 표현하면 워터마크를 삽입하는 것은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$Y^* = Y + \alpha X \quad \text{즉,} \quad y_i^* = y_i + \alpha x_i$$

(단, α_i 는 scaling factor) 이렇게 워터마크된 영상에서 원래 신호를 다시 추출하는 것은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} cov(X, Y^*) &= cov(X, \alpha X + Y) \\ &= var(X, \alpha X) + cov(X, Y) \\ &= \alpha + \approx 0 \end{aligned}$$

이렇게 계산된 α 값에 의해서 삽입된 정보를 다시 추출할 수 있다.

이 방법은 에러환경에 강인한 특성을 지니도록 하기 위해서 상대적으로 큰 α 값이 선택되는데 정지 영상의 경우에는 문제가 없지만 동영상에서 스트림에 직접 적용할 경우 문제가 생긴다. 큰 DCT 계수를 가지는 I-프레임의 경우는 문제없이 위의 방법으로 워터마킹이 가능하지만 상대적으로 작은 계수값을 가지는 P, B-프레임의 경우는 원영상의 데이터 보다 저작권 정보의 값이 더 크므로 비트율 조정과 관련해서 문제가 발생한다. 또한 움직임 벡터에 의해서 I-프레임에 삽입되어 있는 저작권 정보가 P, B-프레임에서는 원래의 위치가 아닌 임의의 위치에 옮겨지게 되므로 이렇게 드리프트 (drift)되어 있는 워터마크를 먼저 제거하고 다시 워터마크를 삽입해야 하는 어려움이 있다. 이것은 실시간으로 동작해야 하는 환경에서는 심각한 문제가 된다.

III. 움직임 벡터 (Motion Vector) 워터마킹 기법

일반적으로 영상 데이터는 데이터의 양이 많기 때문에 움직임 벡터를 사용하여 데이터의 양을 줄인다. 따라서 동영상의 경우는 이 움직임 벡터를 이용하여 저작권 정보를 삽입하는 것이 가능하다.

삽입하려고 하는 저작권 정보를 이진수 시퀀스 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 로 나타내고, 한 프레임내의 매크로 블록의 움직임 벡터를 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 로 표현하면 x_i 값에 따라서 워터마크는 다음과 같이 삽입된다.

if $((v_i \times q + T) \bmod \text{ulo } 2) \neq x_i$

$$v_i^* = v_i + \delta$$

else

$$v_i^* = v_i$$

(단, $\delta = (2n + 1)/q$, n : 정수, 움직임 벡터가 없는 경우 $n=1$, 그외의 경우는 $n=0$. 반화소 단위의 움직임 벡터를 사용할 경우 $q = 2$. $T = 2 \times (\text{움직임 추정}$

위한 윈도우 (Search Window used for Motion Estimation)) 이렇게 삽입된 정보는 디코딩시에 움직임 벡터로부터 다음의 식에 의해서 다시 추출되어 종합된다.

$$x_i = (v_i^* \times q + T) \text{ modulo } 2$$

그런데 P, B-프레임과는 달리 I-프레임의 경우는 움직임 벡터가 존재하지 않으므로 I-프레임에 대해서는 저작권 정보를 삽입하기가 불가능하다.

IV. 하이브리드 (Hibrid) 알고리즘 기법

이상에서 살펴본 바와 같이 주파수 확산 (Spread Spectrum) 워터마킹 기법의 경우는 I-프레임에 대해서는 적용하기 쉽고 예러에 강인한 장점이 있지만 동영상 시퀀스의 대부분을 차지하는 P, B-프레임에는 적용하기 힘든 문제가 있다. 반면에 움직임 벡터를 이용한 워터마킹 기법의 경우는 P, B-프레임에는 쉽게 정보를 삽입할 수 있지만 움직임 벡터가 없는 I-프레임에는 정보를 저장할 수 없는 문제점을 가지고 있다. 따라서 이 두가지 방법을 함께 적용하면 모든 프레임 데이터에 대해서 저작권 정보를 삽입할 수 있고 두 가지 방법이 함께 적용되므로 각종 어려 환경에도 더 강인한 특성을 지니게 할 수 있다. 이를 구현하는 것은 다음과 같다. 먼저 사용자 암호 (User Key)에 의해서 유사 잡음 (Pseudo noise) 시퀀스를 만든후에 우리가 삽입하고자 하는 저작권 정보를 이 시퀀스를 사용하여 스프레딩 시킨다. 이것을 이미 코딩된 동영상 시퀀스에 직접 적용하기 위해 먼저 DCT를 수행한 후 디코딩되어 구성된 IDCT를 수행하기전의 I-프레임 데이터에 더해준다. 그리고 이 값을 다시 양자화하고 가변장 부호화를 통해 다시 코딩시켜준다. 또한 P-프레임이나 B-프레임의 경우는 디코딩을 통해 프레임 데이터가 아닌 움직임 벡터값을 얻어내어 위에서 기술한 방법에 의해서 저작권 정보를 저장한다.

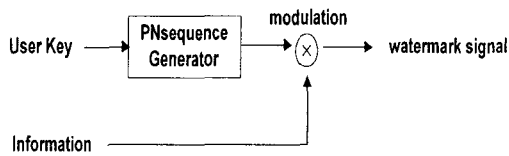


그림 1 워터마크 신호를 만드는 과정
Fig 1. Process of watermark signal generation

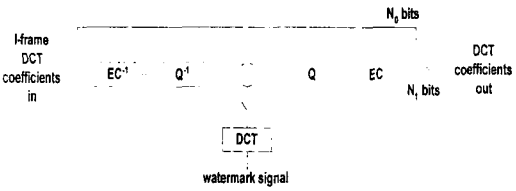


그림 2 I-프레임의 워터마크 과정
Fig 2. Watermark embedding process of I-frame

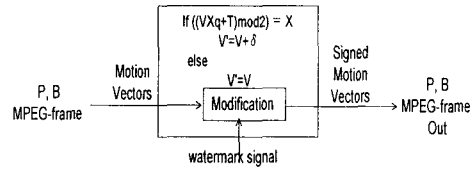


그림 3 P, B-frame의 워터마크 과정
Fig. 3 Watermark embedding process of P, B-frame

V. 실험결과

실험에서 사용된 파라미터는 다음과 같다.
I-프레임의 경우,
 $\alpha = 8$, 저작권 정보 1비트당 I-프레임에서 확산된 크기 : 294
P, B-프레임의 경우,
 $q = 2$, $T = 15$
이에 따른 실험결과 영상을 아래에 나타내었다.



그림 4 저작권 정보가 삽입된 99 frame중에서 샘플링한 10 frame
Fig 4. Sampled 10 frame out of watermark inserted 99 frame

위의 그림은 총 99개의 프레임을 MPEG으로 코딩한 후 그 중에서 10개의 프레임을 순차적으로 샘플링하여 나타낸 것이다. 위의 MPEG 비트열 (bitstream)으로부터 추출된 저작권 정보를 아래 그림에 나타내었다.

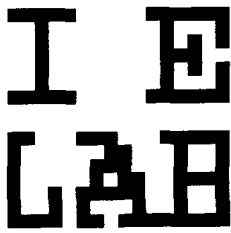


그림 5 저작권 그림
Fig. 5 Figure of Intellectual Property Right

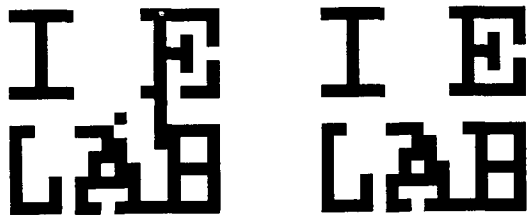


그림 6 I-프레임에서 추출된 저작권 그림
Fig. 6 Watermark extracted result Fig. of I-frame

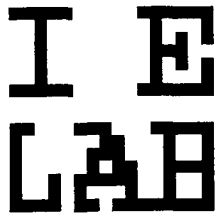


그림 7 B-프레임에서 추출된 저작권 그림
Fig. 7 Watermark extracted result Fig. of B-frame

위의 결과영상에서 알 수 있듯이 움직임 벡터를 이용하여 B-프레임에 삽입된 저작권 정보는 애러 없이 추출되었다. 또한 주파수 확산 (Spread Spectrum) 기법을 사용하여 I-프레임에 삽입된 저작권 정보도 약간의 애러가 있지만 저작권 정보를 식별하는데에는 어려움이 없음을 알 수 있다.

또한 본 논문에서 제안된 방법은 이미 코딩된 MPEG 비트열을 부분 디코딩하여 적용할 수 있기 때문에 완전히 디코딩하여 공간영역에서 워터마크를 삽입하는 방법보다 수행시간이 빠르므로, 실시간에 작업을 수행할 수 있다.

VI. 결과 및 추후 연구

본 논문에서는 멀티미디어 데이터의 저작권 보호를 위한 하이브리드 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 실험 결과 MPEG 비트열의 모든 프레임에 저작권 정보를 삽입할 수 있으므로 더 많은 정보를 넣을 수 있음은 물론이고 실시간 실행이 가능하였다. 특히 프레임과 움직임 벡터 모두에 워터마크를 삽입하였기 때문에 프레임에 대한 고의적인 공격이나 변조의 경우에도 움

직임 벡터에 의해 워터마크 정보를 추출할 수 있고 마찬가지로 그 반대의 경우도 프레임으로부터 워터마크 정보를 추출할 수 있으므로 애러환경에 강인한 특성을 가진다. 그러므로 이러한 기법은 앞으로 증가하게 될 멀티미디어 데이터와 관련된 인터넷 비디오 서비스 및 방송 분야에서 응용될 수 있을 것이다.

하지만 움직임 벡터를 이용한 워터마킹 기법의 경우, 움직임이 매우 적은 동영상의 경우에는 움직임 벡터를 갖는 매크로 블록의 개수가 적기 때문에 매우 적은 저작권 정보만 삽입될 수 있는 데이터 의존적인 문제점을 안고 있다. 따라서 이러한 부분에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌(또는 Reference)

- [1] E. Koch and J. Zhao, "Towards robust and hidden image copyright labeling." In Proceedings of 1995 IEEE Workshop on Nonlinear Signal and Image processing, Neos Marmaras, Greece, June 1995
- [2] I. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shamoan, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia." Technical Report 95-10, NEC Research Institute, Princeton, NJ, USA, 1995
- [3] M. Kutter, F. Jordan, and F. Bossen, "Digital signature of color images using amplitude modulation." In Proceedings of Electronic Imaging 1997 (EI 97), San Jose, USA, February 1997
- [4] Frank Hartung, Bernd Girod, "Watermarking of Uncompressed and Compressed Video", Signal Processing vol. 66, no. 3, May 1998 pp. 283-301
- [5] Fred Jordan, Martin Kutter, Touradj Ebrahimi, "Proposal of a watermarking technique for hiding/retrieving data in compressed and decompressed video", ISO/IEC document JTC1/SC29/WG11 MPEG97/M2281, July 1997