

인접 프레임의 특징을 이용한 워터마킹 영역의 구성 및 비디오 워터마킹

이혜주, 홍진우

한국전자통신연구원 무선방송연구소 방송미디어부

Construction of Watermarking Region Using Feature of Adjacent Frames and Video Watermarking

Hyejoo Lee, Jinwoo Hong

Dept. of Broadcasting Media, Radio & Broadcasting Research Laboratory,
Electronics and Telecommunications Research Institute

요 약

강인성을 포함한 비인지성(imperceptibility)과 계산량(complexity)은 비디오 워터마킹 시스템에 있어서 중요한 항목으로, 이러한 항목은 워터마킹 시스템의 설계시 고려하여야 한다. 본 논문에서는 적절한 비인지성과 계산량을 제공하기 위해 3개의 연속된 프레임을 이용하는 비디오 워터마킹 시스템을 제안한다. 특히, 워터마크를 삽입할 영역 R 을 3개의 프레임 $f(t)$, $f(t+1)$, $f(t+2)$ 로부터 구성하고, 워터마크를 구성된 영역 R 의 DCT 계수들에 삽입한다. 제안 방식은 프레임 간의 특징을 이용한 워터마킹 삽입 영역 R 을 구성함으로써, 좋은 화질을 제공함과 동시에 MPEG-2 압축 및 프레임 공격에 대한 강인성을 제공함을 실험에 의해 확인한다.

1. 서론

비디오 워터마킹에 있어서, 인접 프레임간의 유사성(similarity)에 의해 이미지 워터마킹에서는 나타나지 않는 효과들이 발생할 수 있다. 예를 들어 독립적인 워터마크가 프레임 내의 움직임이 없는 예지 부분들에 삽입되는 경우 깜빡임 현상(flickering effect)이 발생할 수 있다. 이러한 현상을 피하기 위해 워터마크는 연속되는 프레임 내에 유사성이 없는 부분들, 즉 움직임이 존재하는 부분들에 삽입하는 것이 바람직하다. 이러한 이유 이외에 워터마크를 움직임이 있는 부분에 삽입한다면, 움직임을 가능한 유지하도록 압축을 수행하는 MPEG 압축에 대한 강인성을 제공할 수 있을 것이다.

이와 같은 점을 고려하여, 본 논문에서는 원 비디오 프레임 시퀀스의 연속된 프레임 간의 움직임 차이가 있는 부분들에 워터마크를 삽입하는 방법을 제안한다. 제안 방법은 프레임의 특징 정보로 움직임 정보를 이용하여 워터마킹을 위한 영역을 구성하고, 구성된 영역에 워터마크를 삽입한다. 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저, 2장에서는 비디오 워터마킹에 대하여 간략하게 소개하고, 3장에서는 워터마킹을 위한 영역을 구성하고 워터마킹을 수행하는 과정을 기술한다. 그리고 4장에서는 제안 방식에 대해 MPEG-2비디오 압축 및 프레임 공격에 대한 강인성에 실험 결과를 나타낸다. 마지막으로 5장에서 향후 연구 과제를 기술하며 본 논문의 결론을 맺는다.

2. 비디오 워터마킹

지금까지 제안된 비디오 워터마킹 기술들을 분류하면 3가지 형태로 분류될 수 있다. 첫 번째 형태는 Swanson 등에 의해 제안된 방법과 같이 원 신호의 비디오 프레임 속에 워터마크를 삽입한다[1,2]. 대부분의 비디오 워터마킹 기술은 이 형태에 속하며 디지털 비디오를 생성한 후에 워터마크를 삽입하고 비디오 압축을 수행하게 된다. 이러한 형태는 비디오 압축에 대한 어떠한 제약이 없는 상황에 이용할 수 있다. 두 번째 형태는 Hartung의 방법이 대표적이며, 압축된 비트 스트림에 워터마크를 삽입한다[3,4]. 이 방법은 압축된 비트 스트림에 대한 부분 복호(partial decoding)를 수행하여 워터마크를 삽입하고 다시 재압축을 수행하게 된다. 마지막으로 세번째 방법은 두번째 형태와 같이 압축 비트스트림을 대상으로 하지만 워터마크를 압축된 비트스트림 자체에 직접 삽입하는 방법이다[5]. 이 방법은 Langelaar의 방식이 대표적으로 워터마킹 보다는 라벨링(labeling)으로 언급되어 진다.

비디오 워터마킹 기술들은 각 프레임을 정지영상으로 간주하여 워터마크를 삽입하거나 비디오 프레임들의 시간적 특징(temporal feature)을 이용하여 워터마크를 삽입한다. 전자는 워터마크 삽입 시에 프레임 간의 특징을 고려하지 않기 때문에 재생시 자연스럽지 못한 효과가 나타나기도 하나 워터마크 삽입이나 검출을 위한 계산량이 적다. 한편, 후자는 프레임 간 특징을 이용하여 워터마크를 구성하거나 워터마크 위치를 설정하기 때문에 자연스러운 재

생이 가능하다. 그러나, 프레임간의 특징 추출에 인하여 삽입 및 추출에 대한 많은 계산량이 요구된다.

비인자성은 워터마킹 기술에 대한 필요조건 중에서 기본적인 조건으로, 워터마크 삽입 후 비디오 화질에 있어서 가능한 최소한의 저하를 허용해야 함을 의미한다. 따라서 비디오 워터마킹은 비디오의 화질을 유지하기 위해서는 프레임 간의 관련성을 고려하면서 워터마크를 삽입하고 검출하여야 한다. 또한 삽입 및 검출에 대한 계산량은 워터마킹 시스템을 실제로 적용하기 위한 요구되는 추가적인 필요조건이다. 만일 워터마킹 시스템이 좋은 비인자성을 제공하더라도 많은 계산량이 요구된다면 효율적인 워터마킹 방법이라고 볼 수 없다.

가능한 최소의 계산량으로 프레임 간의 특징을 이용하여 워터마크를 삽입하기 위하여, 본 논문에서는 연속되는 3개의 프레임을 이용하여 워터마킹을 위한 영역을 구성하고 워터마크를 영역에 삽입한다.

3. 워터마크 삽입 및 추출

워터마킹 영역에 삽입될 L 비트의 정보비트(payload)는 그림1과 같이 n 비트로 이루어진 k 개의 라운드 비트(round-payload)로 분할된다. 이때, $k = \frac{L}{n}$ 이다.

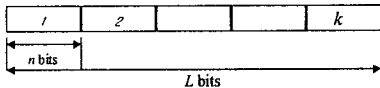


그림 1. 정보비트의 분할

하나의 라운드 비트는 r 개의 프레임에 반복되어 삽입되는데 이것을 라운드(round)라고 한다. 워터마크를 삽입할 프레임의 수를 n_f 라 할 때, 라운드에서 이용될 프레임의 수는

$$\frac{n_f \times n}{L} = r \quad (1)$$

와 같이 계산된다. 따라서, 정보비트 수 L 비트가 주어졌을 때, n_f, k, r 의 값은 워터마크를 삽입하는 사용자가 적절하게 선택할 수 있다.

그림2는 제안 방식에 의한 워터마킹 과정을 나타내고 있다.

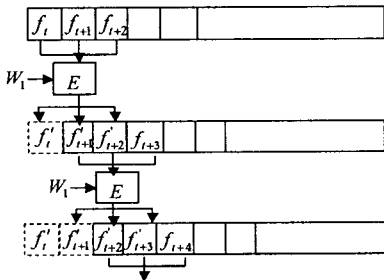


그림 2. 워터마크 과정

연속된 3개의 프레임에 대해서 함수 $E(f(t), f(t+1), f(t+2))$ 는 워터마크를 삽입하기 위한 영역 R 을 구성하고 워터마크를 삽입한다. 크기가 $M \times N$

인 프레임 시퀀스에 대해서 3개의 프레임 $f(t), f(t+1), f(t+2)$ 는 8×8 블록으로 분할한다. 프레임 내 블록의 위치 (x, y) , $0 \leq x < \frac{M}{8}$, $0 \leq y < \frac{N}{8}$ 를 갖는 3개의 블록을 각각 $B(t; x, y)$, $B(t+1; x, y)$, $B(t+2; x, y)$ 라고 할 때, 영역 R 은 다음과 같이 구성한다. 3개의 블록에 대해서, 각각

$$d_1 = \sum_{0 \leq i, j < 8} |B(t+1; x, y)_{i,j} - B(t; x, y)_{i,j}| \quad (2)$$

$$d_2 = \sum_{0 \leq i, j < 8} |B(t+2; x, y)_{i,j} - B(t+1; x, y)_{i,j}| \quad (3)$$

와 같이 계산한다. 여기, $|\cdot|$ 는 블록 내에서 (i, j) 위치를 가지는 픽셀의 절대 차(absolute difference)의 계산을 의미한다. 따라서, d_1 은 프레임 $f(t)$ 와 $f(t+1)$, d_2 은 프레임 $f(t+1)$ 과 $f(t+2)$ 의 블록의 절대 차분 값의 합을 각각 나타내는 값이다. 값 d_1, d_2 에 대해서,

$$d_{\max} = \max(d_1, d_2) \quad (4)$$

와 같이 최대값을 선택한다. 워터마크를 삽입하기 위한 영역은 계산한 d_1, d_2 및 d_{\max} 를 이용하여 아래와 같이 결정된다.

$R(t; x, y)$ 를 시간 t 에서 영역 $R(t)$ 의 (x, y) 블록이라고 할 때, 주어진 임계값 τ 에 대해, 최대값 $d_{\max} < \tau$ 를 만족하면 이것은 3개의 블록이 서로 유사하다는 것을 의미한다. 즉, 블록 간에는 움직임이 없다고 결정하고, 이 경우에는 $B(t+1; x, y)$ 를 워터마킹 영역을 구성하기 위한 블록으로 선택한다. 그러나 $d_{\max} \geq \tau$ 인 경우에는 3개의 블록에는 움직임이 있다고 판단한다. 3개의 블록 중에서 가장 많은 움직임을 갖는 블록을 선택하기 위해, 식(2)와 식(3)에 의해 계산한 블록의 절대차의 합, d_1 과 d_2 의 비를 이용한다. 즉, $\frac{d_1}{d_2} > 1$ 인 경우에는 블록 $B(t; x, y)$ 와 $B(t+1; x, y)$ 간의 움직임이 블록 $B(t+1; x, y)$ 와 $B(t+2; x, y)$ 의 움직임보다 크기 때문에, 이 경우에는 영역을 구성하는 대상의 블록으로 $B(t; x, y)$ 를 선택하게 된다. 반대로, $\frac{d_1}{d_2} \leq 1$ 인 경우에는 블록 $B(t+2; x, y)$ 를 선택하게 된다. 이 과정을 식으로 표현하면 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$R(t; x, y) = \begin{cases} B(t+1; x, y), & \text{if } d_{\max} < \tau \\ B(t; x, y), & \text{if } d_{\max} \geq \tau \text{ and } \frac{d_1}{d_2} > 1 \\ B(t+2; x, y), & \text{if } d_{\max} \text{ and } \frac{d_1}{d_2} \leq 1 \end{cases} \quad (5)$$

이와 같이 워터마킹 영역을 구성한 후, 라운드 비트의 삽입은 다음과 같이 이루어진다. 먼저, 식(5)에 의해 구성된 영역 $R(t)$ 를 8×8 블록으로 분할하고, 각 블록에 DCT(discrete cosine transform)을 수행한다. DCT 계수들은 여러 개의 그룹으로 분리되어지는데, 그룹은 모든 DCT 블록에서 위치 (u, v) , $0 \leq u, v < 8$ 가 동일한 계수들로 구성된다. 따라서, 블록의 크기가 8×8 이므로 64개의 그룹이 구성 가능하게 된다. 영역 $R(t)$ 에 삽입할 n 비트의 라운드 비트는 한 그룹에 한 비트를 삽입되어진다. 따라서, 64개의 그룹 중에서 중간 계수로 이루어진 n 개의 그룹을

선택한다.

선택된 그룹에 m 번째 라운드 비트의 l 번째 비트 $b_{m,l}$ 를 삽입하기 위해, n 개의 그룹 중에서 하나의 그룹을 선택한다. 워터마크는 $W_{m,l} = b_{m,l} \times S$ 와 같이 랜덤 계열 $S = \{s(x,y) | -1,1\}$ 에 의해 $b_{m,l}$ 를 확산하여 구성한다. 선택된 그룹을 X 라고 할 때, 워터마크는

$$Y(x,y) = X(x,y) + \alpha w_{m,l}(x,y) \quad (6)$$

와 같이 그룹에 가산된다. 이때, α 는 워터마크의 강도를 조절한다. 식(6)을 n 그룹에 대하여 모두 수행하고, 모든 그룹들은 원래의 8×8 블록으로 재구성하게 되면 결국 워터마크가 삽입된 영역 $R'(t)$ 을 얻게 되고, 영역의 각 블록들에 역DCT를 수행하여 식(5)에 의해 결정된 프레임들의 블록과 대체한다. 그 결과, 워터마크가 삽입된 프레임 $f'(t)$, $f'(t+1)$ 와 $f'(t+2)$ 를 얻게 되며 이후의 프레임에 대해서도 그림2와 같이 위의 과정을 수행하게 된다. 이때, 식(5)에 의해 구성된 영역 $R(t)$ 는 연속되는 프레임 시퀀스를 중첩하면서 구성된다. 즉, 다음 영역 $R(t+1)$ 은 프레임 $f(t)$ 를 제외하고 $f'(t+1)$, $f'(t+2)$ 및 $f(t+3)$ 에 대해서 구성하여 워터마크를 삽입한다.

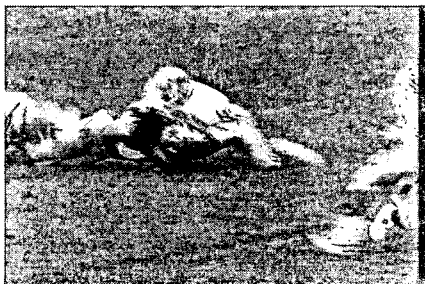
각 워터마크의 비트를 추출하기 위해서는 삽입 시와 동일하게 영역 $\tilde{R}(t)$ 를 구성하고, 영역으로부터 n 개의 그룹을 선택한다. 삽입된 $b_{m,l}$ 은 워터마크가 삽입된 그룹 Y 와 랜덤 계열간의 상관 $z = \langle Y, S \rangle$ 를 계산하고, 각 삽입된 워터마크 비트는

$$b_{m,l} = \begin{cases} 1, & z \geq 0 \\ 0, & z < 0 \end{cases} \quad (7)$$

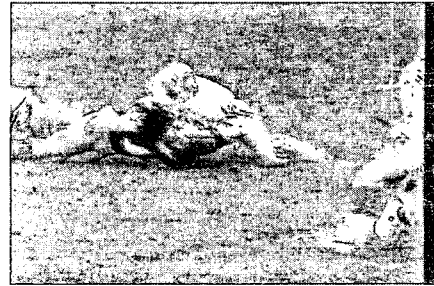
와 같이 결정된다. 추출 방식은 일반적인 상관 기법에 기반 한다. 라운드는 동일한 라운드 비트가 삽입되므로, 한 라운드에 대해 추출한 각 라운드 비트의 결정은 다수 비트 값을 갖는 비트로 결정한다.

4. 실험 및 결과

제안 방식을 실험하기 위한 실험 비디오 데이터로 "football(크기: 720×480 , YUV4:2:0)"을 이용하였다. 10개의 서로 다른 70비트로 이루어진 정보비트($n_f = 30$ (프레임), $n = 14$ (비트))를 각각 다른 랜덤 계열 S 를 이용하여, 30개의 프레임에 삽입한 결과, 평균적으로 약 42dB의 PSNR을 갖는 워터마크가 삽입된 프레임을 얻었다. 그림3(a)-(b)은 원 비디오 프레임과 워터마크가 삽입된 비디오 프레임을 나타내고 있으며, 시각적으로 차를 구분할 수 없다.



(a) 원 프레임



(b) 워터마크가 삽입된 프레임(PSNR:42dB)

그림 3. 원 프레임과 워터마크가 삽입된 프레임의 비교

워터마크가 삽입된 비디오 프레임들은 MPEG-2 비디오 압축을 이용하여 다양한 bit rate로 압축을 수행하였다. 일반적으로 정보비트가 삽입되는 경우에는 워터마크 성능은 비트 에러율(bit error rate, BER)로 측정한다. 그림4는 다양한 MPEG-2 bit rate에 대한 비트에러율을 나타내고 있다.

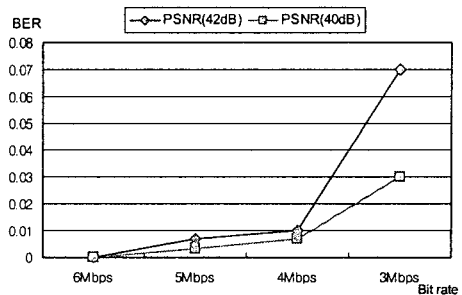


그림 4. MPEG-2 압축에 대한 비트에러율

그림4의 그래프에서 3Mbps의 bit rate로 MPEG-2 압축을 수행하였을 경우에는 다른 것에 비해 많은 비트 에러가 발생이 되고 있다. MPEG-2 압축에 의해 복호화되는 프레임들을 비교하면 3Mbps의 bit rate로 압축하여 복호화한 경우, 4Mbps보다 현저하게 프레임 화질 저하가 발생되기 때문에, 그림4에 나타난 바와 같이 3Mbps에서 급격하게 비트에러율이 증가한다. 이에 대해 프레임의 PSNR이 약 40dB가 되도록 워터마크의 강도를 증가하여 삽입하는 경우에는 3Mbps의 bit rate에서 급격하게 발생하는 비트에러율을 감소시킬 수 있음을 나타내고 있다.

제안 방식에서 라운드의 개념은 Dequillaume et al.[6], Lin et al.[7]에 의한 지적인 프레임의 공격이나 프레임 동기화를 고려한 방법과 유사하다. 즉, 프레임 공격에 안전한 워터마크를 위해 일정 길이를 갖는 구간에는 동일한 워터마크를 삽입함으로써 프레임이 삭제되거나 워터마크의 동기가 잃어버리는 경우에 대비할 수 있을 것이다. 본 실험에서는 프레임 공격의 하나로 알려진 프레임 평균화 공격을 다음과 같이 구현하였다[8]. 먼저, 2개의 프레임의 MSE(mean squared error)를 계산하고, 임의의 임계값과 비교하여 MSE가 적은 경우에는 2개의 프레임을 평균화를

하여 평균화된 프레임은 출력하여 비디오 프레임들 재구성하게 된다. 평균화 공격을 수행한 후 비디오 프레임들은 다시 MPEG-2 압축으로 재압축을 하여야 한다. 따라서, 프레임 평균화 공격에 대해 워터마킹 방법은 평균화 뿐만 아니라 재압축에 대한 강인성도 제공되어야 한다.

위의 서로 다른 워터마크 강도를 이용하여 워터마크를 삽입한 10개의 비디오 프레임에 대해서, 평균화 공격을 수행한 후에 각각 5Mbps의 bit rate로 MPEG-2 재압축을 수행하였다.

그림5는 평균화 공격이 이루어진 비디오 프레임들 나타내고 있는데, 실제 평균화 공격에 의한 프레임의 흐려짐(blurring)을 살펴볼 수 있지만, 실제 비디오의 재생 시에는 움직임들에 의해 잘 인지되지 않는다.

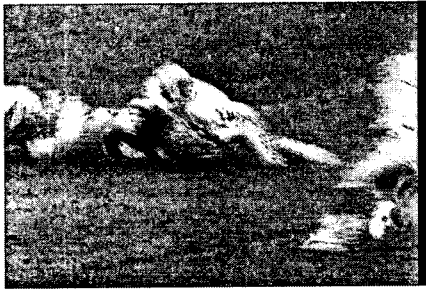


그림 5. 평균화 공격에 의한 프레임 프레임 공격 후의 비디오에 대한 비트 에러율을 표1과 같이 얻을 수 있다.

표 1. 프레임 평균화 공격 후의 비트 에러율

비디오 \ Bit rate	6Mbps	5Mbps	4Mbps
워터마크가 삽입된 비디오	0	0.0029	0.0043
재압축만을 수행한 비디오	0.0014	0.0014	0.0086
평균화공격을 수행한 비디오	0.0057	0.016	0.04
증가된 평균 비트 에러 수	0.4	0.9	2.5

표1의 결과로부터 5Mbps의 bit rate 이하로 압축한 비디오 프레임에 프레임들 공격한 경우, 비트 에러율이 증가되고 있음을 알 수 있다. 재압축만을 수행한 경우보다 프레임들 평균화 처리를 포함한 프레임 평균화 공격이 보다 많은 비트 에러가 발생이 되었다. 그러나, 삽입한 70비트에 대해서 평균적으로 4Mbps를 제외하고는 1비트 이하의 비트에러만 증가되었음을 알 수 있다. 또한, 워터마크의 강도를 증가시켜 프레임 평균화 공격에 대한 강인성을 증가시키는 것이 가능하며, 그 결과 표2에 나타내었다. 표1과 표2의 결과로부터 제안 방식은 MPEG-2 압축, 재압축 뿐만 아니라 프레임 평균화 공격에 대한 강인성을 제공함을 실험적으로 확인할 수 있다.

표 2. 프레임 평균화 공격 후의 비트에러율 (워터마크 강도의 증가 후)

대상 \ Bit rate	6Mbps	5Mbps	4Mbps
워터마크가 삽입된 비디오	0	0.003	0.006
평균화공격	0.0014	0.0086	0.027
증가된 평균 비트 에러 수	0.1	0.5	1.7

5. 결론

본 논문에서는 비디오 프레임 간의 특징을 이용하여 워터마크 삽입할 영역을 구성하고, DCT 계수에 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. 또한, 워터마크 비트를 일정한 수의 프레임 길이에 동일하게 삽입함으로써, 프레임 제거 및 프레임 평균화와 같은 프레임 공격에 대한 강인성을 제공하였다. 실험 결과에 따르면, 제안 방식은 MPEG-2 비디오 압축 및 프레임 공격에 대한 어느 정도의 강인성을 제공함을 알 수 있었다. 본 논문에서는 워터마크가 삽입된 프레임에 대한 기하학적 공격에 대한 강인성을 정지 영상을 대상으로 하는 방법을 적용가능하지만, 이 경우에는 복잡한 변환을 이용하는 방법이므로 비디오 데이터에 대하여 적용하는 것은 문제가 된다. 따라서, 기하학적 공격에 강인한 비디오 워터마킹에 대한 연구가 향후에 이루어져야 할 것이다.

[감사의 글]

본 논문은 정보통신부 지원 “디지털 콘텐츠 관리 기술 개발” 과제의 수행 결과의 일부로서 관계자분들에게 감사의 글을 전합니다.

[참고문헌]

- [1] B. Swanson and A. H. Tewfik, "Multiresolution scene-based video watermarking using perceptual models," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 6(4), pp.256-270, 1998
- [2] Z. Zhu and Y. Zhang, "Multiresolution watermarking for images and video," IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology, 9(4), pp.545-550
- [3] T. Y. C. et al., "Digital Watermarking for copyright protection of mpeg2 compressed video," IEEE Transaction on Consumer Electronics, 44(3), pp.895-901, 1998
- [4] F. Hartung and B. Girod, "Watermarking of uncompressed and compressed video," Signal Processing 66, pp.298-310, 1998
- [5] G. Langelaar and J. Biemond, "Real-time labelling of mpeg-2 compressed video," Journal of Visual Communication and Image Representation, 9(4), pp.256-270, 1998
- [6] G. C. F. Dequillaume and T. Pun, Counter measure for unintentional and intentional video watermarking attacks," Security and Watermarking of Multimedia Contents II, SPIE Proceeding, 3971, 2000
- [7] E. T. Lin and E. J. Delp, "Temporal synchronization in video watermarking," Security and Watermarking of Multimedia Contents IV, SPIE Proceeding, 4675, 2002
- [8] 이혜주, 홍진우, "비디오 워터마킹에 대한 프레임 공격 구현", 한국멀티미디어학회 추계학술발표대회, 2002