

# 프레임 평균을 이용한 기하학공격에 강인한 비디오 워터마킹 알고리즘

이승욱<sup>o</sup> 유원영 김진호  
 한국전자통신연구원 가상현실연구부  
 {tajinet<sup>o</sup>, zero2, jhokim}@etri.re.kr

## A Video Watermarking System Resistant to Geometric Attacks using Frame Average

Seung Wook Lee<sup>o</sup>, Won Yong Yu, Jin Ho Kim  
 Dept. of Virtual Reality R&D, Electronics and Telecommunications Research Institute

### 요 약

본 논문에서는 절삭, 크기변화, 회전, 프로젝션 등의 기하학적 공격에 매우 강인한 비디오 워터마킹 알고리즘을 소개한다. 동기정보를 파괴하는 기하학 공격은 원 비디오 데이터의 화질을 크게 손상하지 않으면서도 워터마크 정보를 극단적으로 제거할 수 있는 공격이며, 이에 대한 연구는 아직 미비하다. 한 프레임의 휘도성분의 평균값은 전역 혹은 지역적인 기하 공격에 강인하다는 것은 잘 알려진 사실이다. 그러므로 휘도성분의 평균값을 워터마크 정보에 따라 변화시키면 기하학 공격에 강인한 비디오 워터마킹 알고리즘을 만들 수 있다. 제안된 방법의 용량성과 비가시성 향상을 위해 간단하지만 매우 효율적인 시공간적 인간시각특성이 이용된다. 실험결과에 의하면 제안된 방법은 기하학공격과 압축 등의 공격이 동시에 일어나도 삽입된 워터마크 정보를 추출할 수 있음을 보여준다.

### 1. 서 론

워터마킹이란 텍스트, 영상, 비디오, 오디오등의 디지털 콘텐츠에 인간의 시각이나 청각에 식별이 불가능한 소유권정보를 삽입하여 저작권 분쟁이 발생하였을 경우 이를 추출하여 원 저작권을 보호하는 기술이다[1]. 워터마킹이 제대로 된 기능을 발휘하기 위해선 여러 종류의 신호처리에 강인해야 한다. 특히 앞서 설명한 바와 같이 동기정보를 파괴하는 기하학적 공격에 강인해야 한다.

이러한 기하학공격에 강인한 알고리즘 개발을 위해 워터마크를 기하학공격 후 변하지 않는 영역에 넣는 방법이 연구되었고, 정해진 패턴을 미리 삽입하는 방법도 개발되었다. 또한 특징점을 추출하여 워터마크를 삽입하는 방법도 개발되었으며, 영상을 정규화 하여 워터마크를 삽입하는 방법도 개발되었다.

본 논문에서는 기하학공격에 비교적 덜 민감한 프레임 평균값을 워터마크 신호와 인간시각특징인 JND (Just Noticeable Difference)를 이용하여 공간영역에서 조금 변화시킨 후 이를 원본 비디오와 대치함으로써 기하학 공격에 강인한 알고리즘을 고안한다. 또한 비디오 워터마킹의 요구사항 중 하나인 실시간성을 고려하였다.

### 2. 프로토타입 시스템

그림 1은 프로토타입의 워터마크 삽입 시스템을 보여준다.

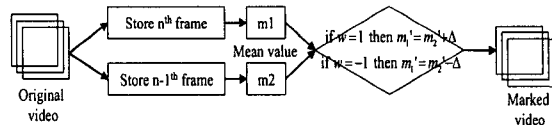


그림 1. 프로토타입의 워터마크 삽입 시스템

#### 2.1 워터마크 삽입

그림 1에서 설명된 바와 같이 워터마크는 다음과 같이 삽입된다.

- $n^{\text{th}}$ 프레임을 메모리 1에 넣고 평균  $m_1$ 을 계산한다.
- $(n-1)^{\text{th}}$ 프레임을 메모리 2에 넣고 평균  $m_2$ 를 계산한다.
- 식 1을 만족하도록  $m_1$ ,  $m_2$ 중 오직 하나만 변경한다. 여기서  $\Delta$ 는 삽입되는 워터마크의 강도를 나타낸다.

$$\begin{cases} m_1' = m_2 + \Delta, & \text{if watermark} = 1 \\ m_1' = m_2 - \Delta, & \text{if watermark} = -1 \end{cases} \quad (1)$$

- 원 프레임을 변경된 프레임으로 교체한다.

제안된 시스템에서는 한 비트의 정보가 연속된 두 프레임에 삽입된다. 처음 두 프레임에 한 비트의 정보가 삽입되고 다음 두 프레임에 또 다른 한 비트의 정보가 삽입된다. 30fps의 비디오를 생각하면 삽입되는 정보량은 15bpf

이 되는데 이는 매우 적은 양이다. 또한 ECC등을 적용하면 실제 삽입 될 수 있는 정보량은 더욱 줄어들게 된다[2]. 3장에서는 성능이 개선된 시스템을 소개한다.

식 1을 만족시키기 위해 각 프레임의 휘도성분을 다음과 같이 변화시킨다.

- $f_1(x,y)$ ,  $f_2(x,y)$ 를 프레임 1과 2의 (x,y)에서의 휘도성분으로 정의한다.
- 만약 워터마크가 1이라면,  $m_1 > m_2$  이면  $f_1'(x,y) = f_1(x,y) - \Delta_m + \Delta$  그렇지 않으면  $f_2'(x,y) = f_2(x,y) - \Delta_m - \Delta$ 로 정의한다. ( $\Delta_m = |m_1 - m_2|$ )
- 위의 양변을 평균하면 식 1이 만족된다. 워터마크가 0인 경우에도 비슷한 방법을 이용한다.

### 2.2 워터마크 추출

제안된 방법에서는 워터마크의 추출은 아주 빠르고 쉽다. 각 프레임의 평균을 계산하여 크기만 비교하면 된다.

- 입력 프레임에서 연속된 평균  $m_1$ ,  $m_2$ 를 계산한다.
- 워터마크의 추출은 다음 식을 따른다.

$$\begin{cases} \text{watermark} = 1, & \text{if } m_1 > m_2 \\ \text{watermark} = -1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

앞서 언급한 바와 같이 프레임의 평균값은 기하공격과 waveform 공격에 둔감하다. 즉 대부분의 기하공격과 다른 신호처리에도 삽입된 워터마크는 추출된다. [3]에서 프레임의 평균값과 SPOMF(Symmetrical Phase Only Matched Filtering)를 이용한 워터마크시스템이 소개된다.

### 2.3 프로토타입 시스템의 문제점

지금까지의 시스템에서는 프레임당 0.5 비트만 삽입 할 수 있다. 이러한 용량은 실제 시스템에 적용하기에는 충분하지 않다. 더구나 실제 시스템에서는 비트 에러율을 줄이기 위해 ECC를 사용하기 때문에 실제 정보율은 0.5bps미만이다. 또한 각 프레임에 같은 값을 더하는 것은 인간 시각에 매우 거슬리는 flickering 잡음을 유발한다. 이러한 문제들을 향상시키기 위해 향상된 시스템이 3장에서 소개된다.

## 3. 향상된 시스템

정보 용량성을 증가시키기 위해 입력프레임을 분할하고, flickering 잡음을 없애기 위해 시공간상의 인간시각특징을 이용한다.

### 3.1 정보 용량성 문제

입력 영상을 4개의 서브그룹으로 분할하여 정보 삽입 용량을 네 배로 늘릴 수 있다. 워터마크는 연속된 각 서브 그룹별로 삽입된다. 그림 2는 이러한 아이디어를 설명한다.

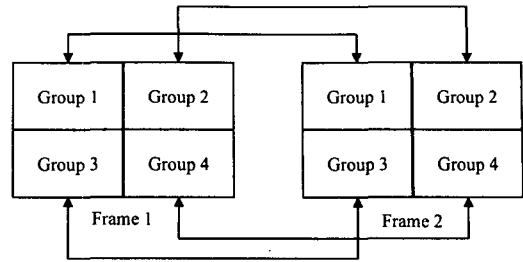


그림 2. 정보 용량을 늘이는 방법: 입력 영상  $f_1$ 과  $f_2$ 는 각각 4 그룹으로 나누어지고  $f_1$ 의 그룹 1과  $f_2$ 의 그룹 1을 이용하여 한 비트의 정보를 삽입한다. 나머지 세 그룹에 대해서도 같은 작업을 한다.

이런 방법으로 30fps 비디오를 가정하면 60bps의 정보량을 삽입 할 수 있다.

### 3.2 인간시각모델을 이용한 비가시성 증대

2장에서 사용된 방법만으로는 flickering 잡음 같은 화질 열화를 해결 할 수 없다. 이를 위해 시공간 영역에서의 인지모델을 사용한다.

#### 3.2.1 공간영역에서의 인간시각모델: JND

공간영역상의 인지모델로 JND가 사용된다[4].

$$\log(\mathcal{L}(L_i)) = \begin{cases} -2.86 & \text{if } \log(L_i) < -3.94 \\ (0.405 \log(L_i) + 1.6)^{2.18} - 2.86 & \text{if } -3.94 \leq \log(L_i) < -1.44 \\ \log(L_i) - 0.395 & \text{if } -1.44 \leq \log(L_i) \leq -0.0184 \\ (0.249 \log(L_i) + 0.65)^{2.7} - 0.72 & \text{if } -0.0184 \leq \log(L_i) < 1.9 \\ \log(L_i) - 1.255 & \text{if } \log(L_i) \geq 1.9 \end{cases} \quad (3)$$

이 수식의 의미는 다음과 같다. “배경이  $L_a$ 인 휘도성분 위에  $L_a + \Delta L_a$ 의 값을 가지는 조각이 있으면 이 조각은 구별되지만,  $L_a + \epsilon$  ( $\epsilon < \Delta L_a$ )의 값을 가지는 조각은 구별되지 않는다.” 이러한 사실을 가지고 다음과 같은 작업을 수행한다.

- 삽입 수식을 다음과 같이 수정한다. 이는 “워터마크 정보가 두 프레임에 나뉘진다”를 의미한다.

$$\begin{cases} m_1' = \frac{[(m_1 + m_2) + \Delta]}{2}, m_2' = \frac{[(m_1 + m_2) - \Delta]}{2} & \text{if WM} = 1 \\ m_1' = \frac{[(m_1 + m_2) - \Delta]}{2}, m_2' = \frac{[(m_1 + m_2) + \Delta]}{2} & \text{if WM} = -1 \end{cases} \quad (4)$$

- 2장에서는 각 픽셀마다 같은 값이 더해졌지만 향상된 시스템에서는 다른 값이 더해진다.
- $f_1'(x,y) = f_1(x,y) + a(x,y)$ ,  $a(x,y) = \alpha \cdot \Delta L_1(x,y)$ 라고 정의한다. 여기서  $\Delta L_1(x,y)$ 는 식 3을 이용하여 계산된 프레임 1의 (x,y)에서의 JND값이다.
- 워터마크 정보가 1 이라고 가정하자. 이때 양변을 모

든 픽셀에 대해 더하면  $m_1' \cdot M \cdot N = m_1 \cdot M \cdot N + A = 1/2 \cdot [M \cdot N \cdot (m_1 + m_2 + \Delta)]$ ,  $A = \alpha \sum \sum \Delta L_1(x, y)$ , 이다. 즉

증폭계수  $\alpha = \frac{(m_2 - m_1 + \Delta)/2}{\sum \sum \Delta L_1(x, y)} \cdot M \cdot N$  이 된다.

- 비슷하게,  $f_2'(x, y) = f_2(x, y) + b(x, y)$ ,  $b(x, y) = \beta \cdot \Delta L_2(x, y)$  이고 양변을 픽셀에 대해 더하면  $m_2' \cdot M \cdot N = m_2 \cdot M \cdot N + B = 1/2 \cdot [M \cdot N \cdot (m_1 + m_2 - \Delta)]$  이므로  $\beta = \frac{(m_1 - m_2 - \Delta)/2}{\sum \sum \Delta L_2(x, y)} \cdot M \cdot N$  이 된다. 전체 워터마크 삽입은 다음과 같이 이루어 진다.

$$\begin{cases} f_1'(x, y) = f_1(x, y) + \frac{0.5 \times (m_2 - m_1 + \Delta) \cdot M \cdot N}{\sum \sum \Delta L_1(x, y)} \cdot \Delta L_1(x, y) \\ f_2'(x, y) = f_2(x, y) + \frac{0.5 \times (m_1 - m_2 - \Delta) \cdot M \cdot N}{\sum \sum \Delta L_2(x, y)} \cdot \Delta L_2(x, y) & \text{if WM}=1 \\ f_1'(x, y) = f_1(x, y) + \frac{0.5 \times (m_2 - m_1 - \Delta) \cdot M \cdot N}{\sum \sum \Delta L_1(x, y)} \cdot \Delta L_1(x, y) & \text{if WM}=-1 \\ f_2'(x, y) = f_2(x, y) + \frac{0.5 \times (m_1 - m_2 + \Delta) \cdot M \cdot N}{\sum \sum \Delta L_2(x, y)} \cdot \Delta L_2(x, y) \end{cases}$$

### 3.3.2 시간영역에서의 인간시각모델

시간영역에서의 인지모델은 다음과 같다.

- 워터마크 강도  $\Delta$ 는  $\Delta_m = |m_1 - m_2|$ 에 따라 변한다.

$$\begin{cases} \Delta' = 0.8 \times \Delta & \text{if } \Delta_m < th_1 \\ \Delta' = 0.9 \times \Delta & \text{if } th_1 \leq \Delta_m < th_2 \text{ 혹은 } \Delta' = \cdot scaling\_factor \cdot \Delta_m \\ \Delta' = 1.0 \times \Delta & \text{if } th_2 \leq \Delta_m < th_3 \\ \Delta' = 1.1 \times \Delta & \text{if } \Delta_m \geq th_3 \end{cases}$$

- 만약  $\Delta_m$ 이 어떤 기준치보다 크다면 그 프레임에는 워터마크를 삽입하지 않고 다음 프레임으로 넘어간다.

### 4. 실험결과

제안된 알고리즘을 검증하기 위해 CIF크기의 300프레임 영상으로 실험을 하였다. 총 삽입되는 비트는  $4 \cdot 300 / 2 = 600$  이고  $th_1 = 0.1$ ,  $th_2 = 0.2$ ,  $th_3 = 0.3$  그리고  $\Delta$ 는 3 이다.

그림 3은 4가지 대표적인 기하학적 공격을 보여준다.

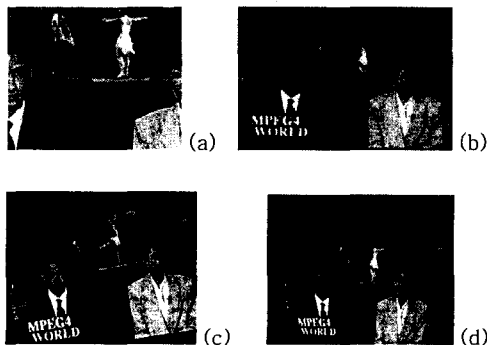


그림 3. 4가지 공격된 프레임: (a)절삭-50%, (b)크기변화-100 by 150, (c)회전-5°회전, (d)프로젝션-왼쪽 아래 픽셀이 50픽셀 오른쪽으로 이동하고 오른쪽 아래 픽셀이 50픽셀 왼쪽으로 이동

표 1은 300kbps MPEG공격과 네 가지 기하공격이 동시에 발생했을 때의 상관도를 나타낸 것이다. 결과에서 알 수 있듯이 제안된 알고리즘은 기하공격과 다른 신호처리에 강인함을 알 수 있다. 이 알고리즘을 이용하면 휴대용 캠코더로 영화를 캡처 할 때 발생할 수 있는 모든 공격에 대하여 삽입된 워터마크를 추출 할 수 있다.

표 1. 기하공격과 압축이 동시에 일어났을 때의 상관도

절삭[%]	크기변화[%]	회전[°]	프로젝션[pix]	상관도
40	0.82	150	0.90	10 0.87
50	0.78	120	0.89	15 0.83
60	0.72	80	0.89	20 0.78
70	0.55	50	0.89	25 0.72

### 5. 결론

본 논문에서는 기하학 공격에 강인한 실시간 비디오 워터마킹 알고리즘이 제안되었다. 기본모델에서는 각 프레임에 DC를 더하여 휘도성분의 평균값을 변화시키고 이 변화된 평균값들의 관계에 의해 삽입된 워터마크를 추출하였다. 용량성과 비가시성을 향상시키기 위해 개선된 시스템에서는 시공간에서 인간시각특성을 이용하였고, 입력 프레임을 서브그룹으로 분할하였다. 제안된 방법으로 하면 워터마크 추출을 위한 어떠한 전처리 과정도 필요하지 않으며 실시간성이 보장된다.

### 6. 참고문헌

[1] I., J., Cox, M., L., Miller and J., A., Bloom.: *Digital Watermarking*, Morgan Kaufmann, 2002.  
 [2] S. Pererira, S. Voloshynovskiy, and T. Pun.: *Effective Channel Coding for DCT Watermarks*. in Proceedings of International Conference on Image Processing, Vol. 3, 671-673, 2002  
 [3] Haitzma, J.; Kalker, T.:. *A watermarking scheme for digital cinema*, in Proceedings of International Conference on Image Processing, Vol. 2, 7-10 Oct. 2001.  
 [4] G. W. Larson, H. Rushmeier, C. Piatko.: *A Visibility Matching Tone Reproduction Operator for High Dynamic Range Scenes*. Technical Report LBNL-39882, Lawrence Berkeley National Laboratory, March 1997.