

윤곽선 정보를 이용한 개선된 DEW 알고리즘 An Improved DEW Algorithm Using Edge Information

이 상 광, 김 경 수, 임 성 재, 호 요 성
Sang-Kwang Lee, Kyung-Su Kim, Seong-Jae Lim and Yo-Sung Ho

광주과학기술원 정보통신공학과
Department of Information and Communications

Kwangju Institute of Science and Technology(K-JIST)
Oryong-Dong Puk-Gu
Kwangju, 500-712, Korea
Phone: (62) 970-2247
Fax: (62) 970-2204
E-mail: sklee@kjist.ac.kr

The DEW(Differential Energy Watermarking) algorithm requires only partial decoding and no re-encoding. However, the robustness is limited. Re-encoding increases the error rate of the embedded bits much, and the method does not resist re-encoding using another group-of-picture(GOP) structure, since DCT coefficients of a block are different depending on whether the frame is encoded as I, P or B frame. Since DCT coefficients of the video are removed, care must be taken to adjust the parameters properly in order to avoid visible blurring. In this paper, we propose an improved DEW algorithm using edge information. In order to efficiently reduce blurring the edges, we exploit the local features of blocks. We decide the location to remove depending on the direction of edges in the block. The direction of edges is classified by considering DCT coefficients and each high frequency component is removed with a different weighting value according to their directions. We have compared and evaluated our proposed algorithm with the DEW algorithm. The experimental results have shown that our algorithm is still robust and the quality of watermarked image is enhanced.

Keywords: DEW(Differential Energy Watermarking), Block-based Edge Classification

1. 서론

최근 디지털 오디오, 정지영상, 그리고 동영상과 같은 디지털 콘텐츠의 저작권 보호의 필요성이 대두되면서 디지털 워터마킹에 대한 관심이 고조되고 있다. 디지털 콘텐츠는 아날로그 신호에 비해 다양한 이점들을 제공해 주지만, 원본과 동일한 대량의 복사본이 불법적으로 배포될 수 있어서 저작권 보호에 심각한 위협이 되고 있다. 워터마킹은 소유자 확인 (owner identification), 특허권 사용료 지불 (royalty payment), 원본 조작 여부 인증 (authentication)에 사용될 수 있다.

워터마킹이란 오디오, 정지영상, 비디오 신호 등의 멀티미디어 데이터에 들리지 않거나 보이지 않도록 데이터의 소유권 정보를 삽입하는 과정으로, 일단 워터마킹된 데이터는 사용 권한이 없는 사용자에게 통계적으로 소유권 정보의 검출이 불가능해야 하며, 필터링이나 압축 등과 같은 공격

에도 소유자에 의해서는 소유권 정보의 검출이 가능해야 한다.

정지영상 워터마킹에 비해 비디오 워터마킹에 관한 연구는 미비한 실정이다. 하지만, 비디오 워터마킹에 대한 관심은 DVD(Digital Versatile Disk) 등과 같은 응용 분야에서 고조되고 있다. 비디오 워터마킹은 이용 가능한 신호 영역이 넓은 반면, 구조 특성상 공격 받을 여지가 많으므로 특별한 접근 방법이 필요하다. 또한, 실시간이 요구되는 경우 복잡도 문제는 중요한 고려 사항이 된다 [1]. 대표적인 비디오 워터마킹 방법은 다음과 같다.

Hartung과 Girod [2]는 대역확산 방법을 이용하여 압축된 비디오에 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. 압축영역에서 I, B, 그리고 P-프레임에 대해 각각의 8x8 DCT 블록에 해당되는 워터마크 신호가 DCT 계수들에 더해진다. 비트율 제어는 기존의 계수들과 워터마크가 삽입된 후의

계수들에 대한 비트수를 비교함으로써 수행된다. 즉, 워터마크가 삽입된 후의 비트수가 삽입전의 비트수보다 많게 되면 워터마크를 삽입하지 않는다. 또한, 모든 프레임에 워터마크를 삽입하고 있기 때문에 워터마크 삽입에 의한 오류가 그 프레임을 참조하는 프레임으로 전파되는데, 이를 막기 위해 오류 보상(drift compensation)을 하고 있다. 하지만 이 방법은 압축 영역에서 실행될 수 있으나 계산 복잡도 면에서 실시간 워터마크 삽입 및 검출이 어렵다.

Langelaar *et al.* [3, 4]은 임의의 DCT 블록들 간의 고주파 성분의 에너지 차를 만들어 실시간으로 워터마크를 삽입하는 DEW(Differential Energy Watermarking) 알고리즘을 제안하였다. 이 방법은 부분적인 복호화만이 요구되며 다시 부호화할 필요가 없다. 하지만, 재압축 과정으로 인해 삽입된 비트의 오류율이 상당량 증가되고, I, B, 또는 P-프레임에 대해 적용되는 DCT 계수들이 다르기 때문에 다른 GOP(Group-of-picture) 구조를 사용하는 재압축에 강인하지 못하다. 또한, DCT 계수를 제거함으로써 생기는 시각적인 흐림 현상(blurring)을 줄이기 위해 제거할 고주파 성분의 위치 결정에 주의를 기울여야 한다.

본 논문에서는 블록의 국부적인 특징을 이용하여 이러한 문제점을 개선하였다. 블록에 포함된 윤곽선의 형태에 따라 제거할 고주파 성분의 위치를 결정한다. 각 블록에서 윤곽선의 방향은 DCT 계수를 이용하여 분류되며, 그 방향에 따라 가중치를 달리하여 제거할 고주파 성분의 양을 결정한다. 본 논문의 구성은 2장에서 DEW 알고리즘에 대해서 서술하고, 3장과 4장에서는 윤곽선 분류 방법과 그것을 이용한 개선된 DEW 알고리즘에 대해 설명한다. 5장에서 실험을 통해 제안한 방법과 DEW 알고리즘을 비교 평가한다. 마지막으로 6장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

2. DEW 알고리즘

정지영상이나 비디오 프레임에 삽입되는 비트열은 압축 영역에서 추출한 n 개의 8×8 DCT 블록 집합에 비트 단위로 삽입된다. 정지영상과 MPEG 1-프레임이 이미 압축되어 있는 것으로 가정하여 8×8 DCT 블록에서의 연산을 수행한다. 만약 영상이 DCT 압축된 것이 아닌 경우, 전처리 단계로서 영상 데이터의 블록 기반 DCT 변환을 해야 한다.

의도적 또는 비의도적인 공격에 강인하기 위해, 일반적으로 n 은 16에서 64의 값을 취하며, n 단위로 단일 비트가 삽입된다. 하지만, 비트가 삽입되기 전에 각 8×8 DCT 블록들의 위치는 그림 1(b)에서 보인 것과 같이 임의로 뒤섞인다. 이러한 뒤섞임 연산은 비트열 삽입 알고리즘의 비밀키

(secret key)를 생성하게 된다.

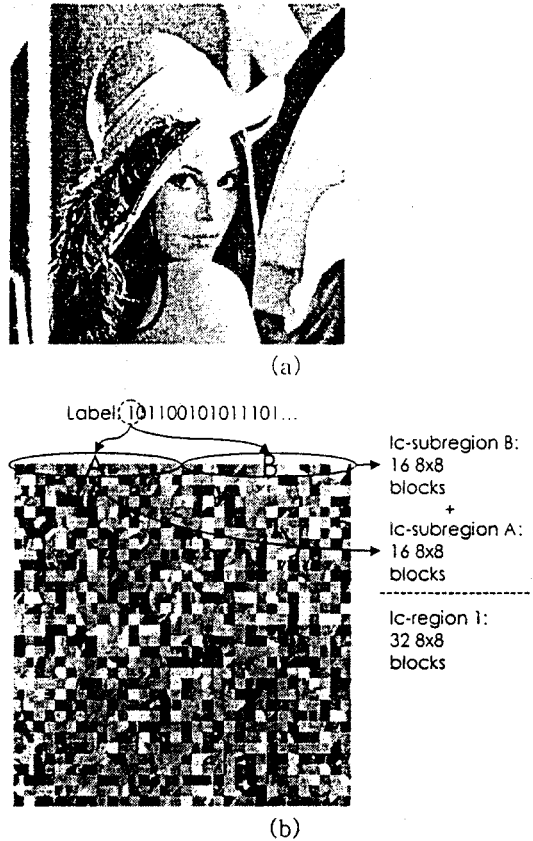


그림 1. (a) 원영상 (b) 블록 단위로 뒤섞인 영상

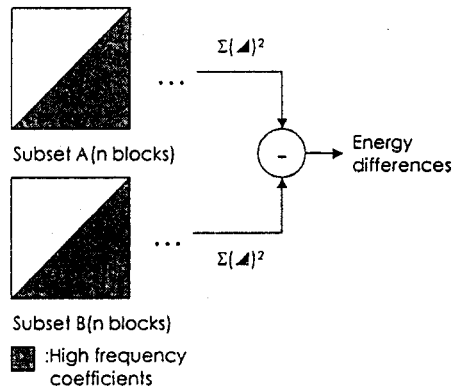


그림 2. 고주파 DCT 계수의 에너지 차이 계산

각 비트는 뒤섞인 영상에서 그에 대응하는 lc-영역(label bit-carrying-region)에 삽입된다. 예를 들면, 그림 1(b)에서 첫번째 비트는 32개 DCT 블록들로 이루어진 lc-영역에 삽입된다. 삽입되는 비트는 16개 DCT 블록들을 포함하는 lc-서브영역 A의 고주파 DCT 계수와 16개 DCT 블록들을 포함하는 lc-서브영역 B 사이의 에너지 차이를 조작하여 부호화된다. 만약 lc-서브영역 A

가 lc-서브영역 B보다 더 많은 고주파 에너지를 포함한다면, 비트 값 '0'이 데이터로 삽입되고, 반대의 경우에는 '1'이 삽입된다. 그림 2는 이러한 과정을 보여주고 있다.

정지영상이나 비디오 프레임의 고주파 에너지를 결정하기 위해, 지그재그 스캔된 DCT 계수의 블록 집합에서 에너지를 계산한다. 에너지 계산에 이용될 DCT 계수들은 컷오프 인덱스로 결정한다. 삽입될 비트의 강인성과 시각성을 고려하여 적절하게 컷오프 인덱스를 선택해야 한다. 또한, DEW 알고리즘은 압축 영역에서 비트 삽입에 관련된 lc-서브영역의 블록 끝부분만 알면 되므로 부분적인 복호화만이 요구되며, 다시 부호화할 필요가 없다.

3. 윤곽선 분류

본 절에서는 DCT 계수의 일부를 이용한 간단한 블록 기반의 윤곽선 분류 방법을 기술한다. 8x8 블록 영상 $f(i, j)$ 에 대한 DCT 계수는 다음과 같이 계산된다.

$$C(u, v) = \frac{c_u c_v}{4} \sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 \cos \frac{(2i+1)u\pi}{16} \cos \frac{(2j+1)v\pi}{16} f(i, j) \quad (1)$$

여기서,

$$c_u, c_v = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & \text{for } u, v = 0 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

블록 크기가 8x8일 때, 64개의 DCT 계수 중에서 수직과 수평 윤곽선 성분을 나타내고 있는 $C(0,1)$ 과 $C(1,0)$ 만을 이용하여 각 블록의 윤곽선 방향을 결정한다.

$$C_h = C(1,0) = \frac{c_1 c_0}{4} \sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 \cos \frac{(2i+1)\pi}{16} f(i, j) \quad (3)$$

$$C_v = C(0,1) = \frac{c_0 c_1}{4} \sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 \cos \frac{(2j+1)\pi}{16} f(i, j) \quad (4)$$

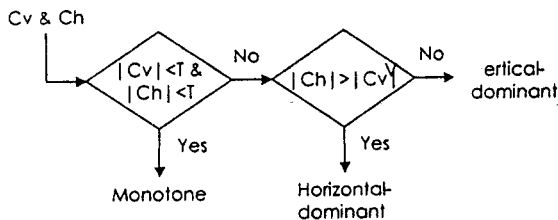


그림 3. 윤곽선 분류 알고리즘

즉, 8x8 블록 단위로 윤곽선 블록과 윤곽선이 없는 평탄한 블록(monotone)으로 분류할 수 있으며,

윤곽선 블록은 수직 방향과 수평 방향으로 나눌 수 있다. 이러한 윤곽선 분류 알고리즘은 그림 3과 같다 [5].

4. 개선된 DEW 알고리즘

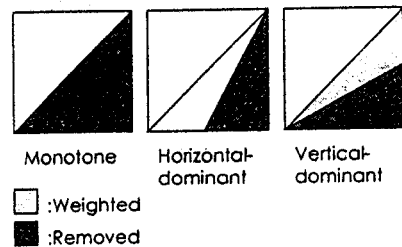
DEW 알고리즘에서는 삽입되는 비트의 강인성을 보장하면서 시각적인 왜곡을 줄이기 위해 제거할 고주파 DCT 계수의 선택이 매우 중요하다. 본 논문에서는 블록들의 국부적인 특징을 이용하여 흐름 현상을 개선하였다. 즉, lc-영역내의 블록들은 윤곽선 방향에 따라 분류되고 그 방향에 해당되는 DCT 계수들에 가중치를 적용하여 윤곽선을 보존한다.

식 (1)의 DCT 계수 $C(u, v)$ 는 블록내의 모든 화소값을 선형 조합한 형태이다. 따라서, 블록내의 화소값과 그에 해당되는 DCT 계수 사이의 관계를 이용할 수 있다. 예를 들면, DC 계수는 블록의 평균 휘도값을 나타내며, AC 계수들은 화소값이 어느 방향으로 어느 정도의 비율로 변화하는지를 반영한다. 예를 들면, 식 (4)의 $C(1,0)$ 를 $\cos(\pi - \theta) = -\cos\theta$ 라는 사실을 이용하여 확장하면 다음과 같다.

$$C(1,0) = \frac{c_1 c_0}{4} \left[\cos \frac{\pi}{16} \left(\sum_{i=0}^7 f(0,i) - \sum_{i=0}^7 f(7,i) \right) + \cos \frac{3\pi}{16} \left(\sum_{i=0}^7 f(1,i) - \sum_{i=0}^7 f(6,i) \right) \right. \\ \left. + \cos \frac{5\pi}{16} \left(\sum_{i=0}^7 f(2,i) - \sum_{i=0}^7 f(5,i) \right) + \cos \frac{7\pi}{16} \left(\sum_{i=0}^7 f(3,i) - \sum_{i=0}^7 f(4,i) \right) \right] \quad (5)$$

위 식은 $C(1,0)$ 이 입력 블록의 상위 부분과 하위 부분 사이의 수평 방향 변화에 비례하여 밀접한 관련이 있음을 나타낸다. 또한, $C(0,1)$ 도 입력 블록의 좌측 부분과 우측 부분 사이의 수직 방향 강도와 관련이 있다. 따라서, 그림 3과 같이 어떠한 윤곽선 방향이 지배적인지를 조사한 후, 그 방향성과 관련 있는 DCT 계수들은 그림 4와 같이 가중치를 두어 제거되지 않도록 하여 워터마크가 삽입된 후에 윤곽선이 어느 정도 보존될 수 있도록 하였다.

그림 4. 윤곽선 방향에 따른 고주파 DCT 계수



5. 실험 결과 및 분석

본 실험에서는 256x256 Lena 영상을 사용하였다. 비트가 삽입될 블록의 길이 n 은 32로, 위

터마크 신호로서 32 비트(256x256/(32x8x8))를 삽입하였다. 제안한 방법과 DEW 알고리즘의 결과 영상, 그리고 두 영상 간의 차 영상을 통하여 시각적인 평가를 하였다. 또한, 제안한 방법 성능을 DEW 알고리즘과 비교 평가하기 위해 대표적인 공격 형태인 JPEG 압축에 대한 결과를 기술하였다.

그림 5는 DEW 알고리즘과 제안한 방법의 결과 영상을 보여주고 있다. 그림 5(c)는 DEW 알고리즘과 제안한 방법의 결과 영상 간의 차이 값을 나타낸 영상이다. 고주파 성분이 많이 포함되어 있는 윤곽선 부분에서 큰 차이 값을 보이고 있다. 그림 5(a)와 5(b)에서 보듯이 제안한 방법은 DEW 알고리즘에 의한 흐림 현상을 효과적으로 줄여주고 있으며, 특히 윤곽선 방향이 훼손되지 않고 보존되었다.

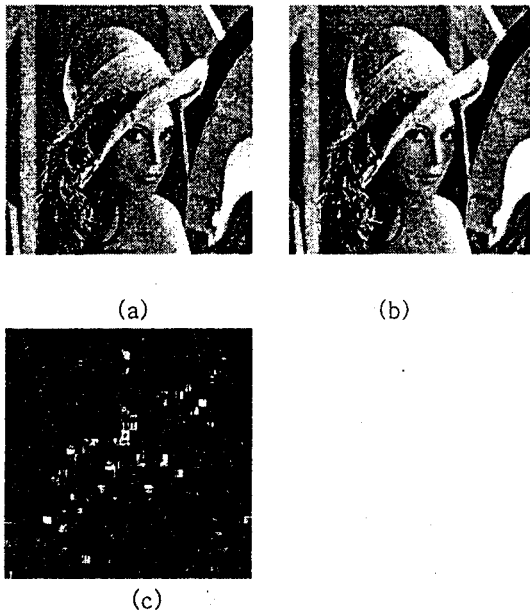


그림 5. (a) DEW 알고리즘 (b) 제안한 방법 (c) 제안한 방법과 DEW 알고리즘간의 차 영상

표 1은 제안한 방법과 DEW 알고리즘을 다양한 JPEG 압축율에 대해 적용하여 얻은 오류율에 대한 결과를 보여주고 있다. 네 가지 압축율에 대해 실험을 하였으며 두 방법 모두 오류율이 동일함을 알 수 있다. 즉, 제안한 방법이 DEW 알고리즘에 비해 고주파 DCT 계수를 적게 제거했음에도 불구하고 그 강인성이 유지된다. 또한, 압축율이 5:1 이상 증가하게 되면 오류율이 큰 값을 가지게 되며, 이는 DEW 알고리즘이 강인성에 있어서 한계를 가지고 있음을 단적으로 보여주는 결과이다.

표 1. JPEG 압축에 대한 오류율

	오류율			
	2:1	4:1	5:1	10:1
DEW 알고리즘	0	0.0156	0.0797	0.2547
제안한 방법	0	0.0156	0.0797	0.2547

6. 결론

본 논문에서는 블록의 국부적인 특징을 이용하여 DEW 알고리즘을 개선하였다. 블록에 포함된 윤곽선의 형태에 따라 제거되는 고주파 성분의 위치를 결정한다. 각 블록에서 윤곽선의 방향은 DCT 계수를 이용하여 분류되며, 그 방향에 따라 가중치를 달리하여 제거되는 고주파 성분의 양을 결정한다. 실험을 통해 제안한 방법이 그 강인성은 유지되면서 DEW 알고리즘의 흐림 현상을 효과적으로 줄여준다는 것을 알 수 있다.

감사의 글

본 연구는 광주과학기술원(K-JIST) 초고속광 네트워크연구센터(UFON)를 통한 한국과학재단 우수연구센터(ERC)와 교육부 두뇌한국21(BK21) 정보기술사업단의 지원에 의한 것입니다.

참고 문헌

- [1] F. Hartung and M. Kutter, "Multimedia watermarking techniques," *Proc. of IEEE*, vol. 87, no. 7, pp. 1079-1107, July 1999.
- [2] F. Hartung and B. Girod, "Digital watermarking of raw and compressed video", in *Proc. SPIE Digital Compression Technologies and Systems for Video Commun.*, vol. 2952, pp. 205-213, Oct. 1996.
- [3] G. Langelaar, R. Lagendijk, and J. Biemond, "Real-time labeling methods for MPEG compressed video," in *Proc. 18th symp. Information Theory*, May 1997.
- [4] G. Langelaar and R. Lagendijk, "Optimal differential Energy Watermarking of DCT Encoded Images and Video," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 10, no. 1, pp. 148-158, Jan 2001.
- [5] B. Shen and I. Sethi, "Direct feature extraction from compressed images," in *Proc. SPIE Storage and Retrieval of Image and Video Databases*, vol. 2670, 1996.