

영상 압축에 강인한 디지털 워터마킹

김희수, 이호영, 김형석, 하영호
경북대학교 전자전기공학부

Robust Digital Watermarking for Image Compression

Hee Soo Kim, Ho Young Lee, Hyung Suk Kim, and Yeong Ho Ha
School of Electronic and Electrical Eng., Kyungpook National University
1370 Sankyuk-Dong, Buk-Gu, Taegu 702-701, Korea
Phone: +82-53-950-5535, Fax: +82-53-957-1194,
E-mail : yha@ee.knu.ac.kr

Abstract

In this paper, we focus on digital watermarking for color images. At first, in order to embed the watermark signal in color image, we converted RGB color space to YCbCr color space which is a world-wide digital component video standard. In addition, we adopted the acceptable degree of color difference in order to keep the invisibility.

1. 서론

아날로그 시대에서 디지털 시대로의 이동이 빠르게 진행되고 있지만 저자나 출판물 같은 콘텐츠 소유자는 디지털 정보 자체를 인터넷이라는 디지털 네트워크에 배포하는 것에 조심스럽지 않을 수 없다. 파일 하나를 순식간에 복사하여 원본과 거의 동일한 정보를 가지고서 배포되기 때문이다. 그럼에도 불구하고 디지털 콘텐츠가 인터넷을 통해 전자적으로 거래되어야 하는 것은 시대적인 흐름이라 할 수 있다. 따라서 디지털 콘텐츠 저작권 보호 기술에 관심이 모아지고 있다. 또한 많은 콘텐츠 소유자들이 콘텐츠 유료화에 관심을 보임에 따라서 저작권을 보호할 뿐만 아니라 인터넷을 통하여 안정된 저작권 보호 기술 모델을 추진할 수 있는 법적이며 기술적 장치에 대한 관심이 높아지고 있다.

디지털 콘텐츠 저작권 보호 기술은 저작권의 원 소유자가 누구였든지를 추적할 수 있게 하는 워터마킹과 같은 저작권 추적 기술과, 사용 권한(use right)을 획득하지 못한 사람에게서 콘텐츠를 사용하지 못하게 하는 저작권 관리 기술들로 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 저작권 추적 기술의 디지털 워터마킹 적용은 간단한 반면 저작권을 적극적으로 보호하지는 못한다는 단점이 있다. 암호화 기술을 응용한 저작권 관리 기술들은 저작권자가 대가를 지불한 사용자에게만 사용권한을 줄 수 있어 좀 더 적극적인 저작권 보호 기술이다.

초기의 워터마킹 기술은 대부분 공간 영역에서 이루어졌다. 하지만 공간 영역에서 삽입된 워터마크 정보는 압축이나 절단과 같은 외부 공격에 대부분 쉽게 손상이 되는 단점을 가지고 있었다. 이를 보완하기 위한 방법으로 DCT나 Wavelet을 이용한 주파수 영역을 워터마킹에 적용하였다. 외부공격에는 강인함을 가지고 있으나 워터마크 자체를 삽입 또는 검출하는 과정이 공간 영역 워터마킹 방법보다 복잡하다는 단점이 있다.

지금까지 제안된 워터마킹 알고리즘들이 다루는 디지털 멀티미디어 콘텐츠는 주로 그레이 스케일 정지 영상을 공간 영역이나 주파수 영역에서 연구를 하였다. 상대적으로 동영상(video)이나 칼라 영상에 대한 연구는 있었으나 특히 칼라 영상에 대한 연구는 그레이 스케일 정지 영상에 적용한 워터마킹 알고리즘을 R, G, B 각각의 영상에 독립적으로 적용하는 것이 대부분이었다. 동영상의 경우에는 정지영상에 적합한 알고리즘을 연속 프레임에 적용함으로써 저작권 보호가 이루어지는 방법을 널리 사용되고 있다.

본 논문에서는 인간 시각 특성이 영상에서 무채색과 유채색에 대한 색차에 대한 민감도(sensitivity)가 다르다는 성질을 이용하여 워터마킹 후에도 원영상의 변화를 최소화하고 다양한 공격에도 대비할 수 있는 효율적인 워터마킹 방법을 제안하였다.

2. 워터마킹

특정 마크나 고유 번호를 삽입하여 콘텐츠를 식별해 법적 분쟁시 소유권을 입증할 수 있는 기법이다. 멀티미디어 콘텐츠는 복사본이 원본과 동일하기 때문에 대량으로 복사되어도 소유자를 가려낼 수 없는 단점을 보완하기 위해 사용되는 기술이다. 대표적인 저작권 추적 기술에는 워터마킹이 있다.

2.1 정의

사전적인 의미로 워터마크(watermark)란 "투명한 표시"이다. 즉, 워터마크란 오디오, 비디오 또는 이미지 등의 디지털 데이터에 삽입되는 정보의 표시이다. 따라서 워터마킹이란 이미지, 오디오, 비디오 등과 같은 디지털 미디어에 저작권 정보 등과 같은 워터마크를 삽입하는 과정을 말한다. 특히 워터마크를 삽입한 뒤 디지털 미디어의 화질저하는 아주 적어서 눈으로는 워터마크가 삽입되었는지 알 수 없는 경우, 이를 'invisible 워터마크'라고 한다.

보이지 않는 워터마크란 인지되지는 않지만 나중에 전산적인 처리에 의해 추출될 수 있는 워터마크를 의미한다. 이런 과정에서 전산적인 처리를 통한 인증이 된 경우 워터마크를 추출을 허용하기 위해 암호를 요구할 수도 있다. 이런 암호를 워터마크 키(key)라고 하지만 이는 암호화 키(key)와는 다른 것이며 목적도 많은 차이가 있다.

2.2 전제조건

특히 영상에 적용되는 워터마크는 다음과 같은 전제 조건을 만족하여야 한다.

- 삽입된 워터마크는 시각적으로 구별되지 않아야 된

다.

- 영상의 저작권자 및 소유권자는 워터마크를 쉽고 안전하게 검출할 수 있어야 한다.
- 손실 압축이나 필터링과 같은 디지털 영상처리 기법 등에 대하여 워터마크가 영향을 받지 않아야 한다.
- 서명 영상에 대해 제 3의 디지털 서명 공격에 강해야 한다.

2.3 응용분야

워터마킹 방법은 다양한 목적으로 다음과 같은 응용 분야가 있다.

- 소유권주장(Ownership assertion)
- 지문(Fingerprinting)
- 인증 및 무결성 판정(authentication and integrity verification)
- 콘텐츠 라벨링(Content labeling)
- 사용제한(Usage control)

3. 제안한 워터마킹 방법

본 논문에서 제안하는 칼라 정지 영상의 워터마킹 과정은 그림 1과 같으며 다음 과정을 수행하면서 워터

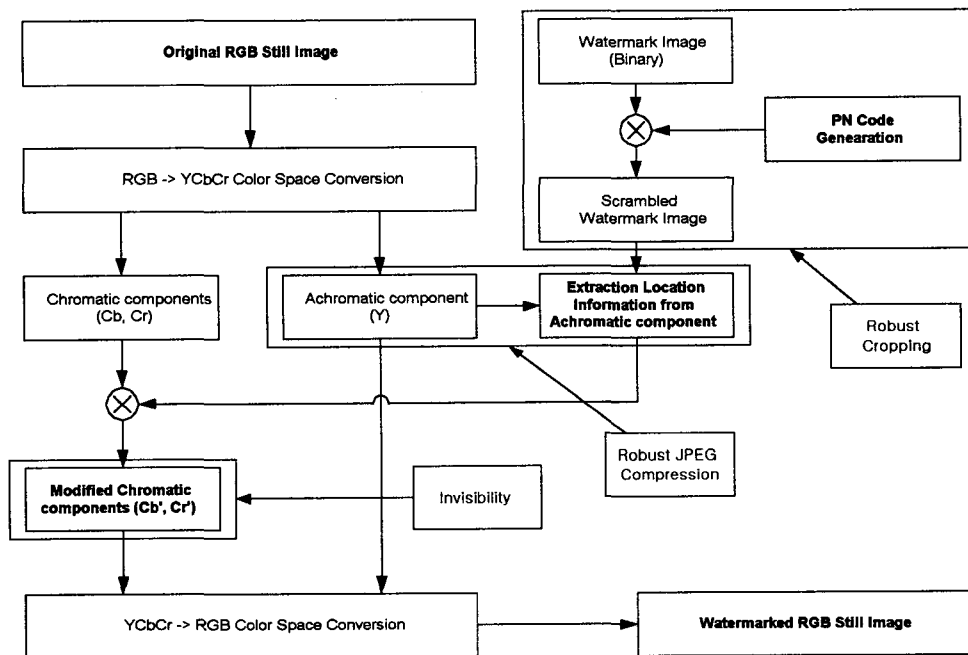


그림 1. 제안한 워터마킹 과정

마크된 영상을 얻을 수 있다.

- 과정 1. RGB 칼라 영상을 YCrCb 색좌표계로 변환한다.
- 과정 2. 무채색 성분(Y)에서 워터마크 신호를 삽입할 위치를 추정한다.
- 과정 3. 워터마크 신호가 삽입될 위치의 유채색 정보(CrCb)를 인간 시각 특성으로 고려하여 변형한다.

일반적으로 인간 시각 체계(HVS, Human Visual System) 특성은 무채색(achromatic; Y) 성분에 대해서는 저주파 특성을 가지며 유채색(chromatic; Cr, Cb) 성분에 대해서는 특정한 대역의 대역통과 특성을 갖는다. 즉, 사람들이 무채색의 변화보다는 유채색의 변화에 둔감한 것이 일반적인 특성이 있다. 이러한 특성을 기반으로 YCrCb 색좌표계에서 특히 유채색 성분에 인간의 감지할 수 없는 색오차 허용 범위 내에서 워터마크 신호를 처리하는 방법을 제안하였다.

3.1 워터마크 삽입

워터마크를 삽입하는 과정은 그림 1에서와 같이 3개의 기능 블록으로 나누어진다. 첫번째 블록은 워터마크 신호 자체를 암호화하기 위한 블록으로 PN 코드를 이용하여 영상자체를 랜덤화 시킴으로써 특히 cropping과 같은 공격에 강한 특성을 갖도록 한다. 두번째 블록은 칼라 정지 영상의 무채색 성분을 이용하여 워터마크가 삽입될 위치를 결정하는 단계이며 이는 JPEG 압축에도 삽입된 워터마크의 손실을 방지하기 위한 방법으로 적용된다. 위치 정보가 추출되면 마지막 단계의 블록으로 워터마크를 삽입하기 위해서는 색차 허용 범위내에서 유채색 정보를 변형하는 단계가 수행된다.

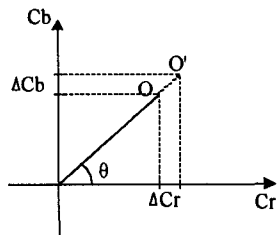


그림 2. 유채색 정보 변형 방법

유채색의 각 화소마다 그림 2와 같이 벡터로 표현이 가능하다. (Cr, Cb) 색도좌표에서 임의의 한 점 $O(x_1, y_1)$ 의 벡터 크기(magnitude)는 색정보에 있어서 색포화도(saturation)를, 각(phase)은 색상(hue) 정보를 의미한다. 색정보 중에서도 중요한 것은 색상 성분이며, 색포화도 성분은 인간 시각 반응이 상대적으로 둔감한 부분으로 워터마크 신호는 벡터의 크기를 변형함으로써 삽입된다.

워터마크가 삽입될 경우 시각적으로 구분이 되지 않

도록 하기 위해 표 1에서 제시하는 색차 허용 범위를 만족하는 범위 내에서 영상의 변형이 이루어져야 한다.

표 1. 인간 시각 특성과 색차 범위

ΔE_{CrCb}	Visual Effect
$\Delta E_{CrCb} < 3$	Not Perceptible
$3 \leq \Delta E_{CrCb} < 6$	Perceptible, but acceptable
$\Delta E_{CrCb} \geq 6$	Not acceptable

표 1은 식 (1)에 대응되는 색차식으로 사용하였다.

$$\Delta E_{CrCb}^* = \left[(\Delta Cr^*)^2 + (\Delta Cb^*)^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

또한 워터마크 영상을 검출하는 과정에서 삽입된 워터마크 영상을 정확하게 추출하기 위한 방법으로 워터마크를 삽입할 때 일정한 형태를 가지면서 원영상을 변형하도록 하는 것이다. 그림 3은 이진 워터마크 영상으로부터 신호가 1인 경우(그레이레벨 255)에는 그림 3(a)처럼 워터마크가 삽입이 되며, 워터마크 신호가 0인 경우(그레이레벨 0)에는 그림 3(b)처럼 부블럭을 교차하여 워터마크를 삽입하는 방법을 사용하였다.

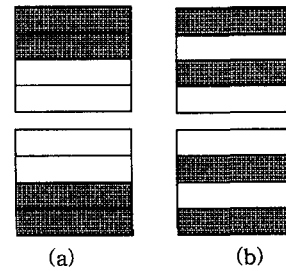


그림 3. 8 x 8 크기의 부블럭내 색정보 변형 패턴
(a) 워터마크가 1인 경우 (b) 워터마크가 0인 경우

3.2 워터마킹 검출과정

워터마크 신호를 검출하는 과정은 삽입 절차중 삽입하는 기능 블록 대신 블록 내의 형태를 기반으로 워터마크 신호를 추출해 낸다. 그림 4은 워터마크 신호를 검출하는 과정에서 중간 과정 영상을 나타내었다.

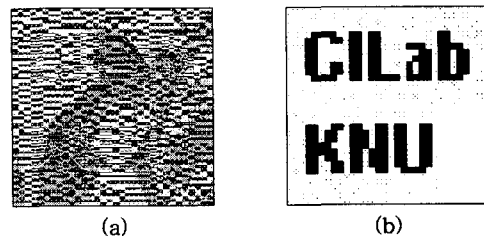


그림 4. 워터마킹 검출 과정 영상들
(a) 검출과정 영상 (b) 검출된 워터마크

4. 실험 및 고찰

제안한 워터마킹 알고리즘을 평가하기 위한 방법으로 실험에 사용된 영상은 256 x 256 크기의 lena.raw (interleaved RGB color) 영상에 적용하였으며 워터마크 영상은 32 x 32 크기의 이진 영상을 사용하였다.

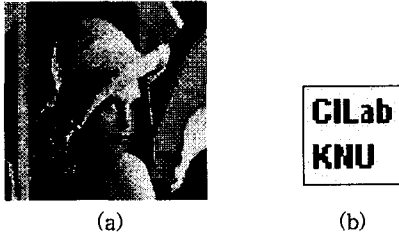


그림 5. 실험영상
(a)원영상 (b)워터마크(2배 확대영상)

워터마크가 삽입된 영상에 대한 비가시성을 평가하기 위해 칼라 영상에 적합한 식(2)를 정의하였으며, 기존의 다른 결과와 비가시성 부분에 대해 표 2에서 비교하였다.

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE}$$

$$\text{where } MSE = \frac{1}{3nm} \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{1}{m} \sum_{R,G,B} \sum_n \sum_m (E_{org} - E_{emb})^2 \quad (2)$$

표 2. 비가시성 부분 비교표

	Cox 방법	Xia 방법	제안한 방법 (전역)	제안한 방법 (선택)
PSNR [dB]	51.36	50.12	46.08	64.65

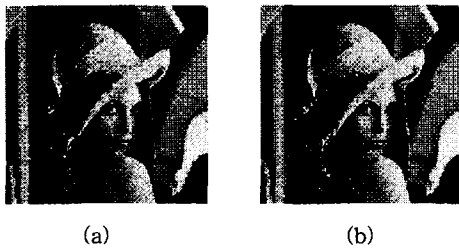


그림 6. 워터마킹 결과 영상들
(a) 전역처리 (b) 부블록 중 선택적 화소처리

그림 6는 워터마크를 삽입한 결과 영상들이다. 전 영역에 워터마크를 삽입한 경우는 블록내 일부 화소만을 변형한 방법과 비교할 때 상대적으로 PSNR 값이 46.08dB로 낮은 결과를 얻었다. 하지만 검출하는 과정

에서는 그림 4에서 언급한 형태의 정보가 많이 보존되기 때문에 압축이라는 공격에는 강한 장점을 가지고 있다.

표 3의 결과는 제안한 알고리즘의 압축에 대한 강인함을 보여주고 있다. 압축률이 90%까지 변화하여도 검출된 워터마크와 원본 워터마크의 유사도가 급격히 감소하지 않음을 볼 수 있다.

표 3. JPEG 압축에 대한 강인성 비교

압축률(%)	30	50	70	90
유사도 (similarity)	90.04	85.74	84.08	73.14

5. 결론

본 논문에서는 멀티미디어 콘텐츠 정보중에서 칼라 정지 영상에 대한 저작권 보호 기술을 제안하였으며, 방송 신호의 표준 좌표계인 YCbCr 형태의 색 좌표계 특성과 인간 시각 특성을 고려하여 인간 시각 체계에서 덜 민감한 유채색 대역에 워터마크를 삽입하고 공격에 강인함을 가지기 위해서 워터마크 삽입 위치 정보를 무채색 영역에서 추출하는 방법을 제안하였다.

앞으로는 정자영상에 대한 단순한 알고리즘보다는 디지털 방송 환경하에 적합한 복합적인 워터마킹 방법 개발이 필요한 상황이다.

References

- [1] M. D. Swanson, M. Kobayashi and A. H. Tewfik, "Multimedia Data-Embedding and Watermarking Technologies," *Proceedings of the IEEE*, vol.86, no.6, pp.1064-1087, June 1998.
- [2] Chee Sun Won, Dong Kwon Park, In Yup Na, and Seong Joon Yoo, "Efficient color feature extraction in compressed video," in *Proc. SPIE Storage and Retrieval for Image and Video Databases VII*, vol.3656, Jan. 1999.
- [3] Akira Shiozaki, "Improvement to a Method of Embedding Robust Watermarks into Digital Color Images," *IEICE Trans. Fundamentals*, vol. E82-A, no.5, May 1999.
- [4] Jon Yngve Hardeberg, *Transformations and colour consistency for the colour facsimile*, diploma thesis, The Norwegian Institute of Technolgy(NTH), Trondheim, Norway, April 1995.
- [5] Ken-ichi Hashida, and Akira Shiozaki, "A Method of Embedding Robust Watermarks into Digital Color Images," *IEICE Trans. Fundamentals*, vol.E81-A, no.10, October 1998.