
색차 정보를 이용한 디지털 워터마킹

김희수*, 하영호*

Digital Watermarking Using Color Difference

Hee-Soo Kim, Yeong-Ho Ha

요 약

본 논문에서는 인간 시각 체계(human visual system) 특성과 DCT 계수 분포 특성을 이용하여 칼라 정지 영상에 효과적으로 워터마크 신호를 삽입하는 방법을 제안하였다. 일반적으로 인간 시각 체계 특성에서 무채색(achromatic) 신호보다 유채색(chromatic) 신호에 대한 변별력이 떨어지는 특성을 이용하여 입·출력 장치로 획득된 RGB 좌표계의 칼라 정지 영상을 무채색 성분과 유채색 성분으로 완벽히 분리되는 다른 좌표계로 변환하여 워터마크를 유채색 신호에 삽입한다. 워터마크를 검출하는 과정에서 원영상을 사용하지 않고 DCT 계수들 간 고유한 특성을 이용하여 삽입된 워터마크를 추출하였다. 칼라 정지 영상을 실험한 결과 특히 비가시성 특성 부분에서 기존 방법들과 비교할 때 향상된 결과를 얻을 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, we proposed the novel digital watermarking for color still image using the characteristics of human visual system and the distribution of DCT coefficients. We insert watermark signal in the chromatic components of YCrCb color space according the characteristics of the human visual system that chromatic component are less sensitive than achromatic components. In order to extract the watermark signal, we use the relationship among the DCT coefficients of watermarked image without using original one. Simulation results show that the proposed watermarking method is better quality on invisibility than the conventional methods.

1. 서 론

아날로그 시대에서 디지털 시대로의 이동이 빠르게 진행되고 있지만 저자나 출판물 같은 콘텐츠 소유자는 디지털 정보 자체를 인터넷이라는 디지털 네트

워크에 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.[1]

디지털 콘텐츠 저작권 보호 기술은 저작권의 원

* 경북대학교 전자전기공학부
접수일자: 2001. 1. 27

소유자가 누구였는지를 추적할 수 있게 하는 저작권 추적 기술과, 사용 권한(use right)을 획득하지 못한 사람에게서는 콘텐츠를 사용하지 못하게 하는 저작권 관리 기술들로 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 저작권 추적 기술의 디지털 워터마킹(digital watermarking)은 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. 하지만 이런 암호화 기술들은 암호화 키(key)의 관리를 어떻게 하느냐에 따라 보안성이 떨어지기도 하며, 암호화 키를 안전하게 저장하기 위한 기술을 덧붙인 기술들이 개발되어 왔다.[2,3]

저작권 추적 기술로써 영상 정보에 적용할 디지털 워터마킹은 다음 특성을 반드시 만족하여야 한다. 첫째는 삽입된 워터마크 신호로 인하여 원래의 영상이 시각적인 왜곡이 없으며 인지가 불가능(invisibility)하여야 하고, 두번째 특성은 워터마크 신호 자체가 A/D 또는 D/A 변환, 압축, 회전, 변환, 절단, 스케일 등과 같은 일반적인 영상처리 과정이나 기하학적인 왜곡과 같은 외부의 공격에도 강인함(robustness)을 가져야 한다는 것이다.

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 흑백 정지 영상에 적용한 워터마킹 알고리즘을 R, G, B 각각의 영상에 독립적으로 적용하는 것이 대부분이었다.[4,5] 동영상의 경우에는 정지영상에 적합한 알고리즘을 연속 프레임에 적용함으로써 저작권 보호가 이루어지는 방법을 널리 사용되고 있다.

본 연구에서는 인간 시각 특성이 영상에서 무채색과 유채색에 대한 색차에 대한 감도(sensitivity)가 다르다는 성질을 이용한 워터마킹 방법을 제안하였다. 정지영상에서 워터마킹의 가장 기본적인 특성인 비가시성의 문제가 칼라 영상에 적용할 경우 인간 시각 체계의 특성을 활용할 수 있으며, 향후 DTV의 동영상 표준이 MPEG-2 방식을 채택함으로써 YCrCb 좌표계를 사용하는 대부분의 동영상 경우 본 논문에서는 칼라 정지영상에 대해 효율적인 워터마킹을 제안하였다.

본 논문의 구성은 II장에서 인간 시각 체계에서 무채색과 유채색을 감지하는 특성을 설명하고 특히 유채색에 둔감한 시각특성을 이용하는 것과 인간 시각의 분해능을 평가하는 객관적인 기준인 색오차에 대한 설명을 하고 III장에서는 워터마크를 삽입하는 방법과 추출하는 방법을 설명한다. IV장과 V장에서는 제안한 디지털 워터마킹 방법의 실험을 통한 성능 평가 및 고찰을 하고 결론을 맺는다.

II. 인간시각체계 특성 및 색공간 변환

2.1 대조민감도(contrast sensitivity) 함수

대조민감도 함수는 인간시각체계에서 사람이 사물을 인지하는 응답 과정을 근사화한 모델로써, 이로부터 객관적인 정보를 추출할 수 있다. 무채색 성분의 공간주파수 응답이 대역 통과 특성을 가지며, 공간주파수 2부터 4사이에서 대조 민감도가 높게 나타나며, 유채색의 공간 주파수 응답은 저주파 통과 필터의 특성을 나타내며, 특히 저주파 대역에서 감도가 높음을 알 수 있다.[6] 그림 1은 무채색과 유채색의 공간주파수에 대한 대조 민감도를 나타내고 있다.

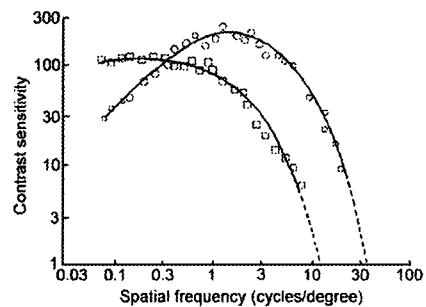


그림 1. 무채색과 유채색의 공간주파수에 대한 대조 민감도

Fig. 1 Contrast sensitivity for spatial frequency for achromatic(o) and chromatic(□).

그림 1의 대조 민감도 특성 곡선에서 각각 차단 주파수의 값은 유채색이 11 cpd(cycles/ degree), 무채색이 31 cpd임을 알 수 있다. 이는 인간 시각 특성 중 분해능이 무채색이 유채색보다 더 뛰어나다는 것을 의미하며, 결국 무채색의 변화를 상대적으로 유채

색의 변화보다 더 민감하게 인간을 인지함을 알 수 있다.

2.2 색차 변별력

색차(color difference, 이하 CD)는 원래의 색과 재 생성(reproduction)된 색 사이에 항상 존재하는 색상의 차이를 나타내며, 이는 재생성된 색상의 유효 범위 차이로 인하여 색상 일치가 제대로 이루어지지 않음으로써 발생한다. 일반적으로 많이 사용하는 등좌표계 CIEL*a*b* 색차식 대신 본 논문에서 YCrCb 좌표계에 적합한 색차식을 다음과 같이 정의하여 사용하였다.

$$\Delta E_{C,C_i}^* = \{(\Delta C_r)^2 + (\Delta C_b)^2\}^{1/2} \dots\dots\dots (1)$$

색차에 따른 인간 시각 감도를 평가 기준은 Hardeberg가 실험한 색차표를 사용하였으며 색차의 범위는 표 1과 같다.[7]

표 1. 색차 수용 범위
Table 1. Acceptable degree of color difference.

$\Delta E_{C,C_i}^*$	시각 현상
$\Delta E_{C,C_i}^* < 3$	색차 구분 불가능
$3 \leq \Delta E_{C,C_i}^* < 6$	색차 구분 가능
$6 \leq \Delta E_{C,C_i}^*$	색차 구분 뚜렷함

인간시각의 색상 변화 감별 능력으로 표시된 색차 값은 정규화된 수치를 나타내며, 이러한 색차 값을 알고리즘에 적용하였다.

2.3 색공간 변환

색공간 변환은 주어진 색좌표계를 사용자의 용도에 적합한 색좌표계로 또는 장치에 적합한 색좌표계로 변환하는 것을 의미하며, 여기서 색좌표계란 각 색성분을 하나의 집합 개념을 이용하여 수학적으로 표현하는 것으로 대표적인 색좌표계는 모니터나 칼라 TV에 적용되는 RGB, 방송이나 TV신호에 적용되는 YIQ, YUV, 또는 YCrCb 그리고 마지막으로 프린터에 적용되는 CMYK과 같은 색좌표계들이 있다.

2.3.1 RGB 색좌표계

RGB 색좌표계는 주로 컴퓨터 그래픽스나 영상처리 분야에서 많이 적용되고 있으며, 적색, 녹색, 청색의 3가지 기본색을 가법적용하여 표현하고자 하는 임의의 색을 자유롭게 만들 수 있다.

실영상을 표현하는 데 있어서 R, G, B 각 채널에 대해 동일한 대역폭을 할당한 RGB 색좌표계는 비효율적이며, 색상(hue), 포화도(saturation), 명도(brightness)와 같은 색 관련 물리적인 정보를 직접적으로 적용하기 어려운 단점이 있다.

2.3.2 YCrCb 색좌표계

YUV 색좌표계로부터 CCIR601 표준화 작업 중에 개발된 색좌표계로써 현재 대부분의 방송, 동영상, 및 영상처리에서 무채색과 유채색 신호 분리가 되는 동영상 표준 색좌표계로 YCrCb를 많이 사용하고 있다. 전송률과 압축률을 고려하여 4:4:4, 4:2:2, 및 4:2:0과 같은 다양한 표본화 형태가 제공되며, 일반적으로 RGB 색좌표계와 호환하여 사용하기 위한 변환식은 식 (2)와 (3)과 같다.[8]

$$\begin{aligned} Y &= 0.257R + 0.504G + 0.098B + 16 \\ C_r &= 0.439R - 0.368G - 0.071B + 128 \dots (2) \\ C_b &= -0.148R - 0.291G + 0.439B + 128 \\ R &= 1.164(Y - 16) + 1.596(C_r - 128) \\ G &= 1.164(Y - 16) - 0.813(C_r - 128) - 0.391(C_b - 128) \dots (3) \\ B &= 1.164(Y - 16) + 2.018(C_b - 128) \end{aligned}$$

2.3.3 Cr-Cb 색도평면

YCrCb 색좌표계는 무채색 Y성분과 유채색 Cr, Cb 성분으로 구성된다. 그림 2는 색도평면에 R, G, B 대표색을 표현하여 YCrCb 색좌표계와 비교하였다.

고유색을 나타내는 색상은 Cr-Cb 색도 평면상에서 식(4)처럼 위상(phase)성분으로 표현되며, 색농도를 나타내는 포화도는 식(5)처럼 벡터의 크기(magnitude)로 표현할 수 있다.

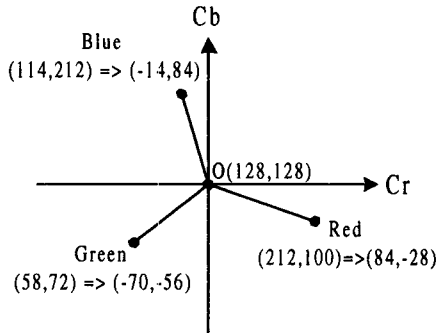


그림 2. Cr-Cb 색도평면
Fig. 2 Cr-Cb chrominance plane.

$$Hue = \tan^{-1} \frac{C_b}{C_r} \dots\dots\dots(4)$$

$$Saturation = \sqrt{(C_r^2 + C_b^2)^2} \dots\dots\dots(5)$$

III. 제안한 디지털 워터마킹 방법

3.1 워터마크 삽입방법

제안한 워터마크 삽입과정은 RGB 영상을 YCrCb 영상으로 변경하는 색공간 변환(color space conversion) 과정, 무채색 영상에서 각 블록 DC값과 블록내 기준 화소값간 관계를 이용하여 Cr-Cb 색도 공간상에서 워터마크를 색차 허용 범위로 워터마크 삽입과정 그리고 워터마크 신호 자체의 공격에 대한 강인성 확보를 위해 공개키(public key) 방식의 랜덤화 과정으로 구성된다.

3.1.1 색공간 변환과정

무채색과 유채색이 뚜렷이 구분되는 좌표계로 변경하는 과정으로써 색공간 변환 또는 색좌표계 변환이라고 한다. 워터마크 신호를 유채색 영역에 삽입하기 위해 수행하여야 할 전처리 과정이다.

3.1.2 워터마크 삽입과정

워터마크 삽입 과정에 사용되는 정보는 첫째, 무채색 영상 정보로부터 8×8 화소의 블록(block) 단위로 획득되는 평균값, DCT(0,0)이며, 둘째, 워터마크 검출과정에서 키(key)로 적용되는 무채색 공간영역의 화소값, Y(0,0)와 마지막, 블록을 대표하는 워터

마크 신호, W이다. 삽입할 수 있는 블록 형태는 식(6)과 같이 4가지 형태로 분류할 수 있다.

$$\begin{aligned} A &\equiv \{ W(1) \text{ and } DCT(0,0) > Y(0,0) \} \\ B &\equiv \{ W(1) \text{ and } DCT(0,0) \leq Y(0,0) \} \\ C &\equiv \{ W(0) \text{ and } DCT(0,0) > Y(0,0) \} \\ D &\equiv \{ W(0) \text{ and } DCT(0,0) \leq Y(0,0) \} \end{aligned} \dots\dots(6)$$

DCT 블록 단위로 식(6)에서 분류된 4가지 형태(pattern)를 그림 3과 같이 대응시킬 수 있다.

영상의 한점은 무채색과 유채색으로 분류되며 유채색은 다시 Cr-Cb 색도 평면상에서 변환된다. 이때 벡터의 크기 성분인 포화도 성분을 색차 허용범위 내에서 그림 3의 형태에 따라 감소 또는 증가시킴으로써 워터마크는 삽입이 된다.

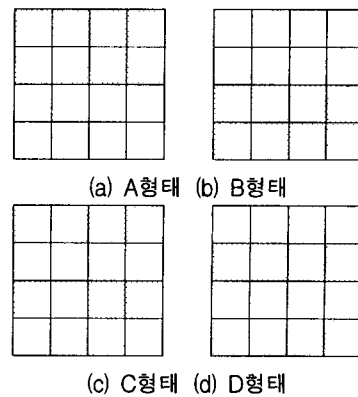


그림 3. 8×8 블록단위 워터마크 삽입형태
Fig. 3 Watermark insertion patterns based on 8×8 block. (a) A pattern, (b) B pattern, (c) C pattern, (d) D pattern

3.1.3 워터마크 신호 랜덤화

공간 영역에서 삽입된 워터마크가 특히 절단(cropping) 공격에 강인하지 않다. 그래서 워터마크 신호를 PN(pseudo noise)부호로 공개키(key)를 이용하여 랜덤화 과정을 적용하였다. 반대로 검출 과정에서 동일한 공개키(key)를 사용하면 원래 워터마크로 복원할 수 있다.

3.2 워터마크 추출방법

검출과정에서 원영상 없이 워터마크 신호를 추출할 수 있다. 그림 4에서 정의한 2×8 크기의 부분

(subblock) 포화도 평균과 8×8 크기의 블록 포화도 평균을 비교하여 워터마크 신호를 검출한다.

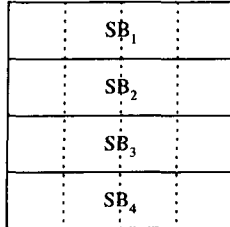


그림 4. 워터마크 검출시 부분력
Fig. 4 Subblock for extracting watermark

워터마크를 추정하는 과정은 식 (7)과 (8)처럼 블록의 형태로 추정 검출이 된다.

$$\begin{aligned}
 & \text{If } \{ \text{Avg}(\text{Block}) < \text{Avg}(\text{SB1}) \\
 & \quad \text{and } (\text{Avg}(\text{Block}) < \text{Avg}(\text{SB2})) \} \\
 & \quad \text{or} \\
 & \text{If } \{ \text{Avg}(\text{Block}) > \text{Avg}(\text{SB1}) \} \dots\dots\dots (7) \\
 & \quad \text{and } (\text{Avg}(\text{Block}) > \text{Avg}(\text{SB2})) \}
 \end{aligned}$$

Then Watermark of this block is '1'.

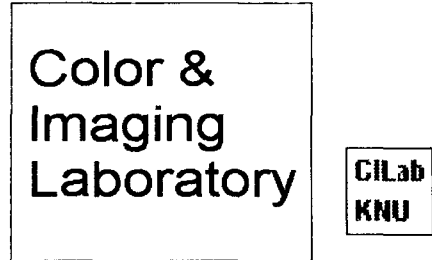
$$\begin{aligned}
 & \text{If } \{ (\text{Avg}(\text{Block}) < \text{Avg}(\text{SB1})) \\
 & \quad \text{and } (\text{Avg}(\text{Block}) \geq \text{Avg}(\text{SB2})) \} \\
 & \quad \text{or} \\
 & \text{If } \{ (\text{Avg}(\text{Block}) > \text{Avg}(\text{SB1})) \} \dots\dots\dots (8) \\
 & \quad \text{and } (\text{Avg}(\text{Block}) \leq \text{Avg}(\text{SB2})) \}
 \end{aligned}$$

Then Watermark of this block is '0'.

IV. 실험 및 고찰



(a) lena 영상



(b) 워터마크1 (c) 워터마크2(32×32, 2배 확대)
그림 5. 실험영상
Fig. 5 Simulation images.(a)lena, (b) watermark1 (c) watermark2

제안한 알고리즘을 평가하기 위해 256×256 크기의 lena(interleaved 방식) 영상을 사용하였으며, 워터마크 신호는 비가시성과 강인성 실험을 위해 크기가 다른 이진 신호를 사용하였다.

4.1 비가시성(invisibility) 평가

그림 6에서 (a)는 색차 범위를 3%까지 적용한 영상이며, (b)는 (a) 영상으로부터 검출된 신호이다. (c)와 (d)는 허용 색차범위를 초과한 경우이며, 시각적인 왜곡현상이 발생하였다.



(a) 색차 3



(b) 검출 신호



(c) 색차 30

그림 6. 비가시성 실험 결과

Fig. 6 Invisibility simulation (a) CD3, (b) Extracted watermark (c) CD30

표 2. RGB 채널별 PSNR[dB]

Table 2. PSNR on each R, G, B channel.[dB]

CD	1	2	3	10	30
R	13.45	10.63	10.42	10.47	10.85
G	∞	61.20	59.25	50.05	40.58
B	48.14	21.05	17.87	16.16	16.01

표 2에서 색차 3이 적용된 경우 R 성분의 PSNR이 낮아도 그림 6(a)처럼 시각적인 왜곡 현상이 발생하지 않은 이유는 YCrCb 색좌표계에서 Y 성분이 색(Cr, Cb) 성분보다 많은 정보를 가지고 있으며, 특히 G 성분의 영향을 많이 받는다. 그래서 R 성분의 열화가 있어도 전체 화질에 영향을 주지 않는다는 것을 확인하였다.

4.2 강인성(robustness) 평가

워터마킹의 강인성을 검증하기 위해 JPEG 압축을 사용하였으며, 표 3의 결과로 제안된 방법이 JPEG 압축에 대해 강인함이 입증되었다.

표 3. JPEG 압축에 대한 강인성 실험

Table 3. Robustness simulation against JPEG.

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

V. 결론

멀티미디어 콘텐츠 복제로 인한 소유자의 피해를 막기 위한 방안으로 저작권 보호 관리 기술의 중요성은 점차 증대되고 있으며, 다양한 외부의 공격에도 견딜 수 있는 새로운 워터마킹 방법이 필요한 현실이다.

본 논문에서는 칼라 정지 영상에 적합한 디지털 워터마킹을 제안하였으며, 방송 신호의 표준 색좌표계 YCrCb 형태에서 인간 시각 특성을 고려하여 유채색 대역에서 공격에 강인함을 위해 워터마크 삽입 위치 정보를 무채색 영역에서 추출하는 워터마킹 방법을 제안하였으며 실험 결과로 성능을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] W. Bender, D. Gruhl, and N. Morimoto, "Techniques for Data Hiding," Proceedings SPIE, pp.2420-2440, Feb. 1995.
- [2] I. Pitas, "A Method for Signature Casting on Digital Image," Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing, pp.215-218, Sept. 1996.
- [3] I. J. Cox, J. Kilian, F. Leighton, and T. Shamoon, "A Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 6, no. 12, pp.1673-1687, Dec. 1997.
- [4] 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.
- [5] Akira Shiozaki, "Improvement to a Method of Embedding Robust Watermarks into Digital Color Images," IEICE Trans. Fundamentals, vol.E82-A, no.5, May 1999.
- [6] Sumanta N. Pattanaik, James A. Ferwerda, Mark D. Fairchild, and Donald P. Greenberg, "A Multiscale Model of Adaptation and Spatial Vision for Realistic Image Display," SIGGRAPH'99 Conference Proceedings, Aug. 1999.
- [7] Jon Yngve Hardeberg, Transformations and

colour consistency for the colour facsimile, diploma thesis, The Norwegian Institute of Technology(NTH), Trondheim, Norway, April 1995.

- [8] Keith Jack, Video demystified: a handbook for the digital engineer, HighText Publications, Inc., 1993.



김희수(Hee-soo Kim)

1991년 2월 경북대학교 전자공학과(공학사)

1993년 2월 경북대학교 전자공학과(공학석사)

1993년 3월~1994년 12월 한국통신 통신망연구소 근무

1995년 2월~1998년 1월 SK 텔레콤 중앙연구원 근무

1996년 3월~현재 경북대학교 전자공학과 박사과정 재학

※주관심분야 : 영상처리, 디지털 워터마킹 등



하영호(Yeong-ho Ha)

1976년 2월 경북대학교 전자공학과(공학사)

1978년 8월 경북대학교 전자공학과(공학석사)

1985년 8월 University of Texas at Austin(공학박사)

1985년 9월~현재 경북대학교 전자공학과 교수

※주관심분야 : 칼라영상처리, 컴퓨터비전, 디지털 신호처리 등