

칼라 정지 영상에 적합한 디지털 워터마킹

정희원 김희수*, 이호영*, 하영호*

Digital Watermarking for Color Still Images

Hee-Soo Kim*, Ho Young Lee*, and Yeong-Ho Ha* *Regular Members*

요약

본 논문에서는 칼라 영상에 대한 인간 시각 특성과 무채색으로부터 정보를 추출하여 칼라 정지 영상에 효과적으로 워터마크 신호를 삽입하는 방법을 제안하였다. 워터마크는 이진 워터마크를 사용하였으며, 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 포화도 성분에 삽입한다. 워터마크를 검출하는 과정은 원영상을 사용하지 않고 유채색 포화도 성분의 변경 형태를 추정하여 삽입된 워터마크를 검출 가능하였다. 실험 결과 특히 비가시성 특성 부분에서는 기존 방법들과 비교할 때 향상된 결과를 얻을 수 있었으며 강인성 또한 좋은 결과를 얻었다.

ABSTRACT

In this paper, we proposed the novel digital watermarking for color still image using the characteristics of human visual system and the achromatic information. We use a binary watermark signal and 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 extracted the watermark signal by presuming that modified pattern of chromatic saturation without using original one. Simulation results show that the proposed watermarking method is better quality on invisibility and robustness than the conventional methods.

I. 서론

아날로그 시대에서 디지털 시대로의 변환이 급속히 진행되고 있지만 멀티미디어 저작물의 원제작자는 자신의 저작물이 인터넷이라는 디지털망에 배포하는 것에 불안감을 가지고 있다. 디지털로 구성된 저작물은 복사로 인하여 원본과 거의 동일한 특성을 가지게 되어 또다시 배포가 된다. 그럼에도 불구하고 디지털 저작물이 인터넷을 통한 전자상거래가 되어야 하는 것은 시대적인 흐름이다. 따라서 디지털 저작물 저작권 보호 기술에 관심이 모아지고 있

으며, 저작권의 원래 소유자가 누구였는지를 추적할 수 있게 하는 저작권 추적기술과 사용 권한을 획득하지 못한 사람에게서 저작물을 사용하지 못하게 하는 저작권 관리기술 두 가지로 분류된다. 본 논문에서는 저작권 추적기술 중 디지털 영상에 대한 디지털 워터마킹 방법에 대해 연구를 하였다. 저작권 정보와 같은 워터마크 신호를 영상에 인간이 인지할 수 없는 단계까지 삽입하는 방법을 워터마킹(watermarking)이라 한다. 이러한 방법은 저작권 정보를 적극적으로 보호하지는 못하는 단점이 있다.^[1,2] 디지털 영상의 워터마킹 방법은 삽입된 워터마크 신호로 인한 원래 영상의 변형이 시각적으로

* 경북대학교 전자전기공학부 칼라 및 영상처리 연구실(yha@ee.knu.ac.kr)
논문번호 : K01044-0127, 접수일자 : 2001년 1월 27일

인식이 불가능해야 하는 비지각성(imperceptibility) 특성과 워터마크 신호 자체가 외부의 공격에도 강인성(robustness)의 요구한다.

지금까지 제안된 워터마킹 알고리즘들은 대부분 흑백 정지영상을 공간 영역 기반³⁾이나 변환 영역 기반⁴⁾으로 워터마크 신호를 삽입하는 연구를 수행하였으며, 칼라 영상에 대한 연구는 흑백영상에 비해 활발한 수준이 아니었다. 특히 칼라 영상에 대한 워터마킹 방법들은 칼라 영상의 일부분을 흑백 영상으로 취급하여 워터마크 신호를 삽입하였다.⁵⁻⁸⁾ 또한 동영상의 워터마킹 방법은 프레임 단위로 정지영상에 적합한 알고리즘을 적용함으로써 저작권 보호가 이루어지는 방법이 많이 사용되고 있다.

본 연구에서는 특히 칼라 영상에 대한 인간 시각 특성이 무채색과 유채색에 대한 공간적인 변화의 차이가 다르게 인지된다는 성질을 이용하여 원영상의 변화를 최소화하고 다양한 공격에도 대비할 수 있는 효율적인 워터마킹 방법을 제안하였다.

II. 기존 칼라 영상 디지털 워터마킹 방법

1. Kutter *et al.* 방법⁵⁾

R, G, B 채널의 칼라 영상을 흑백으로 변경하였을 때 흑백영상에 미치는 효과가 가장 적은 채널이 B 채널이다. 이러한 성질을 이용하여 B 채널의 영상에 대해서만 임의의 한 점에 워터마크 신호를 삽입하였으며, 삽입된 워터마크 신호를 찾기 위해서 원영상을 필요로 하는 단점이 있다. 그리고 삽입되는 정보량을 늘리기 위해서 다중 워터마크 신호를 적용하였으나 결국 검출하는 방법이 명확하지 않은 단점이 있었다.

2. Fleet *et al.* 방법⁶⁾

헤링의 반대 색설(opponent color system)을 이용하여 RGB 칼라 영상을 백-흑(black-white), 황-청(yellow-blue), 적-녹(red-green)의 반대되는 3대적인 반응 과정을 일으키는 수용체가 존재한다고 가정하여 3가지의 대역으로 구분하였다. 이 중 대역별 차단 주파수가 가장 낮은 황-청 대역에 대해서만 워터마크 신호를 삽입하는 방법을 제안하였으나 검출하는 방법에 대해서는 완벽한 해결점을 제시하지는 못한 상태였다.

3. Shiozaki *et al.* 방법^{7,8)}

워터마크 신호를 ID 형태로 확장을 하여 공간상

여러 대역에 분포하도록 처리를 하였으며, RGB 영상 신호를 YUV 공간으로 색 공간 변환하여 R, G, B 채널별로 삽입되는 워터마크 신호 크기를 다르게 조절하여 워터마크 신호의 비가시성을 향상시켰다. 이 방법도 여전히 원영상을 사용하여야 워터마크 신호를 추출할 수 있다는 단점을 가지고 있다.

앞에서 언급한 기존 칼라영상의 디지털 워터마킹 방법들은 인간시각에 둔감한 일부분의 신호를 기존 흑백영상에 대한 디지털 워터마킹 방법을 같이 적용함으로써 비가시성의 효율뿐만 아니라 다른 특성을 향상시킬 수가 없다. 그러므로 칼라영상 전체 특성을 고려하는 워터마킹 방법이 제시되어야 한다.

III. 인간 시각 체계 특성과 색공간 변환

1. 대조 민감도(contrast sensitivity)

대조 민감도는 인간 시각 체계에서 사람의 시각이 사물을 인지하는 응답 과정을 근사화한 모델이다.

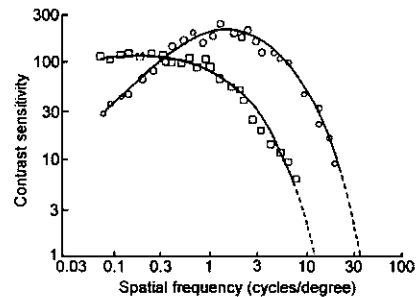


그림 1. 무채색(○)과 유채색(□)의 공간주파수에 대한 대조 민감도

그림 1은 공간주파수에 대한 인간시각 특성이 유채색보다 무채색이 더 뛰어나다는 것을 의미하며, 결국 유채색의 변화보다 무채색의 변화를 인간시각은 상대적으로 더 민감하게 인지함을 알 수 있다.

2. 색차 (color difference)

색차는 원래의 색과 재생성된 색 사이에 존재하는 색상의 차이를 나타내며, 이는 재생성되는 색상의 유효 범위의 차이로 인하여 색상 정합이 제대로 이루어지지 않음으로써 발생한다. 일반적으로 많이 사용하는 등좌표계 CIEL*a*b*로부터 YCrCb좌표계에 적합한 색차식을 본 논문에서 식 (1)과 같이 정의하였다.

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

색차의 변화에 따라 인간이 감지하는 척도를 Hardeberg가 실험한 통계자료를 이용하였으며 표 1과 같다.^[9]

표 1. 색차 수용 범위

$\Delta E_{C,C_s}^*$	시각 현상
$\Delta E_{C,C_s}^* < 3$	색차 구분이 안됨
$3 \leq \Delta E_{C,C_s}^* < 6$	색차 구분 가능하지만 허용됨
$6 \leq \Delta E_{C,C_s}^*$	색차가 구분됨

표 1에서 사용된 인간 시각의 색상 변화 감별 능력을 표시한 색차값은 정규화된 수치를 나타내며 색차가 3 미만인 경우에는 인간이 구분할 수 없는 상태이며, 색차값이 3 이상 6 미만인 경우, 두 색의 차이는 세심한 관찰을 할 경우에 구분이 됨을 알 수 있다.

3. 색 공간 변환

색 공간 변환은 주어진 색 좌표계를 사용자의 용도에 적합한 좌표계로 또는 장치에 적합한 좌표계로 변환하는 것을 의미한다.

$$\begin{aligned} Y &= 0.257R + 0.504G + 0.098B + 16 \\ C_r &= 0.439R - 0.368G - 0.071B + 128 \\ C_b &= -0.148R - 0.291G + 0.439B + 128 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} R &= 1.164(Y-16) + 1.596(C_r-128) \\ G &= 1.164(Y-16) - 0.813(C_r-128) - 0.391(C_b-128) \\ B &= 1.164(Y-16) + 2.018(C_b-128) \end{aligned} \quad (3)$$

칼라영상에 워터마크 신호를 삽입하기 위해 식(2)와 같은 RGB 좌표계 영상을 YCrCb 좌표계로 변환하고 검출과정에서는 식(3)과 같은 역변환 과정이 필요하다.^[10]

4. Cr-Cb 색도 평면

RGB에서 YCrCb로 변환된 색 성분은 Y라는 무채색과 Cr과 Cb라는 유채색들로 구분되며 유채색 성분만으로 색을 표현하기 위해 Cr-Cb 색도 평면 개

념이 적용된다. 그림 2는 RGB 대표값의 색도평면상의 예시를 나타낸다.

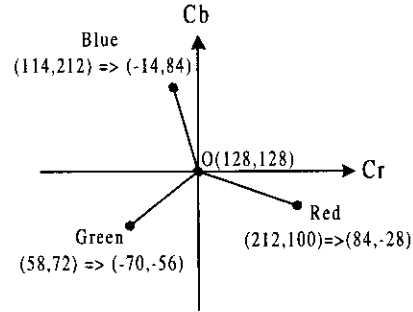


그림 2. Cr-Cb 색도 평면

원점에서 임의의 한점까지 이르는 벡터의 크기는 식(4)와 같이 색상의 농도를 나타내는 포화도(saturation)를 의미하고 Cr축과 이루는 각은 위상 성분으로 식(5)처럼 물체의 고유한 색상(hue)을 나타낸다.^[11]

$$Saturation = \sqrt{(C_r^2 + C_b^2)} \quad (4)$$

$$Hue = \tan^{-1} \frac{C_b}{C_r} \quad (5)$$

IV. 제안한 칼라 영상의 디지털 워터마킹 방법

1. 워터마크 삽입과정

제안한 워터마크 삽입 과정은 그림3과 같이 무채색과 유채색 분리를 위한 색 공간 변환 과정, 영상의 무채색 정보로부터 블록의 특성값 추출 과정, 앞의 자료와 워터마크 신호를 이용하여 유채색 성분 중 포화도 성분을 미리 정한 형태에 따라 변경하는

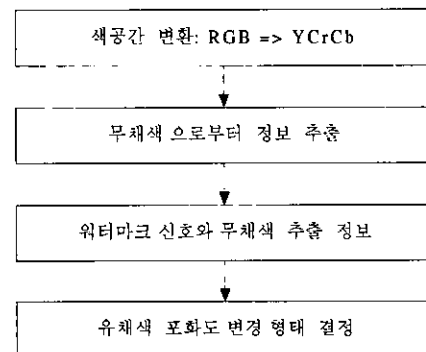


그림 3. 워터마크 삽입과정.

과정으로 구성된다. 또한 워터마크 신호 차체를 PN 부호화함으로써 영상 절단의 공격으로부터 강인성을 가질 수 있게 된다.

1.1 색 공간 변환

RGB 좌표계로 표현된 칼라영상을 무채색과 유채색으로 구분하기 위한 과정으로써 색공간 변환이라 하며 식 (2)와 (3)을 적용한다. 색공간 변환 과정이 영상 정보에 손실을 주지 않는다는 것을 모의 실험으로 화질의 열화가 없음을 확인하였다.

1.2 무채색 블록정보 추출

무채색 정보로부터 압축에 강인한 정보를 추출하기 위한 방법으로 제안한 방법은 8×8 블록 단위의 평균값과 같은 범위내 한 화소값의 상관성을 이진 정보의 형태로 추출하게 된다. 블록내 상관성을 추정하는 과정은 다음 식 (6)과 같다.

$$\begin{aligned} & \text{If } \{ \text{Average}(\text{Block}) > Y(x, y) \} \\ & \quad \text{then } AI = 1 \\ & \text{else} \\ & \quad \text{then } AI = 0 \end{aligned} \tag{6}$$

여기서 AI는 무채색 정보(achromatic information)를 나타낸다.

1.3 유채색 포화도 변경 형태 결정

앞에서 구한 무채색 정보와 워터마크 신호를 조합하여 유채색 포화도 변경 형태를 결정할 수 있다. 식 (7)로부터 유채색 포화도 변경 형태가 결정되며, 그림 4는 구체적인 형태를 분류한 결과이다.

$$\begin{aligned} A \text{ 형태} &= W(1) \cdot AI(1) \\ B \text{ 형태} &= W(1) \cdot AI(0) \\ C \text{ 형태} &= W(0) \cdot AI(1) \\ D \text{ 형태} &= W(0) \cdot AI(0) \end{aligned} \tag{7}$$

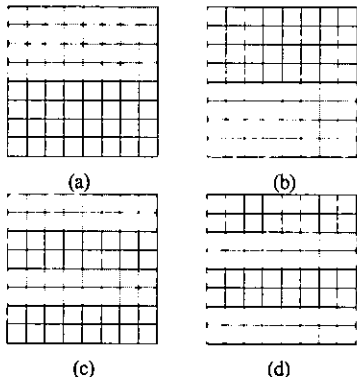


그림 4. 8×8 블록 단위 워터마크 삽입 형태
(a) A형태 (b) B형태 (c) C형태 (d) D 형태

1.4 유채색 포화도 변경

Cr-Cb 색도 평면상에서 한 점 O는 그림 5와 같이 벡터로 표현할 수 있으며, 벡터의 크기 (magnitude) 성분을 변경하는 것이 화소값에 대한 워터마크 신호를 삽입하는 과정이다. 워터마크가 삽입될 경우 시각적으로 구분이 되지 않도록 하기 위해 색차 허용 범위를 만족하는 범위 내에서 O'으로 포화도 값이 변경된다.

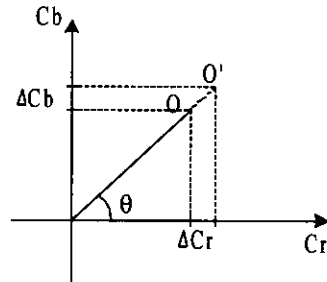


그림 5. Cr-Cb 색도평면상 유채색 포화도 변경과정

2. 워터마크 검출과정

그림 6은 워터마크 신호를 검출하는 단계를 설명하고 있으며, 검출하는 과정은 삽입 과정과 일부 유사하며 별도의 정보를 필요하지 않는 것이 제안한 워터마크 방법의 장점이다. 제안한 워터마크 검출 방법에서는 블록내의 형태를 기반으로 Cr-Cb 색도 평면상 포화도 성분에 대한 8×8 블록 형태를 추정함으로써 삽입된 워터마크의 값을 검출할 수 있다.

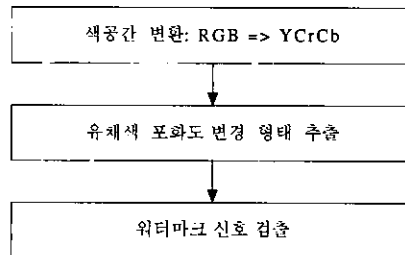


그림 6. 워터마크 검출과정

그림 7에서 정의한 2×8 크기의 부분블록과 8×8 크기의 블록간의 상관 관계로 워터마크를 추출해 낸다. 그림 8은 워터마크 신호를 검출하는 과정에서 유채색 일부를 나타낸 것이다. 각 8×8 블록에 대한 워터마크 정보를 유채색 포화도 형태 정보를 이용하여 쉽게 추정할 수 있다.

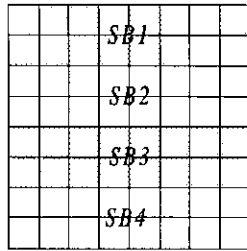


그림 7. 워터마크 신호 검출시 비교하는 부분력(2×8)

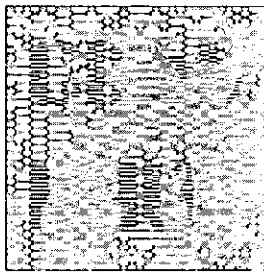


그림 8. 워터마크 검출전 형태기반 영상.

3. 워터마크 신호 랜덤화

제안한 워터마킹 방법은 공간 영역 기반 방법이다. 특히 절단(cropping)의 공격을 효과적으로 대처하기 위한 방법으로 워터마크 신호를 PN(pseudo noise) 코드화하였으며 워터마크를 검출하는 과정에서는 역 PN 코드화하여 원래의 워터마크로 복원할 수 있도록 하는 방법을 적용하였다.

V. 실험 및 고찰

실험에 사용된 영상은 256×256 크기의 LENA 칼라 영상을 사용하였으며, 비가시성 평가를 위해서는 동일한 크기의 워터마크 영상을 사용하였으며, 강인성을 평가하기 위해서는 32×32 크기의 이진 영상 워터마크를 사용하여 실험을 하였다.



(a)



(b)

(c)

그림 9. 실험영상. (a) lena영상(256×256), (b) 워터마크 1(256×256), (c) 워터마크 2(32×32, 2배확대)

1. 비가시성(invisibility) 평가를 위한 실험

그림 10(a)는 색차 범위를 3으로 변경된 워터마크 신호 삽입된 영상이며, (b)는 (a)로부터 검출된 워터마크 신호이다. (c)와 (d)는 색차 허용 범위를 벗어나는 경우 RGB 색 좌표계 상에서 심한 왜곡현상이 나타나는 결과를 볼 수 있다.

그리고 표 2에서는 적색 성분의 PSNR 값이 낮은 수치를 보임에도 그림 10(a)에서 시각적인 왜곡 현상이 생기지 않는 이유는 식 (2)의 변환 행렬 첫



(a)



(b)



(c)



(d)

그림 10. 색차별 워터마킹 결과영상. (a) 색차 3 (b) 검출된 워터마크 신호 (c) 색차 30 (d) 색차 50

째 행의 계수값, 명도(brightness, Y)가 녹색 성분의 영향을 가장 많이 받으며, 또한 명도 성분은 YCrCb 색좌표계에서 상대적으로 유채색 성분보다 더 많은 정보를 가지고 있기 때문에 적색 성분의 PSNR값이 떨어져도 전체적인 화질의 열화는 발생하지 않음을 볼 수 있다.

표 2. RGB 채널별 화질 비교표

채널 \ 색차	1	2	3	10	30
빨강	13.45	10.63	10.42	10.47	10.85
녹색	∞	61.20	59.25	50.05	40.58
파랑	48.14	21.05	17.87	16.16	16.01

2. 강인성(robustness) 평가를 위한 실험

제안된 워터마킹 방법의 강인성 평가를 위해 압축과 영상 절단에 대해 실험을 하였으며, 결과는 각각 표 3과 표 4와 같다. 표 3의 결과는 제안된 방법이 JPEG 압축에 대한 강인함을 보여주고 있다. JPEG Quality factor가 90까지 변화하여도 검출된 워터마크와 원본 워터마크 유사도(similarity) 결과가

급격히 감소하지 않으며, 표 4의 결과로 절단과 같은 공격에도 제안한 방법이 양호함을 볼 수 있다.

표 3. JPEG 압축에 대한 강인성 실험결과.

JPEG Quality factor	30	50	70	90
워터마크 유사도	0.90	0.86	0.84	0.73

표 4. Cropping에 대한 강인성 실험결과.

절단율(%)	6.25	25	50
워터마크 유사도	0.97	0.94	0.72

VI. 결론

제안한 칼라 영상의 디지털 워터마킹 방법은 기존 방법과 비교할 칼라 정보 전체를 고려함으로써 특히 비가시성을 효율적으로 구현하기 위해 인간 시각 특성 중 대조민감도와 색차 개념과 포화도 성분 변경을 적용하였다. 그리고 제안한 알고리즘은 검출과정에서 외부의 부가적인 신호없이 워터마크 신호를 검출할 수 있다는 장점을 가지고 있으며 압축과 같은 공격에도 강인함을 보여주었다. 실험 결과 제안한 방법의 성능이 기존 방법들에 비해 비가시성 부분에서는 향상되었음을 확인할 수 있었으나 강인성에 대한 비교는 기존 방법들의 구현이 아직 미비한 상태라 어려운 단계이다.

향후 칼라 정지 영상에 적용한 워터마킹 기법을 동영상에 적용하기 위한 준비가 필요하며 디지털 방송 환경하에 적합한 동영상 워터마킹 알고리즘 개발이 필요한 상황이다.

참고 문헌

[1] M. Swanson, M. Kobayashi, A. Tewfik, "Multimedia Data-Embedding and Watermarking Technologies," Proc. of the IEEE, vol. 86, no. 6, pp. 1064-1087, June 1998.
 [2] W. Bender, D. Gruhl, N. Morimoto, "Techniques for Data Hiding," Proc. of SPIE, pp. 2420-2440, Feb. 1995.
 [3] I. Pitas, "A Method for Signature Casting on

