
압축공격에 강인한 칼라영상의 워터마킹

김윤호*

Robust Watermarking toward Compression Attack in Color Image

Yoon-Ho Kim*

요 약

본 논문에서는 변환영역 기반과 인간의 시각특성을 적용하여 압축에 강한 칼라 영상의 디지털 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 원영상을 RGB 채널로 분리한 후, HVS 특성을 고려하여 명암대비와 텍스처 특징을 분석한 후, 최적의 주파수영역을 선택하여 워터마크를 삽입하였다. 전처리 과정은 2D DCT를 사용하였고, 워터마크는 시각적으로 인지가 가능한 특정 로고 형태의 이진 영상을 사용하였다. 외부공격 유형으로 JPEG 압축을 수행하여 실험한 결과, JPEG 압축 60%까지 워터마크의 추출이 가능하였고 90% 이상의 상관도를 보였다.

ABSTRACT

In this paper, digital watermarking algorithm based on human visual system and transform domain is presented. Firstly, original image is separated into RGB channels, watermark is embedded into the coefficients of DCT so as to consider a contrast sensitivity and texture degrees. In preprocessing, DCT domain based transform is involved and binary image of visually recognizable patterns is utilized as a watermark. Consequently, experimental results showed that proposed algorithm is robust and imperceptibility such destruction attack as JPEG compression.

키워드

Watermarking, CSF, Texture, DCT, RGB

1. 서 론

디지털콘텐츠(Digital Contents : DC)는 필름, 레코드 등, 다양한 형태의 미디어로 제작되던 부호, 문자, 음성, 음향, 영상 등이 IT 기술과 결합하여 전자적 형태로 제작, 처리되고 정보통신망을 통하여 유통 또는 서비스 되고 있다. DC는 상호간의 유용한 운용과 이동 및 저장이 용이하다는 장점이 있는 반면, 복제 및 변조가 용이하고 원본 데이터와 복제된 데이터의 구별이 어렵다는 단점도 갖고 있는 바, 최근에는 디지털 이미지 데이터의 위·변조 행위로 저작권자의 권리 침해와 소유권 및 인증에 대한 문제가 대두되고 있다[1],[2].

소유권을 효과적으로 보호하기 위하여 1990년도 초반부터 워터마킹 도입의 시작으로 현재까지 디지털 데이터의 저작권 보호와 인증에 대한 해결책이 연구 개발되고 있지만, 저작권 보호와 인증에 대한 해결책은 아직까지 인정할 만한 방법이 제시되지 않고 있는 실정이다.

본 논문에서는 칼라(RGB) 이미지를 분리한 후, G 채널에 워터마크를 삽입하는 방법을 제안한다. 효율적인 워터마크 삽입을 위하여 인간의 시각특성을 이용하였으며, 시각 특성 중 명암대비와 텍스처 분포특성을 계산하여 워터마크를 삽입하였다. 본 논문에서는 256×256 크기의 칼라 영상과 32×32 이진 워터마크 이미지를 제작하여 사용하였

으며 논문의 구성은 2장에서는 칼라 모델에 대하여 기술하였고, 3장에서는 워터마크 삽입과 추출 알고리즘을 제안하였다. 4장에서는 HVS 기반 파라미터를 정의하고, 5장에서는 제안한 방법의 타당성 실험을 위하여 외부공격에 대한 성능 평가를 수행하였고, 6장에서 결론을 맺는다.

II. 컬러 모델

컬러공간은 보통 Color diagram이라고 하며, 컴퓨터가 인지할 수 있는 모델은 여러 종류가 있는 바, 인쇄시스템의 경우는 CMY 컬러공간을 사용하고, 컬러 모니터에서 사용되는 컬러 공간은 RGB 모델이다. 일반적으로 워터마킹에서 사용되는 칼라모델은 다음과 같다.

- RGB model(Red, Green, Blue)
- CMY model(Cyan, Magenta, Yellow)
- YUV model(Y-luminance, U, V-chrominance)
- YCBCR model(Y-luminance, CB, CR-blue, red)

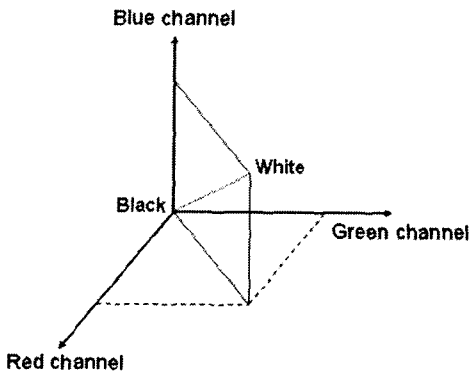


그림 1. RGB 칼라모델
Fig 1. RGB Color Model.

$M \times N$ 크기의 정지영상 I 에 대하여 변환영역에서의 워터마크 영상을 식 (1)과 같이 정의하면 칼라영상의 워터마크 영상은 식 (2)와 같이 정의된다.

$$F(I) = f_I = \{I(i, j)\}_{i,j=(0,0)}^{(M-1,N-1)} \in F^{M \times N} \quad (1)$$

$$F(I) = f_I = \{R(i, j), G(i, j), B(i, j)\}_{i,j=(0,0)}^{(M-1,N-1)} \quad (2)$$

여기서 $R(i, j)$, $G(i, j)$ 및 $B(i, j)$ 는 각각 칼

라영상의 R, G, B 성분을 의미한다. 일반적으로 칼라영상의 워터마킹 방식은 은닉정보를 휘도성분에 삽입하는 방법을 사용하며 휘도성분 $L(i, j)$ 은 선택영상의 칼라공간에 의해 결정되며 식(3)으로 정의된다.

$$L(i, j) = \frac{R(i, j) + G(i, j) + B(i, j)}{3} \quad (3)$$

RGB 칼라모델에서 3개의 채널 중에 G-primary 가 외부공격에 대해서 가장 좋은 결과를 보이며 [3],[4], 따라서 이러한 특성을 이용하여 칼라이미지를 RGB 채널로 분리한 후, G 채널에 워터마크를 삽입한다.

III. 워터마크의 삽입 및 검출

제안한 방법은 변환영역 기반의 2D DCT 방법과 인간의 시각 시스템(Human Visual System: HVS)에 기반한 Contrast Sensitivity와 Texture Degree를 이용하여 워터마크를 삽입하고 추출하는 기법이다. 일반적으로 워터마크는 비가시성을 가져야하며 이를 위하여 워터마크의 주파수, 인간 시각시스템 마스킹 방법, 특히 칼라 영상에서는 색상등을 활용한다. 또한 HVS는 고주파보다는 저주파 영역에 민감하기 때문에 특정위치에 눈에 띄지 않게 가능한 워터마크를 강하게 삽입하여야 한다.

그림 2는 원영상(X)에 워터마크(W)를 삽입하는 과정을 보여주고 있다. 삽입과정은 칼라이미지를 RGB 채널로 분리한 후, G 채널에 대해서 2D DCT를 수행하고 가장 적합한 영역에 워터마크를 삽입하게 된다. 워터마크 및 DCT 계수를 각각 계수를 $w(x, y)$, $c(x, y)$ 정의하면 수정된 계수는 다음식으로 표기된다.

$$m(x, y) = c(x, y) + a \text{ if } w(x, y) = 1 \quad (4)$$

$$m(x, y) = c(x, y) - a \text{ if } w(x, y) = 0 \quad (5)$$

여기서, a 는 실수이다. 워터마크 추출과정은 그림 3과 같으며 $m(x, y)$ 및 $d(x, y)$ 를 각각 워터마크된 계수 및 원영상의 계수라 할 때, 두 계수간 차이값은 다음과 같이 정의한다.

$$\text{if } m(x, y) - d(x, y) \geq 0 \quad w'(x, y) = 1 \quad (6)$$

$$\text{if } m(x, y) - d(x, y) < 0 \quad w'(x, y) = 0 \quad (7)$$

여기서 $w'(x, y)$ 는 추출된 워터마크의 계수이다.

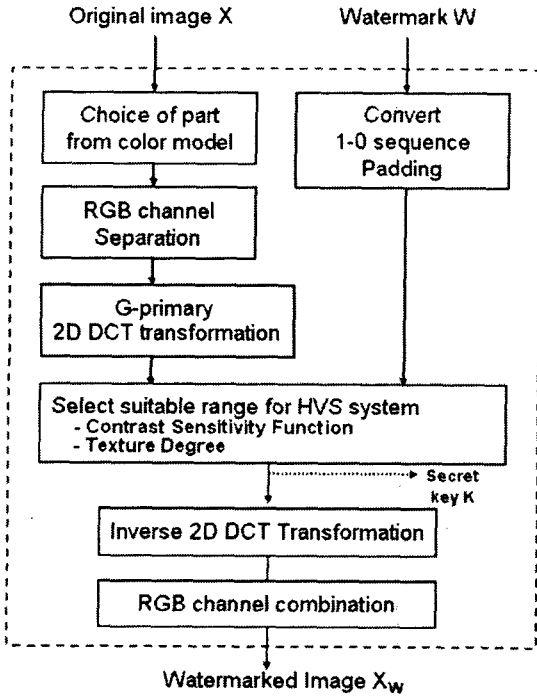


그림 2. 워터마크 삽입 블록도
Fig 2. Watermark embedding block.

워터마크가 삽입될 영역은 8x8 크기로 블록킹한 후 각 블록의 HVS 시스템 특성을 갖는 Contrast sensitivity와 Texture degree를 구하였다. 비밀키(K)는 워터마크 크기로 생성되고 변환된 DCT 계수에 대한 정보를 가지고 있으며, 워터마크 추출은 입력값으로 워터마크가 삽입된 영상(XW)과 비밀키(K)를 이용한다[5],[8],[9].

IV. HVS 특성 기반의 워터마크 영역 설정

인간의 시각시스템은 일반적으로 균일영역보다는 비균일 영역에서 가시성이 적으며, 텍스처 영역보다는 에지부근에서 잡음을 쉽게 감지하고, 밝거나 어두운 영역에서 시각적으로 덜 민감하다는 일반적인 특징이 있는바, 기본적으로 시각의 인지 기능은 두 가지 개념, 즉, 대비감도함수(contrast sensitivity function: CSF)와 대비마스킹 모델(contrast masking model:CMM)로 설명될 수 있다. 즉, 화소위치 (x, y) 에서의 휘도를 $L(x, y)$ 라고 하고 L_0 를 배경휘도의 평균으로 정의하면 임의화소 위치에서의 대비는 식 (8)과 같이 정의된다.

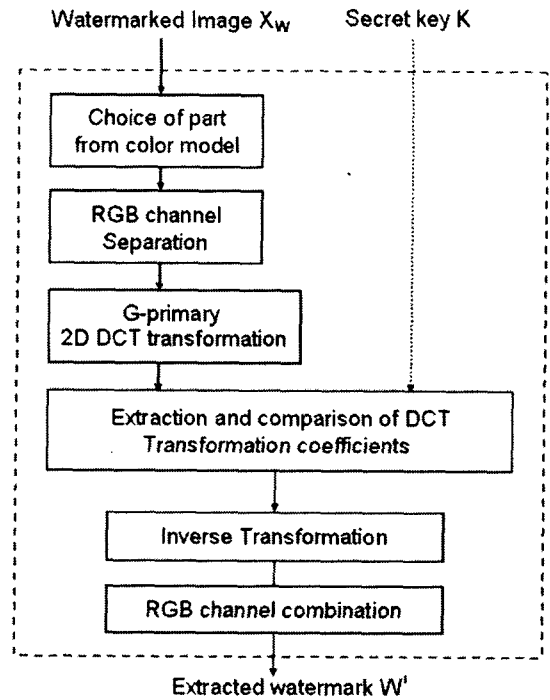


그림 3. 워터마크 추출 블록도
Fig 3. Watermark extracting block.

$$C = \frac{L(x, y) - L_0}{L_0} \quad (8)$$

또한 HVS 시스템 특성에서 모든 입력신호는 삼각급수의 형태로 전개할 수 있으므로 영상의 공간적 휘도는 다음 식 (9)와 같이 정의된다.

$$L(x, y) = L_0 + \Delta L \cos(2\pi f(x \cos \theta + y \sin \theta)) \quad (9)$$

여기서 f, θ 및 ΔL 는 각각 주파수, 방향 그리고 자극의 강도를 의미한다. 또한 HVS가 인지할 수 있는 최저 삼각급수 전개에 대한 임계감지 대비함수(just noticeable contrast: JNC)는 CSF의 역함수로 정의된다.

$$S_c = \frac{1}{JNC} = \frac{L_0}{\Delta L_m} \quad (10)$$

(ΔL_m = 임계 감지자극)

또한 주어진 영역의 텍스처 등급 $T(B_k)$ 는 다음 식으로 정의된다[5],[6].

$$T(B_k) = \frac{1}{n \times m} \sum_{(i,j) \in B_k} p(E_k) \frac{|x(i,j) - E_k|}{E_k} \quad (11)$$

$$p(E_k) = (1/E_k)^\alpha \quad (12)$$

E_k 는 각 블록영역의 평균 그레이 값이고 $p(E_k)$ 는 가중치 계수이고, α 는 상수로서 0.6이다. 식 (12)에서 $p(E_k)$ 값이 작으면 텍스처가 많이 포함된 영상을 의미한다. 3장에서 기술한 바, 워터마크의 삽입 및 검출과정과 함께 중요한 문제는 워터마크 자체를 삽입하기 위한 DCT 변환계수 분포 특성을 파악하여 최적의 주파수 대역을 결정하는 것이다. HVS 특성을 고려하면 고주파 대역보다는 저주파 대역에 민감하며 따라서, 식 (8)~(12)을 이용하여 중간주파수 대역에 해당하는 블록을 결정하면 된다. 본 연구에서는 퍼지추론을 이용하여 최적의 주파수 대역을 결정하는 방법[6],[7]을 이용하였으며 알고리즘의 전반적인 처리과정은 다음과 같다.

- Step 1: (Receiving 2D DCT coefficients)
 - Original image size set (256*256)
 - Watermark image size set (32*32)
 - gain factor and mid band set
 - PNS = Pseudo random number generation
- Step 2: (Data transformation)
 - Calculate the max. min. median value from 2D DCT coefficients
 - Generate a membership function
- Step 3: (Condition part computation)
 - Obtain the membership values
 - Estimate the degree of fulfillment (DoF)
- Step 4: (Conclusion part computation)
 - Implication aggregation
 - Perform the implication computation
- Step 5: (Defuzzification matching)
 - Defuzzification is involved with center of gravity(CoG)

V. 실험 및 성능 평가

제안한 방법의 타당성을 검토하기 위하여 일련의 실험을 수행한 바, 먼저 표준영상의 DCT 계수를 구하였고 또한 로고형태의 워터마크를 생성하였다. 워터마크가 삽입될 주파수 분포대역을 구하

기 위하여 HVS 특성 파라미터를 이용하였고, 최적의 삽입영역 선정을 위하여 퍼지추론 기반의 알고리즘을 사용하였다. 워터마크 된 영상으로부터 워터마크의 추출 여부를 확인하고 PSNR을 구하여 성능을 평가하였다. 압축률은 부호화한 후의 데이터양으로부터 쉽게 구해지지만, 복호화상의 화질 판정은 쉽지 않다. 최종적으로 사람이 판단해야 하지만, 객관적인 평가척도로서 S/N비가 자주 사용된다. 식 (13)은 PSNR의 정의식으로 분자항은 8비트 화소인 화상의 경우에 원화상의 최대 전력값 255를 갖는 신호를 의미하며 분모항은 잡음을 표현한 식으로 복호 화상과 원화상의 차이를 의미한다.

$$\text{PSNR}(a, b) = 10 \log_{10} (A/B) [\text{dB}] \quad (13)$$

here, $A = 255^2$

$$B = \frac{1}{N \times M} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} [a(x, y) - b(x, y)]^2$$

a 는 원영상이고, b 는 복원된 영상이며, (x, y) 는 pixel의 조합을 나타낸다. 식 (14)는 원영상과 추출된 워터마크 영상의 유사도를 구하기 위한 상관계수 정의식이다.

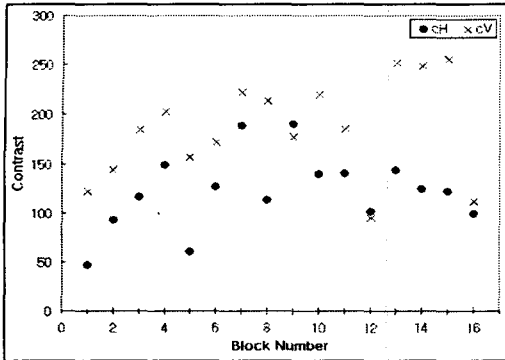
$$\text{Corr.} = \frac{\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})(B_{mn} - \bar{B})}{\sqrt{\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})^2 \sum_m \sum_n (B_{mn} - \bar{B})^2}} \quad (14)$$

here, A = 원영상, B = 복원된 영상

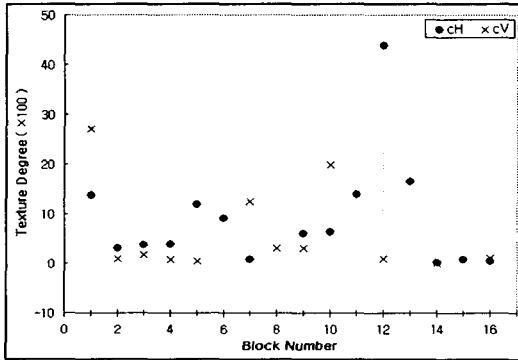
\bar{A} = the mean of the matrix(A)

\bar{B} = the mean of the matrix(B)

공격에 강인함을 평가하기 위하여 워터마크가 삽입된 영상에 JPEG 압축을 수행한 후, 영상의 화질저하 평가를 위하여 PSNR을 구하였고, 워터마크 추출의 상관도를 구하기 위하여 식 (14)를 이용하여 성능평가를 수행하였다. 그림 4의 (a), (b)는 각각 실험영상의 대비도 및 텍스처를 블럭별로 구한 것이며, 그림 5와 그림 6은 실험에 사용된 원영상과 워터마크, 원영상을 RGB 채널로 분리한 이미지이다. 그림 7은 원영상에 워터마크를 삽입하여 외부공격이 없을 경우에 워터마크를 추출하였다. 워터마크가 삽입된 영상은 33.68[dB]로 시각적으로 화질저하가 없었고, 워터마크 추출여부도 99%로 높았다.

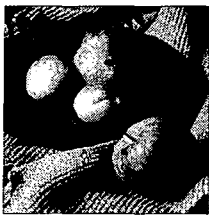


(a) 대비도
(a) Contrast



(b) 텍스처
(b) Texture

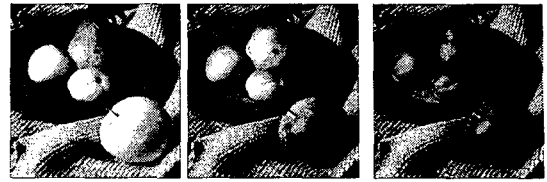
그림 4. 실험 영상 HVS. (a) 대비도, (b) 텍스처
Fig 4. HVS of test image. (a) Contrast, (b) Texture.



(a) Original Image (b) Watermark

그림 5. 원영상과 워터마크
Fig 5. Original Image & Watermark.

외부공격 유형으로 JPEG 압축에 대하여 10%씩 증가시켜 수행한 후, 신호대 잡음과 상관관계를 계산하여 성능을 평가하였다. 표 1에서는 60%까지 워터마크가 추출되었고 상관도가 90% 이상의 우수한 성능을 보임을 나타내었으며 표 2에는 압축에 따른 워터마크의 추출 여부를 보였다.



(a) Red channel (b) Green channel (c) Blue channel

그림 6. RGB 채널 분리
Fig 6. RGB channel separation.



(a) Embedded Image (b) Extracted W'

그림 7. 워터마크가 삽입된 영상과 추출된 워터마크
Fig 7. Embedded Image & Extracted Watermark.









표 1. JPEG 압축에 따른 PSNR[dB]과 Corr.(%)
Table 1. PSNR[dB] and Corr.(%) with JPEG

JPEG	성능	Extracted Watermark	
		PSNR [dB]	Corr. (%)
0 %		33.68	99
10 %		33.35	99
20 %		32.74	98
30 %		31.23	97
40 %		29.81	95
50 %		27.96	93
60 %		27.28	90
70 %		25.71	88

VI. 결 론

본 연구에서는 압축에 강한 칼라영상의 워터마크 기법을 제안하였다. 2D DCT를 수행한 후, 최적의 워터마크 삽입 영역을 설정하기 위하여 HVS 특성을 고려하였고, 칼라영상을 RGB 채널로 분리한 후, G 채널에 워터마크를 삽입하였다. HVS 특성 파라미터로는 대비도와 텍스처를 이용하였다. 제안된 디지털 워터마크 알고리즘의 성능 평가를

표 2. JPEG 압축에 따른 워터마크 추출 여부
Table 2. Extracted watermark with JPEG

JPEG	Extracted Watermark	JPEG	Extracted Watermark
0 %		40 %	
10 %		50 %	
20 %		60 %	
30 %		70 %	

위하여 JPEG 압축을 수행한 후, PSNR과 상관계수를 구하였다. 인간의 주관적 시각에서 워터마크의 추출여부를 확인할 수 있었고, 또한 결과적으로 60%까지의 압축 비율에 대하여 90% 이상의 상관관계를 나타내었으며 제안한 방법이 칼라모델의 압축공격 유형에 강인함을 입증하였다.

참고문헌

[1] Fabien A. P. and Peticolas, " Watermarking schemes Evaluation", IEEE Signal Processing Magazine, pp. 58 - 64, September, 2000.
[2] G. C. Langelaar and R. L. Langendijk, "Watermarking digital image and video data", IEEE Signal Processing Magazine, pp. 20 - 45, September, 2000.

[3] Hovancak, R., "DCT Watermarking Algorithm without Using Original Image for Extrsction." In II. PhD conference and SVOS, Kosice, 2002, p.33-34.
[4] Hovancak, R. Levicky, D. , "Digital Image Watermarking in Color Models using DCT Transformation.", Radio engineering, Slovak Scientific Conference, Vol. 13, No. 1, April 2004.
[5] Wang H. and Li R, "An Encrypted Fuzzy Image-Adaptive Watermarking Algorithm Based on HVS", Chinese Journal of Electronisc, Vol. 11, No. 4, Oct. 2002.
[6] 송학현, 김윤호, "An Adaptive Digital Watermarking using DWT and FIS", 디지털콘텐츠학회 논문지 제5권 제2호, 2004년 6월.
[7] 송학현, 김윤호, "퍼지추론을 이용한 계수조정 워터마킹 기법", 한국해양정보통신학회 논문지 제8권 제8호, 2004년 12월.
[8] King N. Ngan, Chi W. Yap, and Keng T. Tan, "Video Coding for Wireless Communication Systems", Marcel Dekker, 2001.
[9] V. Fotopoulos and A. N. Skodras, "Transform domain watermarking: adaptive selection of the watermark's position and length", PP. 1921-1927, Proc. of SPIE 2003.

저자소개

김윤호(Yoon-Ho Kim)

한국해양정보통신학회 논문지 제 8권 8호 참조