

CAT 기저함수를 이용한 컬러영상에 디지털 워터마킹

남태희*

*동주대학교 의료공학과

e-mail : thnam@dongju.ac.kr, thnam1@hanmail.net

Digital Watermarking in Color Image using CAT Basis Functions

Tae-Hee Nam*

*Dept of Biomedical Engineering, Dongju College

요 약

본 논문에서는 컬러 영상 콘텐츠 활용 과정에서 발생하는 영상의 도용 및 위변조를 사전에 예방하고 저작자의 보호를 위해 2D CAT(Two-Dimensional Cellular Automata Transform) 방법을 이용한 컬러 영상에 디지털 워터마킹 기술을 제안한다. 제안된 방법은 먼저 RGB 컬러 영역을 YCbCr 영역으로 변환한다. 또한 저주파 영역에 워터마크 정보를 삽입하기 위해 직교성질이 있는 2D CAT 규칙에 대한 상태전이 행렬과 게이트웨이 값들을 이용하여 기저함수를 생성한다. 생성된 기저함수를 이용하여 YCbCr로 변환된 영역 중 Y 공간 영상을 저주파 및 고주파 영역으로 각 그룹별로 나눈다. 나누어진 저주파 영역에 워터마크 정보를 삽입한다. 마지막으로 PSNR을 이용하여 워터마크 정보가 삽입된 영상에 원 영상과의 가시적 동일성 및 화질의 왜곡을 분석한다.

1. 서론

인터넷은 시각적으로 효과를 줄 수 있는 영상 정보 활용의 장으로서 업체 광고 및 정보 활용의 공간으로 널리 이용되고 있다는 것은 누구나 알고 있는 사실이다. 이러한 활용의 공간에서 광고의 효과를 살리기 위해 광고성 영상 정보 일부를 인터넷에 공개함으로 상업적 효과는 기대할 수 있으나 이로 인해 발생하는 콘텐츠의 무단 복제, 위변조 등 영상 정보의 변질은 저작자의 심각한 경제적인 피해가 발생할 수 있다. 이러한 제작된 영상 정보 콘텐츠를 보호하고 활용하기 위해 컬러 영상에 디지털 워터마킹 기술을 제안한다. 디지털 워터마킹 기술은 디지털 콘텐츠에 인간의 가시적으로는 식별할 수 없고 오직 저작자만이 식별할 수 있는 정보를 삽입하고 검출기를 통해서만 그 정보를 식별할 수 있도록 하는 기술이다. 본 논문은 병원 및 기타 업체 홍보 및 활용을 위해 컬러 영상 정보 콘텐츠 도용 및 위변조의 문제점을 사전 예방하고 저작자의 보호를 위해 2D CAT 방법을 적용한 디지털 워터마킹 기술을 제안한다. 제안된 방법은 먼저 RGB 컬러 영역을 YCbCr 영역으로 변환한다. 또한 저주파 영역에 워터마크 정보를 삽입하기 위해 직교성질이 있는 2D CAT 규칙에 대한 상태전이 행렬과 게이트웨이 값들을 이용하여 기저함수를 생성한다. 생성된 기저함수를 이용하여 YCbCr로 변환된

영역 중 Y 공간 영상을 저주파 및 고주파 영역으로 각 그룹별 나눈다. 나누어진 주파수 영역에서 에너지가 99% 이상 집중되어 영상의 왜곡을 최소화할 수 있는 저주파 영역 그룹 I 에 정보를 삽입한다. 마지막으로 PSNR을 이용하여 워터마크 정보가 삽입된 영상에 원 영상과의 가시적 동일성 및 화질의 왜곡을 분석한다.

2. CAT 원리

CAT는 정의된 이웃 셀들의 상호작용에 대한 규칙과 셀들의 상태 수, 각 이웃에 있는 셀의 수, 셀들의 초기 값, 셀들의 경계 조건, 셀 공간 및 구조의 형태, 셀 공간 차원, CAT 기저함수 타입 등에 의해 다양하게 변환된다.

CAT f 는 공간영역 i 에서 정의된 함수일 때 1차원 식은 (1)과 같이 표현된다.

$$f_i = \sum_{k=0}^{N-1} c_k A_{ik} \quad i=0,1,2,\dots,N-1 \quad (1)$$

여기서 A 는 1차원 CAT 기저함수, i 는 시간, k 는 CA 공간벡터, c_k 는 1차원 CAT 계수를 나타내며, 다음 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$c_k = \frac{1}{\lambda_k} \sum_{i=0}^{N-1} f_i A_{ik} \quad \lambda_k = \sum_{i=0}^{N-1} A_{ik}^2 \quad (2)$$

2차원 공간 $N \times N$ 셀일 경우, 2차원 공간에서 직교변환 기저함수는 $A \equiv A_{ijkl}(i, j, k, l = 0, 1, 2, \dots, N-1)$ 이다. 식 (3), (4)는 비트 열 $N=8$ 일 때, 입력 데이터 $f_{ij}(i, j = 0, 1, 2, \dots, N-1)$ 에 대한 2차원 CAT와 ICAT(Inverse Cellular Automata Transform)를 표현하는 식이다.

$$\text{CAT: } c_{kl} = \left(\sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 f_{ij} A_{ijkl} \right) / 8 \quad (3)$$

$$\text{ICAT: } f_{ij} = \left(\sum_{k=0}^7 \sum_{l=0}^7 c_{kl} A_{ijkl} \right) / 8 \quad (4)$$

식 (3) c_{kl} 은 변환계수이며, 2차원 CAT 기저함수이다. 2차원 CAT 기저함수는 2차원 CA 공간 $a \equiv a_{ijt}(i, j, t = 0, 1, 2, \dots, N-1)$ 에서 A_{ijkl} 을 생성한다. 이것은 1차원 CAT 기저함수로부터 생성되며 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다[1][2].

$$A_{ijkl} = A_{ik} A_{jl} \quad (5)$$

그림 1은 2차원 CAT 기저함수를 생성하는 절차를 설명한다.

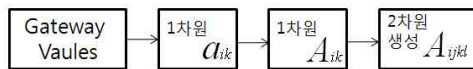


그림 1. 2차원 CAT 기저함수 생성과정

3. 제안 방법

CAT을 적용하는 방법은 먼저, 직교성질을 갖는 규칙과 초기 값들 등 키 값을 설정한 다음, 1, 2차원 CAT 기저함수를 단계적으로 만드는 일이다. 본 논문의 실험은 표 1과 같은 게이트웨이 값들을 실험에 적용하였다.

표 1. 직교 성분을 갖는 CA 규칙 및 초기 값들

CA 규칙	14, 142, 47, 15, 11, 43, 143, 158
이웃 셀	3
격자 크기	8
초기 값	11010100, 01101010, 11110011, 10010000, 00111111, 01111110, 01011101, 11011000
경계조건	Cyclic
기저 함수 Type 2	$A_{ik} = 2a_{ik}a_{ki} - 1$

그림 2는 표 1에 표시된 방법들 중 규칙 43과 초기 값 “01111110”에 의해 생성된 2차원 CAT 기저함수 A_{ijkl} 로서 직교성질을 갖는다. 그림 2에서 흰 픽셀은 1(addition)을, 검은 픽셀은 -1(subtraction)을 의미한다.

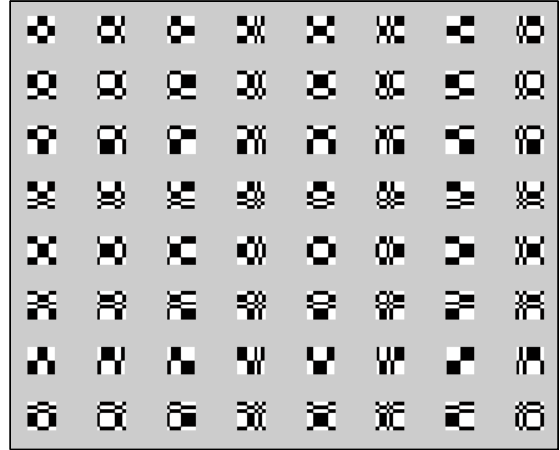


그림 2. 직교성질을 갖는 2차원 CAT 기저함수 A_{ijkl}

생성된 기저함수는 영상의 폭이 $w = 2^n (n=1, 2, 3, \dots)$ 이고, 높이가 $h = 2^m (m=1, 2, 3, \dots)$ 일 때 $8 \times 8 = 64$ 개의 픽셀로 구성하는 $2^{m+n}/64$ 개의 다중 해상도로 영역을 분할할 수 있다. 변환계수 c_{kl} 은 그림 2의 기저함수 A_{ijkl} 을 짝수 또는 홀수에 따라 그림 3과 같이 4가지 영역의 그룹으로 나눌 수 있다. 그림 3과 같이 변환 계수의 k, l 모두 짝수인 경우에는 LL(대역(저주파 영역)), k 가 짝수이고 l 이 홀수이면 HL(수평 중고주파 영역), k 가 홀수이고 l 이 짝수이면 LH(수직 중고주파 영역), k, l 모두 홀수인 경우에는 HH(고주파 영역) 대역으로 나눌 수 있다. 또한 그림 3은 영상을 4개의 그룹으로 나누어진 변환계수로 보여주고 있다.



그림 3. 대역분할 및 Y영상의 주파수 영역별 분할 영상들

일반적으로 워터마크 정보의 삽입은 다양한 방법으로

특정 대역에 존재하는 변환계수 값을 변경하게 되는데, 특히 외부 공격에 강한 대역을 선정하는 것이 중요하다. 본 논문은 그림 3과 같이 변환계수를 재배열하여 4개 영역으로 나누어진 영역 중 에너지가 99%이상 집중된 저주파 영역 $LL(I)$ 에 워터마크 정보를 삽입한다. 왜냐하면 잡음 등에 민감한 고주파 영역보다는 외부 공격에 강한 저주파 영역을 선택하는 것이 영상의 왜곡을 최소화 할 수 있기 때문이다.[3][4][5][6].

$$C'_{group(I)}(k,l) = [C_{group(I)}(k,l) + \alpha \times W(k,l)] \quad (6)$$

$$C''_{group(I)}(k,l) = ICAT(C'_{group(I)}(k,l)) \quad (7)$$

식 (6)의 $C_{group(I)}(k,l)$ 은 YCbCr 영역에서 Y 영상의 LL 저주파 영역, α 는 삽입 강도, $W(k,l)$ 은 워터마크 정보이며 식 (7)의 $C''_{group(I)}(k,l)$ 에 의해 워터마킹 정보가 삽입된 영상을 얻는다. 또한 워터마크의 추출은 식 (8)에 의해 삽입된 워터마크 정보를 추출하며, $W'(k,l)$ 은 추출된 워터마크 정보이다.

$$W'(k,l) = abs[C_{group(I)}(k,l) - C'_{group(I)}(k,l)] \quad (8)$$

3. PSNR

본 논문은 원 영상과 워터마크 정보가 삽입된 두 컬러 영상과의 화질을 비교하기 위한 방법으로 $PSNR$ (Peak Signal to Noise Ratio) 값을 구한다.

$$PSNR = 10 \log_{10} (255^2 / MSE) [dB] \quad (9)$$

$$MSE = \frac{1}{n \times m} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (w_{ij} - w'_{ij})^2 \quad (10)$$

식 (9)에서 255는 픽셀의 최대 값으로 8비트 잡음 또는 밝기를 나타내며 dB 로 표현한다. 또한 MSE 는 평균제곱 오차(mean square error)로서 i 와 j 값은 가로와 세로 영상을 의미하며, 두 개의 같은 영상 데이터에 대해 동일한 위치의 분산을 계산한다. 식 (10)에서 w_{ij} 은 원 영상의 픽셀 값이며 w'_{ij} 는 워터마킹된 영상의 픽셀 값을 의미한다. $PSNR$ 은 원 영상의 신호와 잡음 신호의 비율로서 $PSNR$ 값이 클수록 잡음 신호의 왜곡이 작을 것을 의미하며 $PSNR > 30 dB$ 이면 인간의 가시적으로는 느낄 수 없다.

4. 실험 및 고찰

본 논문에서 사용한 컬러 영상의 크기는 512×512 등을 사용하였으며 저작권 정보는 256×256 크기의 2진 영상으로 그림 4와 같다.

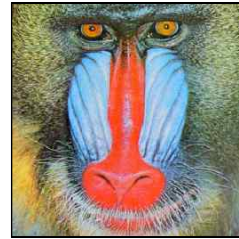


그림 4. 저작권 정보와 실험에 사용된 컬러 원 영상들

그림 5는 추출된 저작권 정보와 원 영상을 대상으로 저작권이 워터마킹된 영상들이다. 실험 결과 저작권이 워터마킹된 컬러 영상의 $PSNR$ 은 평균 $50dB$ 이상으로 인간의 가시적으로는 느낄 수 없을 만큼 원 영상에 가까운 결과를 보였다.

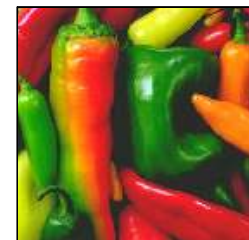
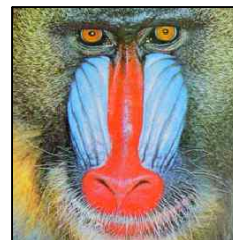


그림 5 추출된 저작권 정보와 저작권 정보가 삽입된 워터마킹된 영상들

5. 결론

본 논문은 병원 및 기타 업체 홍보를 위해 일부 공개된 컬러 영상 정보 콘텐츠 도용 및 위변조의 문제점을 사전 예방하고 저작자의 보호를 위해 2차원 CAT 기저함수 A_{ijk} 방법을 이용한 디지털 워터마킹 기술을 제안하였다. 제안된 방법은 직교성질을 갖는 CA의 다양한 규칙들과 초기 값들을 이용하여 기저함수를 생성한다. 생성된 기저함수를 이용하여 YCbCr로 변환된 영역 중 Y 공간 영상을 저주파 및 고주파 영역으로 각 그룹별 나눈다. 나누어진 주파수 그룹 영역에서 에너지가 99%이상 집중되

어 영상의 왜곡을 최소화할 수 있는 저주파 영역 그룹 I 에 워터마크 정보를 삽입한다. 마지막으로, 워터마크 정보가 삽입된 컬러 영상에 원 영상과의 가시적 동일성 및 $PSNR$ 을 이용하여 영상의 왜곡 정도를 분석한 결과, 컬러 영상의 유형에 따라 수치적으로 차이는 보이나 평균 $50dB$ 이상으로 인간의 가시적으로는 느낄 수 없을 만큼 원 영상에 가까운 결과를 보였다. 따라서 본 논문에서 제안한 2차원 CAT 기저함수를 이용한 디지털 워터마킹 기술이 컬러 영상 처리 분야에 응용될 수 있다는 사실을 확인하였으며, 특히 직교성질이 있는 2차원 CAT는 일정한 규칙에 따른 복잡한 전이의 특성이 있으므로 다양한 규칙에 따라 컬러 영상 변환 형태가 다양하게 반응하는 과정을 분석하는 기술 또한 새로운 영상 처리 기술의 성질로서 확인할 필요가 있다.

참고문헌

- [1] X.W. Li, T.H. Nam, S.K. Lee, S.T. Kim, "Digital Watermarking in transform-domain based on Cellular Automata Transform", ICNIT2011 IEEE PRESS, pp.132-136, June. 2011.
- [2] O. Lefe, "Cellular Automata Transforms: Theory and Application in Multimedia Compression, Encryption, and Modeling," Kluwer Academic Publishers, Jan. 2000.
- [3] J. W. Wang, G. Liu, Y. W. Dai, J. S. Sun, Z. Q. Wang, S. G. Lian, "Locally optimum Detection for barni's Multiplicative Watermarking in DWT domain", International Journal of Signal Processing, Vol. 88, No. 1, pp. 117-130, 2008.
- [4] X.W. Li, J.S. Yun, S.J. Cho, S.T. Kim, "Watermarking Based on Complemented MLCA and 2D CAT", KIMICS, Vol.9, No.2, pp.212-216, April 2011.
- [5] X.W. Li, T.H. Nam, S.J. Cho, S.T. Kim, "Digital Watermarking System Using Cellular Automata Transform", ICCSIT2011 IEEE PRESS, Vol.4, pp.405-408, June. 2011.
- [6] W. C. Chu, "DCT-Based Image Watermarking Using Sub-sampling", IEEE Trans. on Multimedia, Vol. 1, pp. 34-38, 2003.