

웨이블릿 변환 기반의 컬러 영상에 대한 디지털 워터마킹

박영일* · 김석태**

*부경대학교

Digital Watermarking based on Wavelet Transform for Color Images

Yong-ri Piao* · Seok-tae Kim**

*Pukyong National University

E-mail : pyr-bww@hanmail.net

요 약

본 논문에서는 컬러 영상에 대한 웨이블릿 변환 기반의 디지털 워터마킹을 하는 새로운 기법을 제안한다. 먼저 워터마크에 대해 Arnold 변환을 하여 워터마크의 상관성을 적게 만든다. 그 후, 선형 비트확장 기법을 적용하여 확대된 워터마크를 웨이블릿 변환 된 컬러 영상의 Y 영역의 저주파대에 일정한 강도로 삽입한다. 워터마크를 추출 할 때는 F-노름 (norm)함수를 이용한다. 다양한 컬러 영상에 대해 실험한 결과 제안방법은 충실도와 강인성 측면에서 우수한 특성을 가짐을 확인하였다.

ABSTRACT

This paper proposes a new Digital Watermarking based on Wavelet Transform for Color Images. To ensure the security of the watermark, enlarged watermark by applying linear bit expansion is inserted in a given intensity to a low frequency subband of the color image Y band which is Wavelet transformed after the Arnold Transformation. When detecting the presence of watermark, F norm function is applied unlike the existing methods. The experiment results verify that the proposed watermarking technique has outstanding quality in regards to fidelity and robustness.

키워드

컬러영상, Arnold 변환, 웨이블릿 변환, 선형비트확장, F 노름함수

I. 서 론

최근, 인터넷을 통한 멀티미디어 데이터의 대량 복제 및 분배가 급속하게 늘어남에 따라 디지털 워터마킹에 대한 연구가 주목을 받고 있다 [1]. 디지털 워터마킹은 저작권자의 고유정보를 사람의 인지 능력으로 감지하기 어렵도록 삽입한 후, 차후 저작권 분쟁이 발생할 경우 저작권 정보를 다시 추출함으로써 저작권자의 소유권을 입증할 수 있는 기술이다[2].

본 논문에서는 YCbCr 컬러영역에서 원 영상을 웨이블릿 변환 한 후 Y영역의 저주파성분에 워터마크를 삽입하면서도 심한 화질 열화가 일어나지

않고 워터마크의 강인성을 보장하는 방법을 제안한다. 워터마크의 삽입 시에는 먼저 워터마크에 Arnold변환과 선형비트확장을 한 후 컬러영상의 저주파 영역을 선택하여 워터마크를 삽입한다. 워터마크의 추출 시에는 F 노름 함수를 적용하여 워터마크의 유사도를 비교한다.

II. 선형비트확장 워터마킹 방법

1. 컬러영역의 좌표계 변환

본 논문에서는 컬러 영상에 워터마크를 삽입하기 위하여 식(1)을 이용하여 RGB로부터 YCbCr 컬러 영역으로의 변환과 역변환 진행한다.

$$\begin{pmatrix} Y \\ C_b \\ C_r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.168 & -0.331 & 0.500 \\ 0.500 & -0.418 & -0.081 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.000 & 1.000 & 1.000 \\ 0.000 & -0.344 & 1.772 \\ 1.402 & -0.714 & 0.000 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y \\ C_b \\ C_r \end{pmatrix}$$

2. Arnold 변환

워터마크를 N×N 크기라고 가정하면 Arnold 변환 [3]은 식(2)과 같다.

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ k & k+1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \pmod{N} \quad (2)$$

여기서 $x, y \in \{0, 1, 2, \dots, N-1\}$ 이다. k의 값에 따라 화소가 재배열되어 워터마크의 공간적 상관성이 제거된다. 그림 1은 원 워터마크와 Arnold 변환 후의 워터마크를 나타내고 있다.

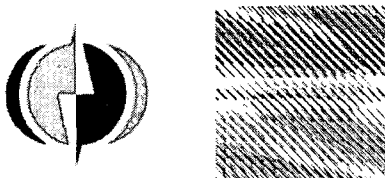


그림 1. 원 마크와 Arnold 변환 후 마크

3. 웨이블릿 변환

본 논문에서는 YCbCr 컬러 영역으로 변환을 한 원 영상에 웨이블릿 변환을 한 단계 수행하여 그림 2와 같이 4개 대역을 얻는다.

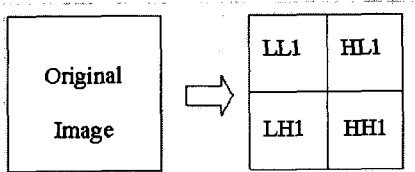


그림 2. 1레벨 웨이블릿 변환

4. 선형비트확장

선형비트확장은 데이터를 반복되는 비트 열로 재배열하기 때문에 에러가 발생하더라도 반복된 비트 열로부터 손실된 비트 열을 복구할 수 있어 워터마크의 강인성을 높일 수 있다. 적용한 선형비트확장은 식(3)과 같다.

$$w'(i, j) = (2^N - 1) \left(\frac{w(i, j) - w_{\min}}{w_{\max} - w_{\min}} \right) \quad (3)$$

여기서 $w(i, j)$ 는 원 워터마크이고 $w'(i, j)$ 은 워터마크의 화소값을 선형N비트 확장한 결과 값이고, w_{\max} 과 w_{\min} 은 워터마크의 화소 값 중에서 최대값과 최소값을 나타낸다. 만약 N×N크기에 n bit/pixel 그레이 영상을 워터마크로 선택하면 $w_{\max} = 2^n - 1$ 이고 $w_{\min} = 0$ 이므로 식(3)은 식(4)과 같이 확장된다.

$$w'(i, j) = \frac{(2^N - 1)}{(2^n - 1)} w(i, j) = \frac{(2^{nK} - 1)}{(2^n - 1)} w(i, j) \quad (4)$$

$$= \left[\sum_{k=1}^K 2^{n(k-1)} \right] \cdot w(i, j), \quad K \text{는 정수}$$

식(4)을 이용하여 8bit/pixel 워터마크를 32bit/pixel의 4개의 8bit열의 반복으로 확장하여 그림3과 같이 배열하면 새로운 공간 $w'(i, j)$ 가 형성된다.

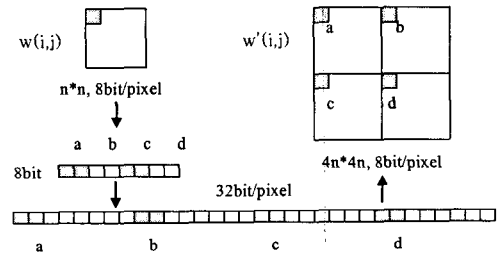


그림 3. 선형비트확장 과정

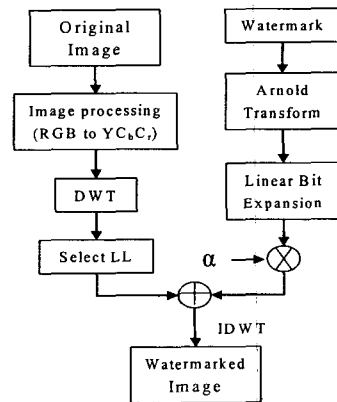


그림 4. 워터마크 삽입과정

5. 워터마크의 삽입

본 논문에서는 식(5)을 이용하여 워터마크를 삽입한다.

$$I'(i,j) = I_{wave}(i,j) + \alpha \cdot w'(i,j) \quad (5)$$

여기서 α 는 워터마크의 삽입강도, $I'(i,j)$ 는 워터마크된 영상, $I_{wave}(i,j)$ 는 웨이블릿 변환 후의 영상, $w'(i,j)$ 는 Arnold 변환을 한 다음 선형비트확장을 한 워터마크이다. 그림 4는 워터마크의 삽입과정을 나타내고 있다

6. 워터마크의 추출과정 및 검증

워터마크의 추출은 원 영상을 필요로 한다. 먼저 워터마크가 삽입된 영상과 원 영상을 웨이블릿 변환하여 Y영역의 LL계수를 얻은 다음 선형비트확장에 의해 재배치된 네 곳을 식(6)을 이용하여 화소값(A1, A2, A3, A4)을 얻는다.

$$W_{INT}(x,y) = \frac{Y_{LL}(x,y) - X_{LL}(x,y)}{\alpha} \quad (6)$$

여기서 $X_{LL}(x,y)$ 는 워터마크된 영상의 Y영역 LL계수이고 $Y_{LL}(x,y)$ 는 원영상의 Y영역 LL 계수이다. 추출된 A1, A2, A3, A4는 공격에 의해 변형될 수 있기 때문에 워터마크 화소의 선택은 식(7)을 이용한다. 먼저 추출된 A1, A2, A3, A4의 평균편차 D_i 를 구한다.

$$D_i = |A_i - M|, \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (7)$$

여기서 M은 A1, A2, A3, A4의 평균값을 나타낸다. 그 후 식(7)을 이용하여 표준편차 σ 를 계산한다. 표준편차 σ 는 식(8)과 같다.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 D_i^2} \quad (8)$$

만약 D_i 가 σ 보다 작다면 최소 평균편차 값 D_i 를 갖는 화소값이 최적 워터마크로 선택되고 D_i 가 σ 보다 크면 공격에 의해 손실이 큰 것으로 판단하고 나머지 화소값으로 다시 평균 편차를 구해서 최소 평균편차 값을 갖는 화소값을 워터마크로 선택한다.

추출해낸 워터마크의 유사도는 F-노름(norm) 함수를 도입하여 측정한다. F-노름 함수로 유사도를 측정하는 방법은 식(9), 식(10)과 같다. A

를 $N \times N$ 크기의 영상이라고 가정한다. 즉

$$A = \begin{bmatrix} a_{0,0} & a_{0,1} & \dots & a_{0,n-1} \\ a_{1,0} & a_{1,1} & \dots & a_{1,n-1} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n-1,0} & a_{n-1,1} & \dots & a_{n-1,n-1} \end{bmatrix} \quad (9)$$

A의 F-노름 함수는 식(10)과 같다

$$\|A\|_F = \sqrt{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} a_{i,j}^2} \quad (10)$$

그중에서 $A_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 는 A의 부분집합이라고 하면 식(11)과 같다.

$$A_i = \begin{bmatrix} a_{0,0} & a_{0,1} & \dots & a_{0,i-1} \\ a_{1,0} & a_{1,1} & \dots & a_{1,i-1} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{i-1,0} & a_{i-1,1} & \dots & a_{i-1,i-1} \end{bmatrix} \quad (11)$$

여기서 ΔA_i 는 식(12)과 같다.

$$\Delta A_i = \|A_i\|_F - \|A_{i-1}\|_F, \quad \|A_0\|_F = 0 \quad (12)$$

이때 영상 A와 영상 B 사이의 유사도를 식(13)과 같이 정의한다.

$$SIM = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{\Delta A_i \Delta B_i}}{\|A\|_F} \quad (13)$$

III. 실험 결과

본 논문에서는 256×256 크기의 24bit 컬러영상과 64×64 크기의 8bit 그레이 영상을 워터마크로 사용하여 실험을 하였다. 원 영상과 워터마크된 영상의 화질을 객관적으로 비교하기 위해 PSNR을 도입한다. PSNR은 식(14)과 같다.

$$PSNR = 20 \log \left(\frac{255}{\sqrt{\frac{1}{N^2} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} [F(i,j) - \hat{F}(i,j)]^2}} \right) [dB] \quad (14)$$

$F(i,j)$ 는 원 영상, $\hat{F}(i,j)$ 는 재구성된 영상을 나타내고, N은 영상크기를 나타낸다.

그림 5는 제안한 알고리즘을 이용하여 256×256 크기의 Tiger 컬러영상에 워터마크를

삽입한 것을 나타내고 있다. 워터마크된 영상의 PSNR은 41.71dB로 시각적 손실은 거의 없음을 알 수 있다.

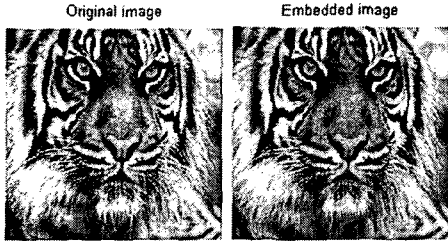


그림 5. 원영상과 워터마크된 영상

표 2. 실험 결과

강인성 실험			실험영상	
			Lena	Tiger
No attack		PSNR(dB)	41.68 dB	41.71 dB
Gaussian Noise	1%	SIM (%)	0.9878	0.9864
	2%	SIM (%)	0.9341	0.9332
	3%	SIM (%)	0.9023	0.9015
	4%	SIM (%)	0.8674	0.8659
Blurring	3 by 3	SIM (%)	0.9096	0.9124
Median Filter	3 by 3	SIM (%)	0.9054	0.9067

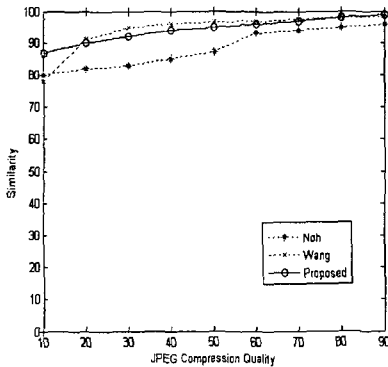


그림 8. JPEG 공격에 대한 유사도 비교

표 2는 여러 가지 영상처리 공격을 가한 실험 결과를 나타내고 있다. 실험결과로부터 제안한 방법은 일반적인 영상처리 공격에 대해서 강인성을 가짐을 확인할 수 있었다.

본 논문에서 제안방법과 Wang[6], Noh[7] 등의 방법을 비교하기 위하여 JPEG 압축정도에 따른 워터마크 검출 유사도를 그림 6에 나타냈다. 제안한 방법은 유사도 변화가 일정하여 JPEG 손실 압축에 대한 강인함을 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 웨이블릿 변환 기반의 컬러 영상에 대한 워터마킹 기법을 제안하였다. 먼저 워터마크에 Arnold변환과 선형비트확장을 한 후, 좌표변환을 한 컬러영상의 저주파 영역에 워터마크를 삽입한다. 워터마크 추출 시에는 F-노름 함수를 사용하여 보다 정확하게 유사도를 측정하였다. 실험결과 워터마크된 영상은 우수한 화질(PSNR>41dB)을 유지하면서 외부공격에 대한 강인성도 보다 향상됨을 확인하였다. 본 방법은 콘텐츠인증, 복사방지, 거래추적 등에 응용될 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

- [1] J. S. Pan, H. C. Huang and L. C. Jain, Intelligent Watermarking Techniques, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2004.
- [2] I. J. Cox, M. L. Miller, J. A. Bloom, Digital Watermarking, Morgan Kaufmann Publishing Co. Pte. Ltd., 2005.
- [3] K. Hashida and A. Shiozaki, "A Method of Embedding Robust Watermarks into Digital Color Images," IEICE Trans. on Fundamentals, Vol. E81-A, No.10, pp. 2133-2137, Oct., 1998.
- [4] 원준호, 전병우, "칼라영상의 화질열화를 고려한 선택적 삽입의 강인한 워터마킹" 전자공학회 논문지, Vol.41, No. 5, Sept., 2004.
- [5] M. Arnold, "Audio Watermarking: Features, Applications and Algorithms," Proc. International Conference on Multimedia and Expo, New York, USA, Vol. 2, pp. 1013-1016, 2000.
- [6] Houng-Jyh Wang and C.-C. Jay Kuo, "Wavelet based Digital image watermarking." In Optics Express Focus Issue: Digital Watermarking. Vol. 3, December, 1998.
- [7] Jin Soo Noh, Kwang Gyu Shin, and Kang Hyeon Rhee, "Watermarking of Gray logo and Color Image based on Human Visual System," Electronics Engineers of Korea Journal, Vol. 42, No. 3, 2005.