

---

# 웨이블릿 변환 기반의 컬러영상 워터마킹

박영일 · 김석태\*

## Color Images Watermarking Based on Wavelet Transform

YongRi Piao · SeokTae Kim\*

### 요 약

본 논문에서는 웨이블릿 변환을 기반으로 한 새로운 컬러영상 워터마킹 기법을 제안한다. 먼저 RGB 컬러영역을 YCbCr 좌표계로 변환한다. 그리고 워터마크에 대해 Arnold 변환을 하여 워터마크의 상관성을 적게 만든다. 그 후, 선형비트확장 기법을 적용하여 확대된 워터마크를 웨이블릿 변환된 컬러 영상의 Y 영역- 저주파대에 일정한 강도로 삽입한다. 워터마크를 추출할 때는 F-노름(norm) 함수를 이용한다. 다양한 칼라영상에 대해 실험을 한 결과 제안한 방법은 충실도와 강인성 측면에서 우수한 특성을 가짐을 확인하였다.

### ABSTRACT

This study proposes a new digital watermarking technique based on wavelet transformation on color image. First, the YCbCr coordinates obtain from RGB color space. then, the correlation of watermark is decreased by Arnold transformation. Next, watermark which has been enlarged by Linear Bit-expansion is inserted at a given intensity in Color images' low frequency sub-bands. When detecting the presence of watermark, F-norm function is applied. As a result of the various experiments on color images, the proposed watermarking technique has outstanding quality in regards to fidelity and robustness.

### 키워드

YCbCr, Arnold, Wavelet, Linear Bit-expansion, F norm Function

## I. 서 론

최근, 멀티미디어 데이터의 대량 복제 및 분배가 급속하게 늘어남에 따라 디지털 영상 데이터의 소유권 보호와 영상의 진위 여부 및 인증에 대한 문제가 중요하게 되었다. 이러한 문제점의 해결을 위한 방안으로 디지털 워터마킹 기법이 널리 사용되고 있다[1]. 디지털 워터마킹은 저작권자의 고유정보를 사람의 인지 능력으로 감지하기 어렵도록 삽입한 후, 차후 저작권 분쟁이 발생할 경우 저작권 정보를 다시 추출함으로써 저작권자의 소유

권을 입증할 수 있는 기술이다[2].

지금까지 워터마킹 방법들은 그레이 영상을 대상으로 주파수 영역에서 많은 연구가 이루어지고 있다[3-4]. 또 최근 유통되는 영상의 대부분은 컬러영상이지만 컬러영상에 대한 워터마킹 방법이 적은 것이 현실이다. 그 중에서 주파수 영역을 기반으로 한 컬러영상 워터마킹 기법들은 컬러 영상의 밝기 성분 또는 RGB 컬러 성분에 각각 워터마크를 삽입하고 있다[5-6]. 컬러영상을 RGB 공간에서 양자화를 이용하여 워터마크를 삽입하는 방법[5]은 동일 화질열화에서 보다 향상된 강인성을 보장

하지 못하는 단점이 있다. 또 컬러영상의 R,G,B 세 채널에 서로 다른 삽입강도를 선택하여 삽입하는 방법[6]은 워터마킹의 강인성이 약하고, 컬러영상에서 컬러성분이 조금만 변화가 있어도 화질열화가 많이 일어나는 단점이 있다.

이러한 문제점을 고려하여 본 논문에서는 RGB 컬러영상을 YCbCr 컬러영역으로 변환하여 색차성분인CbCr을 제외한 Y(휘도)영역을 추출한 후, 웨이블릿 변환을 하여 Y영역의 저주파성분에 워터마크를 삽입하면서도 심한 화질 열화가 일어나지 않고 워터마크의 강인성을 보장하는 방법을 제안한다. 본 방법은 워터마크를 삽입할 때는 Arnold변환을 하여 워터마크의 상관성을 제거하고 웨이블릿 변환 후 선형비트확장을 적용하여 워터마크를 삽입한다. 워터마크의 추출할 때는 기존의 방법과 달리 F 노름 함수를 적용하여 추출된 워터마크와 원 워터마크의 유사도를 비교한다. 실험결과 제안한 방법은 화질열화가 적고, 각종 공격과 영상처리 후에도 강인성을 가짐을 확인할 수 있었다.

## II. 선형비트확장 워터마킹 방법

### 2.1. 컬러영역의 좌표계 변환

컬러 영역에서의 대표적인 색 좌표계로는 컴퓨터 그래픽스에 적용되는 RGB, TV 신호에 적용되는 YIQ, YUV 또는 YCbCr 그리고 컬러 프린트에 적용되는 CMYK가 있다.

본 논문에서는 컬러영상의 컬러성분이 조금만 변화가 있어도 화질열화가 많이 일어난다는 문제점을 고려하여 컬러 영상에 워터마크를 삽입하기 위하여 RGB 영상신호를 YCbCr 컬러 영역으로 변환하여 휘도성분인 Y영역을 추출한다. 식(1)은 RGB로부터 YCbCr 컬러 영역으로의 변환과 역변환 행렬을 나타낸다.

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

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

### 2.2. Arnold 변환

워터마크의 공간적 상관성을 제거하고 워터마크의 안정성을 높이기 위하여 워터마크에 대하여 Arnold변환 [7]을 한다.

워터마크를  $N \times N$  크기라고 가정하면 Arnold 변환은 식(2)와 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 공간적 상관성이 제거된다. 그림 1은 원 워터마크와 Arnold변환 후의 워터마크를 나타내고 있다.

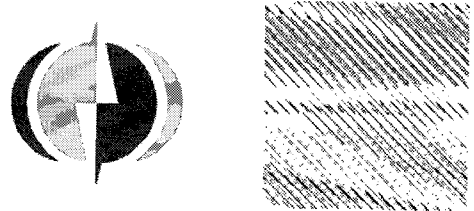


그림 1. 원 마크와 Arnold 변환 후 마크  
Fig. 1 Original mark and Arnold transformed mark

### 2.3. 웨이블릿 변환

본 논문에서는 YCbCr 컬러 영역으로 변환을 한 원 영상에 Haar 웨이블릿 변환을 한 단계(1레벨) 수행하여 그림 2와 같이 4개 대역을 얻는다. 그림 2에서 LL1은 가장 낮은 주파수 대역이며, LL1을 제외한 나머지 대역들은 고대역 필터를 통과한 대역들로 적용된 필터의 특성에 따라 특정 방향성분을 많이 가지고 있다. 웨이블릿 변환을 통해 영상을 서로 다른 해상도를 갖는 레벨로 나누어 공간 국부화(Spatial localization)와 워터마크의 주파수 확산(Frequency spread)을 가능하게 하여 다양한 신호 왜곡에 더 강인할 수 있게 한다.

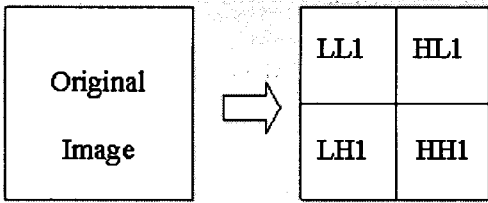


그림 2. 1레벨 웨이블릿 변환  
Fig. 2 1 Level Wavelet Transform

2.4. 선형비트확장

위터마크의 알고리즘에서는 선형비트확장을 이용하여 위터마크를 삽입할 때 위터마크의 크기가 위터마크의 삽입공간보다 작은 문제를 해결한다. 선형비트확장은 데이터열의 순서를 반복되는 비트 열로 재배열하기 때문에 외부 공격에 인해 에러가 발생하더라도 여러 개의 반복된 비트 열로부터 손실된 비트 열을 복구할 수 있어 위터마크의 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 위터마크이고  $w'(i,j)$ 은 위터마크의 화소값을 선형N비트 확장한 결과 값이고,  $w_{max}$  과  $w_{min}$ 은 위터마크의 화소 값 중에서 최대값과 최소값을 나타낸다. 만약  $N \times N$ 크기에  $n$  bit/pixel 그레이 영상을 위터마크로 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)를 이용하여 그림 3과 같이  $n \times n$  크기의 8bit/pixel 위터마크를 32bit/pixel로 비트확장하면 확장된 비트 열은 a, b, c, d 4개의 8bit열의 반복으로 구성된다. 다음 4개의 8bit열을  $4n \times 4n$  크기의 8bit/pixel로 배열하면 새로운 공간  $w'(i,j)$ 가 형성된다.

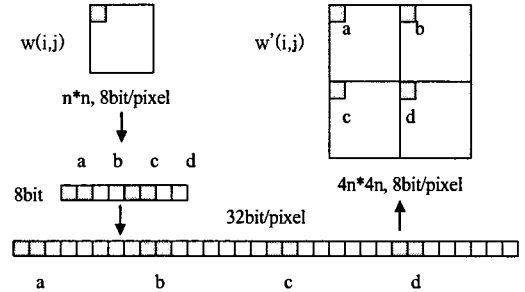


그림 3. 선형비트확장 과정  
Fig. 3 Linear bit-expansion process

2.5. 위터마크의 삽입

본 논문에서는 먼저 위터마크의 안정성을 위하여  $64 \times 64$  사이즈의 위터마크에 대하여 Arnold 변환을 수행한 후, 선형비트확장을 거쳐  $64 \times 64$  크기의 위터마크를  $128 \times 128$  크기로 확대하여 웨이블릿 저주파 대역에 삽입한다. 본 방법에서는 위터마크된 영상의 열화를 최소화하기 위하여 식(5)를 이용하여 위터마크를 삽입한다.  $\alpha$ 는 위터마크의 삽입강도를 결정하는 파라미터이고 시각적으로 화질변화를 인지할 수 없는 범위로 설정한다. 식(5)에 의해 얻어진 결과를 웨이블릿 역 변환하면 그림 4와 같이 위터마크가 삽입된 영상을 얻을 수 있다.

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

여기서  $I'(i,j)$ 는 위터마크된 영상,  $I_{wave}(i,j)$ 는 웨이블릿 변환 후의 영상,  $w'(i,j)$ 는 Arnold 변환을 한 다음 선형비트확장을 한 위터마크이다.

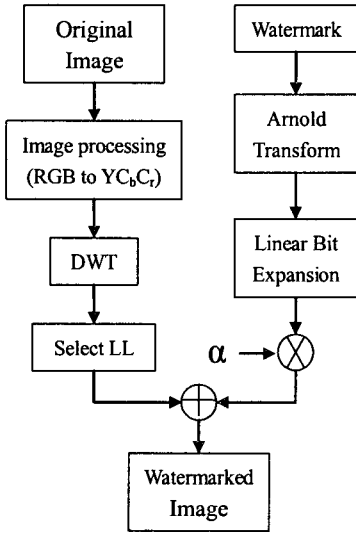


그림 4. 워터마크 삽입과정  
Fig. 4 Watermark insertion process

2.6. 워터마크의 추출과정 및 검증

워터마크의 추출은 원 영상을 필요로 한다. 먼저 워터마크가 삽입된 영상과 원 영상을 웨이블릿 변환하여 Y 영역의 LL계수를 얻은 다음 선형비트확장에 의해 재배치된 네 곳을 식(6)을 이용하여 화소값(A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, A<sub>4</sub>)을 얻는다.

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

여기서  $X_{LL}(x,y)$ 는 워터마크된 영상의 Y영역 LL 계수이고  $Y_{LL}(x,y)$ 는 원영상의 Y영역 LL계수이다. 추출된 A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, A<sub>4</sub>는 공격에 의해 변형될 수 있기 때문에 워터마크 화소의 선택은 식(7)을 이용한다. 먼저 추출된 A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, A<sub>4</sub>의 평균편차 D<sub>i</sub>를 구한다.

$$D_i = |A_i - M|, \quad i = 1, 2, 3, 4 \tag{7}$$

여기서 M은 A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, A<sub>4</sub>의 평균값을 나타낸다. 그 후 식(7)을 이용하여 표준편차 σ를 계산한다. 표준편차 σ는 식(8)과 같다.

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

만약 D<sub>i</sub>가 σ보다 작다면 최소 평균편차 값 D<sub>i</sub>를 갖는 화소 값이 최적 워터마크로 선택되고 D<sub>i</sub>가 σ보다 크면 공격에 의해 손실이 큰 것으로 판단하고 나머지 화소값으로 다시 평균 편차를 구해서 최소 평균편차 값을 갖는 화소값을 워터마크로 선택한다.

추출해낸 워터마크의 유사도 검증은 기존의 정규화된 상관계수방법이 아닌 F-노름(norm) 함수라는 개념을 도입하여 유사도를 측정한다. F-노름 함수로 유사도를 측정하는 방법은 식(9), 식(10)과 같다. A를 N×N크기의 영상이라고 가정한다. 즉

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

A의 F-노름 함수는 식(10)과 같다.

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

그중에서 A<sub>i</sub>(i = 1, 2, ... n)는 A의 부분집합이라고 하면 식(11)과 같다.

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

이때 ΔA<sub>i</sub>는 식(12)와 같다.

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

ΔA<sub>i</sub>는 행렬 A<sub>i</sub>에서 첫 번째 행과 열에 분포된 에너지 나타낸다. 이때 영상 A와 영상 B 사이의 유사도를 식(13)과 같이 정의한다.

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

영상의 행과 열의 화소값에 대한 상관성을 비교해, 원 워터마크와 추출해낸 워터마크의 유사도를 측정한다. F-노름 함수를 이용한 유사도 검증 방법은 영상의 대각선 방향의 화소값을 중심으로 그 값을 포함한 행과 열에 분포된 화소의 에너지에 대한 상관도를 비교하여 유사도를 측정하기 때문에 기존의 상관계수방법보다 측정 능력이 뛰어나다.

### III. 실험 결과

본 논문에서는 제안한 알고리즘의 성능을 확인하기 위하여 256 × 256 크기의 컬러영상들을 사용하였고 워터마크는 64 × 64 크기의 8bit 그레이 영상을 사용하여 실험을 하였다. 먼저 YCbCr 컬러 영역으로 변환을 한 원 영상에 Haar 웨이블릿 변환을 한 단계 진행한 후 선형비트확장 된 워터마크를 Y의 저주파 영역에 삽입한다. 원 영상과 워터마크된 영상, 그리고 공격을 가한 후의 영상의 유사도를 객관적으로 비교하기 위해 PSNR(Peak Signal to noise ratio)을 도입한다. PSNR은 식(14)와 같다.

$$PSNR = 20 \log \left( \frac{255}{RMSE} \right) [dB] \quad (14)$$

여기서 RMSE는 식(15)과 같다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N^2} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} [F(i, j) - \hat{F}(i, j)]^2} \quad (15)$$

$F(i, j)$ 는 원 영상,  $\hat{F}(i, j)$ 는 재구성된 영상을 나타내고, N은 영상크기를 나타낸다. PSNR은 영상을 볼 때 화질 차이 정도를 나타내는데 40dB이상이면 화질이 우수하고 그 밑으로 떨어지면 특히 30dB이하로 떨어지면 화질 열화가 눈에 띄게 나타난다.

그림 5는 제안한 알고리즘을 이용하여 256 × 256 크기의 Peppers 컬러영상에 워터마크를 삽입한 것을 나

타내고 있다. 워터마크된 영상에서 시각적 손실은 거의 없음을 알 수 있다. 또한 표 1은 다양한 영상을 가지고 실험한 결과를 나타내고 있는데 워터마크된 영상의 PSNR은 모두가 41dB 이상으로 화질 열화에 대해 우수한 충실도를 가짐을 알 수 있다.

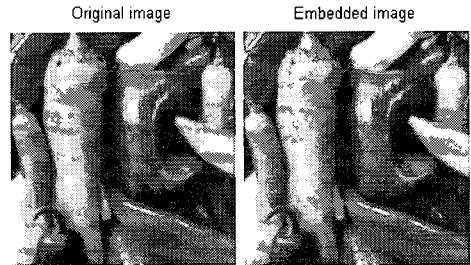


그림 5. 원영상과 워터마크된 영상  
Fig. 5 Original image and Embedded image

표 1. 워터마크된 영상의 PSNR  
Table. 1 PSNR for Watermarking Images

실험영상 및 워터마크된 영상의 PSNR(dB)				
Tiger	Baboon	Lena	Girl	Peppers
41.71dB	41.69dB	41.68dB	42.00dB	41.84dB

그림 6은 Peppers 컬러 영상에 대하여 가우시안 잡음, 미디언 필터, 블러링(Blurring) 등 영상처리 공격을 가한 영상을 나타내고 그림 7은 JPEG 손실 압축을 진행한 영상들을 나타내고 있다.

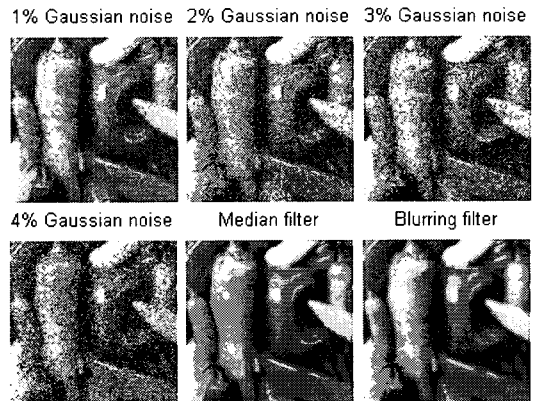


그림 6. 공격을 가한 영상  
Fig. 6 Image from Attacks

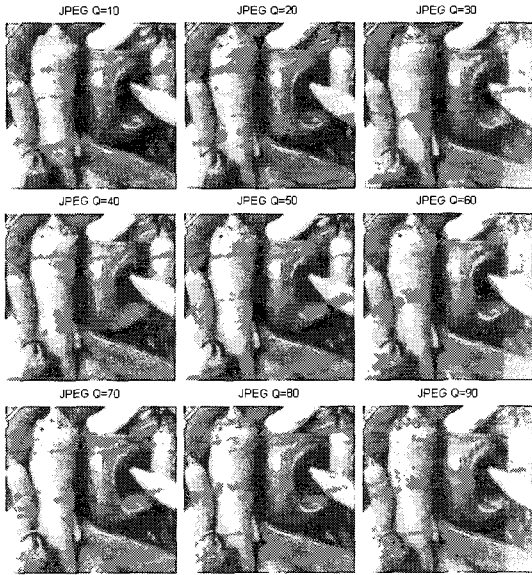


그림 7. JPEG 압축을 진행한 영상  
Fig. 7 Image from JPEG Compression

표 2는 가우시안 잡음, 블러링, 샤프닝, 미디언 필터 등 영상처리 공격을 가한 영상의 워터마킹 실험결과를 나타내고 있다. 잡음 첨가 실험에서 가우시안 노이즈는 4단계로 첨가하였고 블러링과 같은 영상처리 공격은 3×3 크기의 필터를 적용하였다. 실험결과로부터 제안한 방법은 일반적인 영상처리 공격에 대해서 강인성을 가짐을 확인할 수 있었다.

표 2. 실험 결과  
Table. 2 Experimental Results

강인성 실험		실험영상			
		Lena	Tiger	Peppers	
No attack		PSNR	41.68	41.71	41.84
Gaussian Noise	1%	SIM(%)	0.9878	0.9864	0.9885
	2%	SIM(%)	0.9341	0.9332	0.9450
	3%	SIM(%)	0.9023	0.9015	0.9133
	4%	SIM(%)	0.8674	0.8659	0.8762
Blurring	3*3	SIM(%)	0.9096	0.9124	0.9311
Median Filter	3*3	SIM(%)	0.9054	0.9067	0.9136
JPEG	Q=10	SIM(%)	0.8732	0.8518	0.8963

본 논문에서 제안방법과 기존의 Wang[8], Noh[9] 등의 방법을 비교하기 위하여 Lena 영상에 대한 JPEG 압축도에 따른 워터마크 검출 유사도를 그림 8에 나타냈다. 제안한 방법이 저압축율에서 높은 유사도를 가질 뿐만 아니라 고압축율에서도 유사도가 거의 변화가 없이 일정하여 제안한 방법이 JPEG 압축공격에 대해 강인함을 확인할 수 있다.

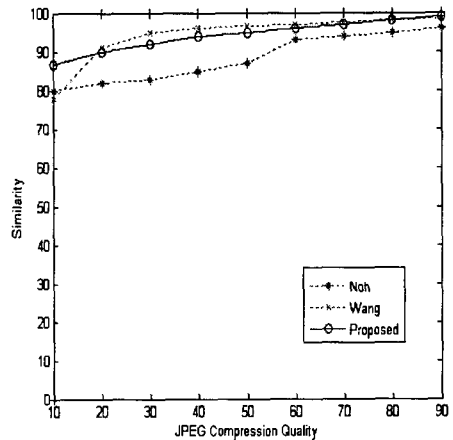


그림 8. JPEG 공격에 대한 유사도 비교  
Fig. 8 Robustness from JPEG

#### IV. 결 론

본 논문에서는 웨이블릿 변환을 기반으로 한 새로운 컬러영상 워터마킹 기법을 제안하였다. 먼저 컬러영역의 좌표계를 YCbCr 영역으로 변환한다. 그리고 워터마크에 Arnold 변환을 한 후 선형비트확장을 적용하여 워터마크를 삽입영역만큼 확대하였다. 그 후, 좌표변환을 한 컬러영상을 주파수 영역으로 변환하여 일정한 삽입 강도로 워터마크를 삽입하였다. 워터마크 추출 시에는 F-노름 함수를 사용하여 워터마크의 유사도를 측정하였다. 실험결과 워터마킹된 영상은 우수한 화질 (PSNR>41dB)을 유지하면서 외부공격에 대한 강인성도 보다 향상됨을 확인하였다. 또한 F-노름 함수를 이용하여 유사도를 보다 정확하게 측정할 수 있었다. 본 방법은 콘텐츠인증, 복사방지, 거래추적 등에 응용될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- [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. H. Lee, Y. H. Kim and T. H. Yi, "A Robust pattern Digital Watermarking Method using Wavelet Transform," Journal of Korea Multimedia Society, Vol. 7, No. 1, pp. 98-105, 2004.
- [4] Jianyong Huang and Changsheng Yang, "Image Digital Watermarking Algorithm Using Multiresolution Wavelet Transform," Proc. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Hague, The Netherlands, pp. 2977-2982, 2004.
- [5] Chun Hsien Chou, Tung Lin Wu, "Embedding Color Watermarks in Color Images," 2001 IEEE Fourth Workshop on Multimedia Signal Processing, pp. 327-332, 2001.
- [6] 원준호, 전병우, "칼라영상의 화질열화를 고려한 선택적 삽입의 강인한 워터마킹" 전자공학회 논문지, Vol.41, No. 5, Sept., 2004.
- [7] M. Arnold, "Audio Watermarking: Features, Applications and Algorithms," Proc. International Conference on Multimedia and Expo, New York, USA, Vol. 2, pp. 1013-1016, 2000.
- [8] Houn-Jyh Wang and C.-C. Jay Kuo, "Wavelet based Digital image watermarking." In Optics Express Focus Issue: Digital Watermarking. Vol. 3, December, 1998.
- [9] 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.

저자소개



박 영 일 (YongRi Piao)

2003년 8월 JILIN University 통신공학과, 공학사.

2005년 8월 부경대학교 정보통신공학과, 공학석사.

2006년 9월~현재 : 부경대학교 정보통신공학과, 박사과정.

※관심분야: 영상처리, 워터마킹, Cellular automata.



김 석 태 (SeokTae Kim)

1983년 8월 광운대학교 전자공학과, 공학사.

1988년 8월 Kyoto Institute of Technology, 전자공학과, 공학석사.

1991년 8월 : Osaka대학교 통신공학과, 공학박사.

1999년 Univ. of washington, 방문교수.

2006년 Simon Fraser Univ., 방문교수.

1991년~현재 부경대학교 정보통신공학과 재직, 교수.

※관심분야: 영상처리, 패턴인식, Cellular automata.