

선형계수확장 기반의 새로운 웨이블릿 워터마킹

박영일* · 김석태**

*부경대학교

A New Wavelet Watermarking Based on Linear Bit Expansion

Yong-Ri Piao* · Seok-Tae Kim**

*Pukyong National University

E-mail : pyr-bww@hanmail.net setakim@pknu.ac.kr

요 약

본 논문에서는 선형계수확장 기반의 웨이블릿 워터마킹 기법을 제안하였다. 워터마크의 안정성을 위하여 먼저 워터마크에 대하여 Arnold 변환을 진행한다. 다음 워터마크와 원 영상에 웨이블릿 변환을 진행한다. 워터마크의 크기를 원 영상의 1/4 정도로 선택하였기 때문에 선형계수확장을 적용하여 워터마크를 원 영상 크기만큼 확대한다. 마지막으로 본 논문에서 제안한 웨이블릿 변환된 영상의 저주파대에 일정한 강도로 워터마크를 삽입한다. 워터마크의 추출 시에 기존 방법과 달리 F 노름(norm) 함수를 적용하여 추출된 워터마크와 원 워터마크의 유사도를 비교한다.

ABSTRACT

This study proposes a new wavelet watermark technique based on the Linear Bit Expansion. To ensure the security of the watermark, it is Arnold Transformed before embedding. Then the wavelet transformation of watermark and original images is processed. Since the size of the watermark image is a quarter of the original size, it uses linear bit-expansion to enlarge the watermark image. Lastly, watermark is inserted in a given intensity to the corresponding low frequency subbands of the wavelet-transformed images proposed in this paper. When detecting the presence of watermark, the similarity between extracted watermark and the original watermark is compared applying the F norm function.

키워드

Arnold 변환, 선형계수확장, 웨이블릿 변환, F 노름(norm) 함수

I. 서 론

최근, 디지털 콘텐츠에 대한 유료화가 가속화되면서 이들에 대한 저작권 보호를 위한 연구가 활발히 진행 되어 왔다. 디지털 워터마킹은 가장 널리 사용되는 저작권 보호 기술로서, 저작권자의 고유정보를 사람의 인지 능력으로 감지하기 어렵도록 삽입한 후, 차후 저작권 분쟁이 발생할 경우 저작권 정보를 다시 추출함으로써 저작권자의 소유권을 입증할 수 있는 기술이다. 워터마킹에 요구되는 특성에는 삽입 후 콘텐츠의 투명성, 삽입된 정보가 여러 공격에도 살아남을 수 있는 강인

성 등 여러 가지가 있다.

지금까지 주파수 영역을 기반으로 한 대다수의 워터마킹 논문들은 강인성과 화질의 열화를 동시에 만족시키기 위한 방법으로 인간의 시각에 민감한 저주파 영역은 워터마크 삽입 대상에서 제외시키고 중간 주파수 영역을 대상으로 많은 연구가 이루어져 왔다[1-2]. 특히 웨이블릿 변환 영역에서 워터마크를 삽입하는 대다수 방법들은 인간의 시각적인 문제를 고려하여 웨이블릿 변환 후 저주파 대역을 제외한 나머지 영역을 대상으로 워터마크를 삽입하고 있다[3-4]. 그러나 이러한 방식은 원 신호와의 간섭현상으로 인해 신호

대 잡음비(SNR)가 매우 낮아지는 문제점을 갖고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로 최근에 양자화를 이용하여 워터마크를 삽입하는 방법들이 개발되고 있다[5-6].

본 논문에서는 심한 화질 열화를 고려하여 워터마크 삽입 대상 영역에서 제외하던 기존의 대부분 방식들과는 달리 웨이블릿 변환 영역 중 저주파대의 웨이블릿 계수를 대상으로 새로운 워터마크 방법을 제안한다. 워터마크의 추출 시에는 기존의 방법과 달리 F 함수를 적용하여 추출된 워터마크와 원 워터마크의 유사도를 비교한다.



그림 1. 원 워터마크와 Amold 변환 후 워터마크

II. 제안한 워터마크 삽입 과정

1. 워터마크의 삽입

(1) Amold 변환을 진행한다.

X 를 $M \times M$ 크기의 그레이 영상이라고 가정하면 매개 화소값은 $s(\text{bit})$ 로 표시한다.

$$X = \{x(m,n), 0 \leq m,n \leq M\} \quad (1)$$

여기서 $x(m,n) \in \{0,1,2 \dots 2^s - 1\}$ 는 영상 (m,n) 의 그레이 값이다.

W 를 $N \times N$ 크기의 워터마크라고 가정하면 매개 화소값은 $c(\text{bit})$ 로 표시한다.

$$W = \{w(i,j), 0 \leq i,j \leq N\} \quad (2)$$

여기서 $w(i,j) \in \{0,1,2 \dots 2^c - 1\}$ 는 워터마크 (i,j) 의 그레이 값이다.

일반적으로 워터마크의 크기는 삽입하려는 영상 크기보다 작아야 하며 식(3)을 만족한다.

$$M = 2^p \cdot N \quad (p \in 0,1,2,3 \dots) \quad (3)$$

본 논문에서는 $p=1$ 로, 즉 워터마크의 크기를 원 영상의 1/4로 선택한다.

워터마크의 공간적 상관성을 제거하고 워터마크의 강인성을 높이기 위하여 먼저 Amold 변환을 진행하여 공격을 받은 후에도 전부 혹은 부분적으로 워터마크를 회복할 수 있게 한다.

W 를 $N \times N$ 크기의 워터마크라고 가정하면 Amold 변환은 식(4) 같다.

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ k & k+1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \pmod{N} \quad (4)$$

여기서 $x,y \in \{0,1,2, \dots, N-1\}$. 본 논문에서는 $k=1$ 로 설정한다. 그림 1은 원 워터마크와 Amold 변환 후의 워터마크를 나타내고 있다.

(2) 웨이블릿 변환

원 영상을 수평, 수직, 대각선 방향으로 웨이블릿 변환을 진행한다.

(3) 선형계수확장

본 논문의 워터마킹 알고리즘에서는 통신상의 인터리빙 방법, 즉 비트열을 선형비트확장을 하면 확장된 비트열은 일정한 패턴의 규칙성을 가지고 반복하게 된다는 점을 응용하여 워터마크의 삽입 시에 워터마크의 크기가 원 영상보다 작은 문제를 해결 한다. 본 논문에서 적용한 인터리빙 방법은 선형비트확장 식(5)을 응용하였다.

$$w'(i,j) = (2^N - 1) \left(\frac{w(i,j) - w_{\min}}{w_{\max} - w_{\min}} \right) \quad (5)$$

여기서 $w'(i,j)$ 은 워터마크의 화소값을 선형비트 확장한 결과 값이고 w_{\max} 과 w_{\min} 은 워터마크의 화소값 중에서 최대값과 최소값이다.

만약 $N \times N$ 크기에 n bit/pixel 그레이 영상을 워터마크로 선택했을 경우에 $w_{\max} = 2^n - 1$ 이고 $w_{\min} = 0$ 이므로 식(6)과 같다.

$$\begin{aligned} w'(i,j) &= \frac{(2^N - 1)}{(2^n - 1)} w(i,j) \\ &= \frac{(2^{nK} - 1)}{(2^n - 1)} w(i,j) \\ &= \left[\sum_{k=1}^K 2^{n(k-1)} \right] \cdot w(i,j), \quad K = \text{정수} \end{aligned} \quad (6)$$

식(6)을 이용하여 8bit/pixel의 워터마크를 32bit/pixel로 비트확장하면 확장된 비트열은 네 개의 8bit열의 반복으로 구성된다. 이러한 원리를 이용하여 워터마크(128×128)를 선형 32비트확장을 하고 그림 2와 같이 배열하면 새로운 공간(256×256)이 형성된다.

(4) 워터마크의 삽입

원 영상의 웨이블릿 저주파 계수에 워터마크 정보를 삽입하게 되면 저주파 계수의 최대값과 최소값의 변화가 발생하게 된다. 웨이블릿 역변환

하면 워터마크된 영상은 화질 열화가 많이 발생한다. 때문에 워터마크된 영상의 열화를 최소화하기 위하여 워터마크의 삽입강도를 $\alpha=0.02$ 로 설정한다. 마지막으로 식(7)에 의해 얻어진 결과를 웨이블릿 역 변환하면 워터마크가 삽입된 영상을 얻을 수 있다.

$$I'(i,j) = I_{wave}(i,j) + \alpha \cdot w''(i,j) \quad (7)$$

여기서 $I'(i,j)$ 는 워터마크된 영상, $I_{wave}(i,j)$ 는 웨이블릿 변환 후의 영상, $w''(i,j)$ 는 Arnold 변환을 한 다음 선형계수확장을 한 워터마크이고 α 는 워터마크의 삽입강도이다.

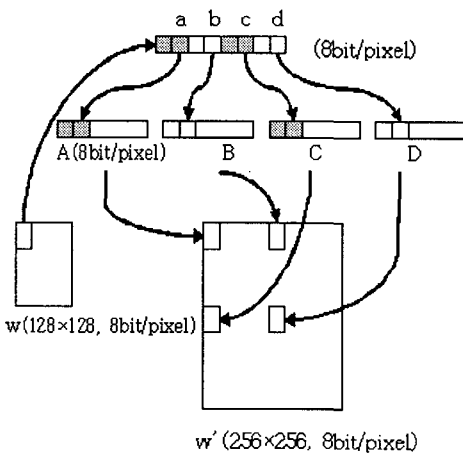


그림 2. 선형비트확장 과정

(5) 웨이블릿 역 변환

제안한 알고리즘을 이용하여 워터마크를 삽입한 영상을 웨이블릿 역 변환하면 워터마크가 삽입된 영상을 얻는다.

III. 워터마크의 추출 및 검증

삽입된 워터마크 추출은 원 영상을 필요로 한다. 추출 순서는 워터마크를 삽입하는 절차의 역으로 처리한다. 제안된 알고리즘의 역 과정을 거쳐 추출해낸 워터마크를 기존의 정규화된 상관 계수(NC)방법과 달리 F 노름(norm) 함수라는 개념을 응용하였다. 이 방법은 영상의 에너지 각도로부터 원 워터마크와 추출해낸 워터마크의 유사도를 측정한다. F 노름(norm) 함수로 유사도를 측정하는 방법은 다음과 같다.

만약 A를 $N \times N$ 크기의 영상이라고 가정하면, 즉

$$A = \begin{bmatrix} a_{0,0} & a_{0,1} & \dots & a_{0,n-1} \\ a_{1,0} & a_{1,1} & \dots & a_{1,n-1} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n-1,0} & a_{n-1,1} & \dots & a_{n-1,n-1} \end{bmatrix} \quad (8)$$

A의 F 노름(norm) 함수는 식(9)과 같다.

$$\|A\|_F = \sqrt{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} a_{i,j}^2} \quad (9)$$

그중에서 $A_i (i=1,2,\dots,n)$ 을 A의 부분집합이라고 하면, 즉

$$A_i = \begin{bmatrix} a_{0,0} & a_{0,1} & \dots & a_{0,i-1} \\ a_{1,0} & a_{1,1} & \dots & a_{1,i-1} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{i-1,0} & a_{i-1,1} & \dots & a_{i-1,i-1} \end{bmatrix} \quad (10)$$

이때 ΔA_i 는 식(11)과 같다.

$$\Delta A_i = \|A_i\|_F - \|A_{i-1}\|_F, \|A_0\|_F = 0 \quad (11)$$

ΔA_i 는 매트릭스 A_i 에서 첫 번째 행과 열에 분포된 에너지를 나타낸다. 마지막으로 영상 A와 영상 B 사이의 유사도(Sim)를 다음과 같이 정의한다.

$$Sim = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{\Delta A_i \Delta B_i}}{\|A\|_F} \quad (12)$$

IV. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 제안한 알고리즘의 성능을 조사하기 위하여 원 영상과 워터마크를 삽입한 영상, 공격을 가한 후의 영상들 사이의 객관적인 비교를 위하여 식 (13)을 사용한다.

$$PSNR = 20 \log \left(\frac{255}{RMSE} \right) [dB] \quad (13)$$

여기에서 $F(i,j)$ 및 $\hat{F}(i,j)$ 는 원 영상 및 재구성된 영상의 픽셀 값을 나타내고, N은 영상크기를 나타낸다.

그림 3은 제안한 알고리즘을 이용하여 256그레이 레벨을 가지는 256×256 크기의 Baboon 영상에 워터마크를 삽입한 것을 나타내고 있다. 그림3은 에서 워터마크된 영상과 원 영상은 웨이블릿 변환과정에서 미소한 화질열화가 발생하였지만

시각적 손실은 거의 없다. 잡음첨가 실험에서 가우시안 노이즈를 4단계로 첨가하였고 블러링과 같은 영상처리는 3×3 크기의 필터를 적용하였다. 샤프닝, 블러링과 같은 영상처리 공격에 대해서 90%이상의 높은 검출율을 보여 제안하는 방법이 일반적인 영상처리에 대해서도 강인성을 나타내고 있다.

그림 4는 JPEG 압축 품질에 대한 워터마크의 검출 유사도를 나타낸다. 그림에서 보면 제안한 방법이 JPEG 압축품질이 낮은 조건에서도 90% 이상의 높은 검출 유사도를 나타내면서 제안한 방법의 높은 강인성을 알 수 있다.

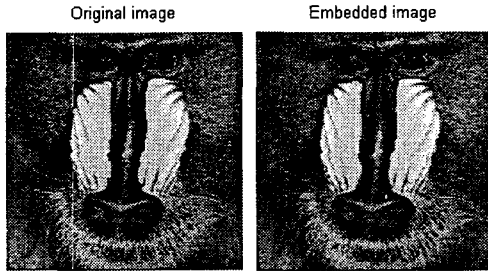


그림 3. 원 영상과 워터마크 된 영상

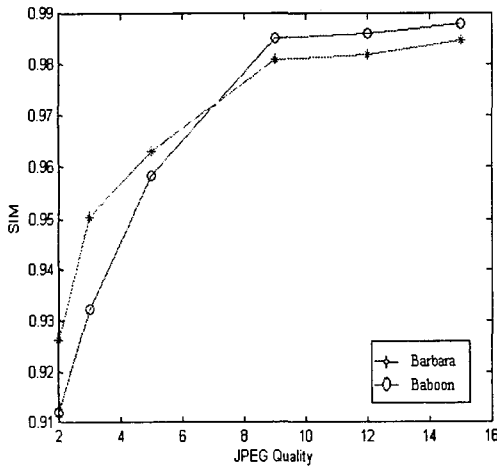


그림 4. JPEG 압축 강인성

V. 결 론

본 논문에서는 강인한 선형계수확장 기반의 새로운 웨이블릿 워터마킹 방법을 제안하였다. 워터마크의 안정성을 위하여 먼저 워터마크에 대하여 Arnold 변환을 한 다음 워터마크와 원 영상에 웨이블릿 변환을 진행한다. 워터마크의 크기를 원 영상의 1/4 정도로 선택하였기 때문에 선형계수 확장을 적용하여 워터마크를 원 영상크기만큼 확대하여 마크를 삽입한다. 워터마크의 추출 시에 기존의 정규화된 상관계수(NC) 방법과 달리 F 노름(norm) 함수를 사용하여 워터마크의 유사도를 측정하였다. 실험 결과 이 방법은 NC 방법보다 계산량이 많지만 워터마크의 추출 시에 보다 높은 유사도를 가짐을 볼 수 있다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 다양한 멀티미디어 저작권 보호에 활용될 것이라고 생각된다.

참고문헌

- [1] Jiwu Huang, Y. Q. Shi, Yi Shi, "Embedding image watermarks in dc components," IEEE Trans. on Circuits and Sys. for Video Technology, vol.10, Issue: 6, pp.974-979, Sept, 2000.
- [2] A. Nikolaidis, I. Pitas, "Region-based image watermarking," IEEE Trans. on Image Processing, vol. 10, Issue:11, pp.1726-1740, Nov. 2001
- [3] M. S. Hsieh, D. C. Tseng, Y. H. Huang, "Hiding Digital watermarks using Multiresolution Wavelet Transform," IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 48, No.5, pp.875-882, Oct. 2001.
- [4] S. Joo, et al., "A new Robust watermark embedding into Wavelet dc components," ETRI Journal, vol. 24, No. 5, pp.401-404, Oct. 2002.
- [5] M. Kutter and F. A. P. Petitcolas. "A Fair Benchmark for Image Watermarking Systems," Proc. of SPIE, vol.3657, pp.219-239, 1999.
- [6] X. M. Niu, Z. M. Lu and S. H. Sun. "Digital Watermarking of Still image with Gray-level Digital Watermarks," IEEE Trans. on Consumer Electronics, vol.46, pp.137-145, 2000.