Haar 웨이블릿 변환을 이용한 가역적 데이터 삽입 알고리즘의 성능 평가

*오인정, 김민수, 박하중, 정현열, 정호열
영남대학교 정보통신공학과
jerrypickup@image.yu.ac.kr

An Evaluation of Reversible Data Embedding Algorithm using Haar Wavelet Transform

In-Jung Oh, Min-Su Kim, Ha-Joong Park, Hyun-Yeol Chung, Ho-Youl Jung
Department of Info-Communication Engineering
Yeungnam University
jerrypickup@image.yu.ac.kr

요약

본 논문에서는 가역변환 (reversible transform)에 기반을 둔 가역 워터마킹 기법에 관해 기술한다. 워터마크를 삽입한 후 원본 데이터에 영구적으로 남아있는 기존의 워터마킹 기법과는 달리 가역 워터마킹 기법의 경우, 컨텐츠의 인증이 이루어진 후 삽입되었던 워터마크 신호를 컨텐츠로부터 제거함으로써, 원 영상을 화소단위로 무손실 복원할 수 있는 특징이 있다. 본 논문에서는 가역 변환인 Haar 웨이블릿 변환(Haar Wavelet Transform) 이용하여 원 영상을 변환한 후 웨이블릿 계수를 이용하여 워터마크를 삽입 및 추출한다. 이러한 가역워터마킹 기법은 군사 목적의 영상 혹은 의료영상과 같은 민감한 영상신호처리가 요구되는 분야로 응용될 수 있을 것이다.

I. 서론

최근 인터넷의 급속한 발전과 더불어 영상 및 음성데이터의 디지털화도 급속도로 발전하였다. 디지털 멀티미디어 데이터는 복사와 편집, 그리고 전송의 편리함으로 인해 컴퓨터와 인터넷을 기반으로 하는 현대 사회에서 더욱 각광을 받고 있다. 그러나 디지털화 된 데이터는 복사와 편집이 용이하므로 원본과 복사본, 그리고 변형본의 구분이 어려워지는 단점이 있다. 이로 인해 온·오프라인 상에서 불법 복제된 데이터가 기하급수적으로 유통되면서 원본 제작자들의 피해가 속출하였고, 데이터의 저작권에 대한 법적 조치가 불가피한 시점에 이르게 되었다. 이러한 추세로 말미암아 멀티미디어 데이터의 보호 수단으로서 암호화(Encryption)와 방화벽(Firewall) 시스템의 개발이 진행되었다. 그러나 이러한 시스템에서는 비밀키를 가진 허용된 사용자만이 데이터에 대한 접근을 가능하게 하고, 일단 접근이 이루어진 후에는 더 이상 데이터를 보호받을 수 없다. 이러한 단점을 극복하기 위해 새롭게 제기된 방법이 디지털 워터마킹(Digital Watermarking)이다. 디지털 워터마킹이란 원본 데이터에 워터마크(Watermark)라고 하는 신호를 숨겨놓음으로써 불법 복제에 따른 법적 문제가 발생한 경우에 원본 제작자의 소유권을 쉽게 판별할 수 있도록 하는 정보 보호 방식이다.

대부분의 디지털 워터마킹 기법은 Robust Watermarking과 Fragile Watermarking으로 구분할 수 있다. Robust Watermarking은 삽입된 워터마크가 JPEG과 같은 압축, RST(Rotation · Scaling · Translation) 공격과 같은 기하학적 변화 등 임의의 신호처리 공격에 견고하게 설계되어야 한다. 따라서 지폐 위조 방지, 방송 모니터링, 디지털 영화의 저작권 보호 등에 응용될 수 있다. 반면에, Fragile Watermarking은 워터마크가 삽입된 원본 데이터에 임의의 변형이 가해졌을 경우 워터마크가 쉽게 손실되도록 설계된다. 따라서 디지털 저작물의 인증(Authentication)에 적합하게 응용될 수 있다.

기존 Robust 혹은 Fragile 워터마킹 기법은 워터마크가 삽입된 영상은 눈으로 지각할 수는 없지만, 손상이 있다. 다시 말해, 한번 삽입한 워터마크 신호를 삭제하여 다시 원 영상을 얻기가 불가능하다. 그러나 의료영상이나 군사적 용도의 응용분야 등에서는 원영상의 손상이 허용되지 않으며, 다양한 공격에 대한 컨텐츠의 보호보다는 보다 많은 정보를 숨기고 이를 완벽히 복원하는 기술이 요구

된다.

본 논문에서는 하아 웨이블릿 변환(Haar Wavelet Transform)에 기반을 두어 변환 계수의 특정한 비트 평면(bit plane)에 워터마크를 적응적으로 삽입하고, 삽입된 워터마크가 손상되지 않은 경우에, 원본 영상을 화소 단위로 복원할 수 있는 가역 워터마킹(Reversible Watermarking) 기법을 소개한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서 가역 데이터 변환인 하아 변환을 설명하고, 제 3장에서 삽입 및 검출 알고리즘을 소개한다. 제 4장에서 실제 영상 데이터에 대해 소개된 알고리즘의 성능을 평가한 후, 제 5장에서 결론을 맺는다.

II. 하아 웨이블릿 변환

영상 신호의 이웃하는 화소 값 x,y 에 대하여 $x,y \in Z$, $0 \le x,y \le 255$일 때, 두 화소 간의 평균 l과 차 h를 식 (1)과 같이 정의한다.

$$l=\left\lfloor \frac{x+y}{2} \right\rfloor, \quad h=x-y \qquad \text{.....(1)}$$

이를 통해 얻어진 변환 계수는 식 (2)의 역변환 과정을 통해 원본 영상 신호로 복원된다[3].

$$x=l+\left\lfloor \frac{h}{2} \right\rfloor, \quad y=l-\left\lfloor \frac{h}{2} \right\rfloor \qquad \text{.....(2)}$$

식 (1), (2)와 같은 형태의 가역 변환을 Haar 웨이블릿 변환(Haar Wavelet Transform) 또는 S 변환이라 하며, 이 때 (x,y)와 (l,h) 사이에는 일대일 대응 관계가 성립한다.

III. 가역 데이터 삽입 알고리즘

3.1 부호화

영상 데이터에 대한 하아 웨이블릿 변환 계수의 특정한 비트 평면에 워터마크를 삽입한다. h의 범위는 8bits 흑백 영상의 경우, 오버플로(overflow)와 언더플로(underflow)를 방지하기 위해 식 (3)을 만족해야 한다.

$$|h| \le 2(255-l), \text{and } |h| \le 2l+1 \qquad \text{.....(3)}$$

삽입할 이진 워터마크를 b_i, b_i로 인해 변형된 차를 h', 워터마크가 삽입된 동일한 위치의 두 화소 값을 각각 x',y' 라 할 때 부호화 과정은 다음과 같다.

Step 1 : 하아 웨이블릿 변환을 이용하여 두 개의 화소 값에 대한 평균과 차를 구한다.

Step 2 : step 1에서 구한 차이 값 h에 워터마크로 bit b_i를 삽입하고, 새로운 차이 값 h'를 주어진 조건들을 이용하여 구한다.

① h'가 b_i의 값에 관계없이 평균값 l에 대하여 다음의 조건을 만족한다면 h는 확장가능(expandable)하다고 한다.

$$|2\times h+b_i| \le min(2(255-l),2l+1)$$

이 경우 h'는 다음과 같다.

$$h'=2\times h+b_i$$

② h가 b_i에 관계없이 l에 대하여 다음의 조건을 만족한다면 h는 변환가능(changeable)하다고 한다.

$$|2\times h+b_i| > min(2(255-l),2l+1)$$

이 경우 h'는 다음과 같다.

$$h'=2\times\left\lfloor \frac{h}{2} \right\rfloor+b_i$$

③ 화소 x의 값이 0 또는 255이고, y의 값이 홀수이면, h는 변환 불가능(non-changeable)하다고 하며, 이 경우에는 기존의 h를 그대로 사용한다.

$$h'=h$$

*Step 3 : step 2*에서 구한 h'와 기존의 l을 조합하여 x',y'를 구한다.

$$x'=l+\left\lfloor \frac{h'+1}{2} \right\rfloor, \quad y'=l-\left\lfloor \frac{h'}{2} \right\rfloor$$

3.2 복호화

삽입된 워터마크를 검출을 위해 워터마크가 삽입된 영상의 화소 값들에 대해 하아 웨이블릿 변환을 수행하고, 부호화 과정에서와 마찬가지로 오버플로와 언더플로를 방지하기 위해 식 (3)을 참조하여 h'를 변경함으로써 원래의 차이 값을 찾아내고, 이를 토대로 원본 영상과 동일한 영상을 복원한다. 복호화 과정은 다음과 같다.

Step 1 : 하아 웨이블릿 변환을 이용하여 근사원본에 대한 두 개의 화소 값에 대한 평균과 차를 구한다.

$$l'=\left\lfloor \frac{x'+y'}{2} \right\rfloor, \quad h'=x'-y'$$

*Step 2 : Step 1*에서 구한 h'에서 b_i를 검출하기 위해 원래의 차이 값 h를 주어진 조건에 따라 구한다.

① h'의 범위에 따라 h의 값은 다음과 같다.

(i) $0 \le h' \le 1$인 경우, $h=1$

(ii) $-2 \le h' \le -1$인 경우, $h = -2$

(iii) (i), (ii)를 제외한 경우, $h = \left\lfloor \frac{h'}{2} \right\rfloor + b_i$

② 화소 x'의 값이 0 또는 255이고, y'의 값이 홀수이면, h'는 변환 불가능하므로, h를 그대로 사용한다.

$$h = h'$$

③ *Step 2*에서 구한 h와 기존의 l값을 조합하여 원본 영상의 화소 값을 복원한다.

$$x = l + \left\lfloor \frac{h+1}{2} \right\rfloor, \quad y = l - \left\lfloor \frac{H+1}{2} \right\rfloor$$

Ⅳ. 실험 결과

본 논문에서는 실험영상으로 512*512 크기의 8 bits 영상인 Lena와 Baboon을 사용하고, 워터마크로 0과 1로 구성된 유사이진수열(Pseudo Random Noise Sequence)을 사용하였다.

그림 1, 2는 각각 512*512 크기의 Lena, Baboon 영상에 워터마크를 삽입한 것이다. 웨이블릿 변환 계수의 특정한 비트 평면(bit plane)에 워터마크로 PN sequence를 비트 평면을 달리하여 1번째 비트 평면에서 7번째 비트 평면까지 1 화소씩 삽입한다. 이 때, 8번째 bit는 MSB(Most significant bit)로 화질에 직접적으로 영향을 미치므로 워터마크를 삽입하지 않는다. 4번째 비트 평면 이상에 워터마크를 삽입하게 되면 원본 영상의 열화가 심해져 백색 잡음(white noise)이 첨가된 것과 유사한 결과를 볼 수 있다. 따라서 원본 영상에 손상을 주지 않고 워터마크를 검출할 수 있는 최대의 비트 평면 수는 3임을 알 수 있다.

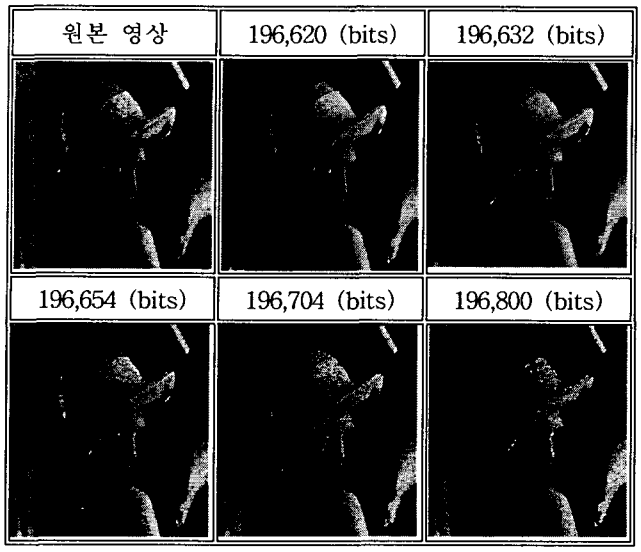

그림 1. PN sequence 삽입 후 검출된 Lena 영상

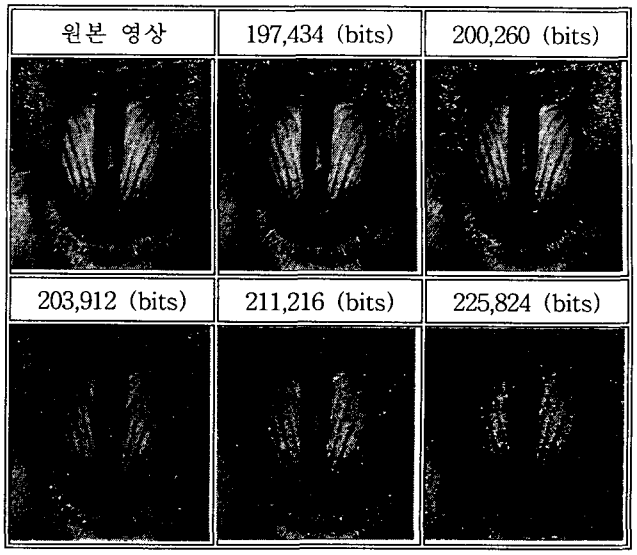

그림 2. PN sequence 삽입 후 검출된 Baboon 영상

표 1, 2는 각각 Lena, Baboon 영상에 PN sequence를 삽입하는 정도에 따른 화질 변화를 측정한 것이다. PSNR(Peak to Signal Noise Ratio)의 값에 따라 3번째 비트 평면까지는 대체적으로 원본 영상과 차이를 보이지 않음을 알 수 있다.

표 1. 워터마크 삽입 정도에 따른 화질 평가 (Lena)

삽입 bit 수	196,620	196,632	196,654
PSNR	51.75	36.12	24.88
삽입 bit 수	196,704	196,800	
PSNR	18.10	13.80	

표 2. 워터마크 삽입 정도에 따른 화질 평가 (Baboon)

삽입 bit 수	197,434	200,260	203,912
PSNR	51.29	23.55	15.21
삽입 bit 수	211,216	225,824	
PSNR	11.89	10.54	

Ⅴ. 결론

본 논문에서는 Haar 웨이블릿 변환을 이용한 워터마크 삽입 및 검출 알고리즘을 소개하고, 외부 공격을 고려하지 않고 웨이블릿 변환 계수에 따라 유사이진수열을 비트 평면과 삽입 bit 수를 달리하여 실험하였다. 그 결과,

3번째 비트 평면까지는 원본 영상과 Haar 웨이블릿 변환을 수행하여 얻은 복원된 영상의 화소 값이 대체적으로 근소한 차이를 보여 원본 영상에 대한 왜곡이 대체적으로 적음을 알 수 있었다. 그러나 4번째 비트 평면 이상에 워터마크를 삽입하게 되면 육안으로도 알 수 있을 만큼의 화질 열화를 보여, 원본 영상에 손상을 주지 않고 워터마크를 검출할 수 있는 최대의 비트 평면 수는 3임을 알 수 있었다.

Ⅵ. 참고 문헌

[1] J. Tian, "High Capacity Reversible Data Embedding and Content Authentication", Acoustics, Speech, and Signal Processing 2003, 2003 IEEE International Conference on , Volume: 3, pp.517-520, 2003

[2] J. Tian, "Reversible watermarking by difference expansion", in Proc. of Workshop on Multimedia and Security, pp.19-22, Dec.2002

[3] A. Said and W.A.Pearlman, "An image multi-resolution representation for lossless and lossy compression", IEEE Transactions on Image Processing, vol.5, no.9, pp.1303-1310, Sept.1996