

HVS기법을 이용한 의료영상에서의 강인한 워터마킹

고진수*, 황림우*, 김상호*, 김영섭**, 이상범**
단국대학교 전자컴퓨터 공학부
e-mail: lifetoday@hanmail.net

Rubust Wavelet Watermarking in Medical Image using Human Visual System

Jin-Su Ko*, Rim-Woo Hwang*, Sang-Ho Kim*,
Young-Seop Kim**, Sang-Burm Rhee**
*Dept. of Computer Engineering, DanKook University

요 약

의료기기의 디지털화로 인해 의료영상분야도 디지털화되고 있다. 본 논문에서는 의료영상에서 발생하는 기하학적 변형에서도 개인정보를 인증할 수 있는 디지털 워터마킹을 제안한다.

제안한 방법은 디지털 영상을 주파수 공간으로 변환시킨 후 효과적인 워터마크 삽입을 위해 인간의 감지능력이 떨어지는 주파수 영역과 중요한 주파수 영역을 선택하였다. 그 다음 영상 전체에 반복적이며, 그 내용에 따라 적응적인 워터마크를 삽입하는 방법을 제시하였다.

1. 서론

현대 의학은 컴퓨터와 영상 기술의 출현으로 커다란 변화를 맞이하고 있다. 컴퓨터의 성능, 인터넷 통신의 발달로 인해 의료 영상에 대한 디지털 정보의 획득은 최근에 점점 인기를 더해가고 있다. 이런 경향은 의료장비의 디지털화 및 의료 진단 시스템분야에서 괄목할 만한 발전을 보여주었다. 디지털 의료영상은 필름영상에 비해 획득, 전송, 복사, 저장의 편리성과 효율성을 가지며, 그로 인해 인터넷을 기반으로 하는 Medical Image System, 환자정보의 원격지 전송, 데이터베이스를 이용한 교육 및 정보이용의 활용을 가능하게 하고 있다[1][2][3]. 하지만 이러한 디지털 데이터의 편리성과 함께 저작권 침해나 원본 데이터의 위조나 변형 등의 문제가 의료 영상시스템에서도 발생할 수 있다. 이에 의료영상의 불법적인 사용의 제한과 환자 정보의 보안 및 인증에 대한 해결책이 연구 개발되고 있으며 최근 디지털 워터마킹 기법이 활발히 연구되고 있다.

디지털 워터마킹은 각종 멀티미디어 콘텐츠의 불법 복제 및 배포, 위조 등 상업적 도용을 근절시키기

위한 목적으로, 저작권자의 고유정보를 콘텐츠에 삽입하고 차후 저작권 분쟁이 발생할 경우 삽입된 정보를 추출함으로써 저작권자의 소유권을 입증할 수 있는 방법인 디지털 콘텐츠 저작권 보호기술이다. 이 때 삽입된 저작권자의 고유정보를 워터마크(watermark)라고 한다.

이러한 워터마킹 기법은 워터마크를 삽입하는 과정에서 원본 데이터를 변형하게 되는데, 원본 데이터와 워터마킹된 데이터는 인간의 인지능력으로는 구분이 어려워야 하며, 삽입된 워터마크는 견고성이 유지되어야 한다.

2. 기존의 연구 소개

초기의 워터마킹 방법들은 워터마크의 견고성은 염두에 두지 않고 사람의 눈이나 귀에 인지될 수 없도록 워터마크를 숨기는 방법에 대해서 주로 연구 하였다. 이 방법들은 주로 공간영역에 워터마크를 삽입하였는데 삽입하는 방법은 비교적 간단하고 쉽지만 대체 적으로 견고성이 떨어지는 단점을 가지고 있다.

Brassil은 문자나 줄 간격을 조금씩 변경하거나, 문자에 획에 붙는 장식(serif)을 더하거나 없애는 방법으로 텍스트에 워터마킹하는 방법을 제안했다. 그러나 견고성이 떨어지는 단점이 있는데, 예를 들면 문자나 줄 간격을 랜덤하게 바꿈으로써 워터마크를 없애버릴 수 있다.

Turner은 디지털 오디오 신호에서 임의적으로 LSB(Least Significant Bit)를 선택하여 확인 코드(identification code)를 삽입하는 방법을 제안했으며 하위 비트 조작 기법(Low bit coding)이라고 부른다. 이 방법은 삽입 및 검출 과정이 간단하지만 압축이나 필터링에 매우 약하다는 단점이 있다. 예를 들어 모든 단어의 LSB를 지워버리거나 랜덤하게 바꾼다든지, 혹은 노이즈의 발생이나 resampling과 같은 간단한 변화와 조작에 의해서 워터마크를 없애버릴 수 있는 단점이 있다.

2.1 웨이블릿 변환

인간의 시각구조는 다중해상도 특성을 지니고 있으며 영상처리에서 이와 유사한 특성을 지니고 있는 것이 바로 이산 웨이블릿 변환이다.

웨이블릿 변환 방법의 기본 개념은 임의의 함수를 시간-주파수 영역에서 동시에 국부성(locality)을 갖는 웨이블릿 기저 함수의 선형 결합으로 표현하는 것이다. 이산 웨이블릿 변환은 푸리에 변환과 같이 기저함수들의 집합에 의한 신호 분해로써 이해될 수 있다. 이 때 웨이블릿 변환에서 하나의 기저함수를 웨이블릿이라 부르며 웨이블릿은 하나의 대역통과필터이다. 푸리에 변환의 기저함수들과는 다르게 웨이블릿은 유한의 길이를 가지는 기저함수(basis function)이므로 웨이블릿 변환은 모 함수(Mother Wavelet)라 불리는 원형의 웨이블릿의 수축과 팽창에 의해 얻어지는 웨이블릿들의 집합에 의해 구성된다. 그리고 웨이블릿 변환에서는 주파수라는 용어 대신 스케일(scale)이라는 용어를 사용하며, 하나의 웨이블릿을 통과한 신호를 스케일의 상세 신호(detail signal)라 한다[4].

웨이블릿의 기저 함수는 다음 식(2.1)과 같고, 식(2.2)은 직교 웨이블릿 변환 함수로 분석 필터 बैं크와 합성 필터 बैं크(synthesizing filter bank)가 똑같은 웨이블릿 함수로부터 유도된다.

$$\Psi_{(s,t)}(x) = 2^{-s/2} \Psi(2^{-s}x - t) \quad (2.1)$$

여기서 s 는 웨이블릿 기저(wavelet basis)의 크기이고, t 는 웨이블릿 기저(wavelet basis)의 위치이다.

$$WT = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \Psi_{(s,t)}(x) dx \quad (2.2)$$

3. 제안하는 알고리즘

본 논문에서는 워터마킹을 하기 위하여 웨이블릿 변환을 사용하였으며, 삽입된 워터마크가 시각적으로 보이지 않으면서 강인한 워터마크를 삽입하기 위해서는 워터마크 삽입 시 사용되는 워터마크의 강도가 인간 시각에 미치는 영향을 고려해야 하기 때문에 HVS(Human Visual System)를 적용하여 제안하였다. 본 논문에서는 Lewis와 Knowles[5]가 제안한 인간의 시각은 고주파대역과 대각선 방향의 노이즈에 덜 민감하고, 고주파가 집중되어 있는 텍스처 영역에서의 노이즈에 덜 민감하다는 HVS(Human Visual System)를 적용하여 워터마크를 삽입하였다.

먼저 워터마크를 삽입할 영상을 3단계 웨이블릿 변환을 한 후 Cox[6]의 방법을 사용하여 다음과 같은 식을 제안하였다.

$$I_0^\theta(l, i, j) = I_0^\theta(l, i, j) + aT^\theta(l, i, j)x^\theta(i, j) \quad (3.1)$$

I_0^θ 는 워터마크가 삽입된 영상이고, I_0^θ 는 원영상, $T^\theta(l, i, j)$ 는 HVS에 의한 가중치이며, $x^\theta(i, j)$ 는 워터마크이다. l 은 레벨이며, θ 은 주파수 영역이다. 식 $T^\theta(l, i, j)$ 는 다음과 같은 식으로 구성된다.

$$T^\theta(l, i, j) = \Theta(l, \theta)L(l, i, j) \quad (3.2)$$

I_3^3	I_2^0	I_1^0	I_0^0
I_2^2	I_2^1		
I_1^2		I_1^1	I_0^1
I_0^2			

그림 1. 3 Level 웨이블릿 변환 영역

$\Theta(l, \theta)$ 는 레벨과 영역에 따라 다음과 같은 조건으로 계산된다.

$$\Theta(l, \theta) = \begin{pmatrix} \sqrt{2}, & \text{if } \theta = 1 \\ 1, & \text{otherwise} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1.00 & \text{if } l = 0 \\ 0.32 & \text{if } l = 1 \\ 0.16 & \text{if } l = 2 \end{pmatrix} \quad (3.3)$$

$L(i, j)$ 는 luminance masking으로 정의할 수 있으며 다음과 같이 계산된다.

$$L(l, i, j) = 1 - \left(\frac{X_{(l, i, j)} - L_m}{L_{max}} \right)^2 \quad (3.4)$$

$$X_{(l, i, j)} = I_3^3 \left(1 + \left\lfloor \frac{i}{2^{3-l}} \right\rfloor, 1 + \left\lfloor \frac{j}{2^{3-l}} \right\rfloor \right) \quad (3.5)$$

$X_{(l, i, j)}$ 는 위터마킹 삽입 위치에서의 I_3^3 영역을 나타내며, L_m , L_{max} 는 luminance의 평균값과는 최대값을 나타낸다.

위터마크 추출은 다음식과 같이 수행한다.

$$x^\theta(i, j) = \frac{I_0^\theta(i, j) - I_0^\theta(i, j)}{aT^\theta(l, i, j)} \quad (3.6)$$

일반적인 웨이블릿 영역에서의 위터마킹 방법은 인간의 시각구조와 영상에 따른 계수값 설정의 조건이 없었기 때문에 영상에 적응적으로 삽입할 수 없었다. 그러나, 본 논문에서 제안한 HVS를 이용한 위터마킹 알고리즘을 적용하면 위터마크 삽입 위치에 따라서 위터마크를 인간 시각구조에 따라 적응적으로 비가시성을 유지하면서 강인하게 삽입이 가능하다.

4. 실험결과

본 논문에서 제안한, 위터마크의 삽입 및 추출 알고리즘을 평가하기 위하여 비가시성 평가와 일반적인 영상처리인, 고주파 필터링, 저주파 필터링, 히스토그램 평활화 등을 수행하였다. 원영상은 256×256 크기의 MT영상으로 하였으며, 위터마크는 32×32 크기의 영상으로 실험하였다.

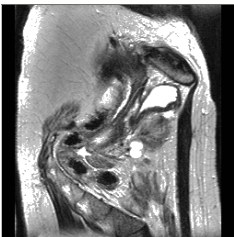


그림 2. MT 영상

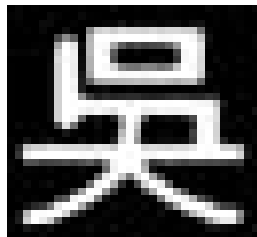


그림 3. 위터마크

4.1 비가시성 평가

비가시성은 위터마킹 성능 평가 기준의 하나로 위터마크를 삽입한 원영상이 시각적으로 알 수 없어야 하고, 영상의 왜곡이나 변형이 없어야 한다는 것이다. 이러한 비가시성을 분석하기 수치적으로 분석하기 위해서 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)을 사용하였다. PSNR은 영상처리학회에서 설정한 화질측정 단위로써, 30dB에서 화질이 1dB씩 증가할 때마다 화질 상태의 개선효과를 육안으로 확인할 수 있다. 즉, 높은 값일수록 좋은 화질을 나타낸다. 식은 다음과 같다.

$$MSE = \frac{\sum [f(i, j) - F(i, j)]^2}{N^2} \quad (4.1)$$

$$PSNR = 20 \log_{10} \left(\frac{255}{MSE} \right) \quad (4.2)$$

원 영상의 크기는 $N \times N$ 이고 $f(i, j)$ 는 원 영상의 화소를 $F(i, j)$ 는 위터마킹 된 영상의 화소를 표시한다.

표 1 PSNR 값 비교

	MT
Cox[6]	40.64
제안한알고리즘	43.82

실험 결과, PSNR 값이 Cox의 방법보다 높은 값이 산출되었다. 제안하는 알고리즘이 인간 시각구조에 따라 적응적으로 계수값을 결정하기 때문에 높은 화질의 영상을 도출하였다.

4.2 강인성 평가

추출된 위터마크가 기하학적 변환, 잡음, 영상처리 등에 어느 정도 강인한지 평가하기 위하여 강인성을 실험하였다. 강인성 평가는 원 위터마크와 추출된 위터마크와의 유사성 측정을 하기 위하여 정규화된 상관계수(normalized correlation)를 사용하여 나타내었다.

W' 는 원영상에서 추출한 위터마크를 W 는 원래 삽입된 위터마크이다. 식은 다음과 같다.

$$correlation = \frac{\sum (W_i * W'_i)}{\sum (W_i * W_i)} \quad (4.3)$$

본 논문에서는 위터마크가 삽입된 영상에 대하여 각각 일반적인 영상처리인 저주파 통과 필터, 고주

과 통과 필터, 히스토그램 평활화, 밝게처리, 어둡게 처리를 사용하였다.

표 2. MT 영상의 강인성 실험 결과값

	고주파 통과 필터	저주파 통과 필터	밝게 처리	어둡게 처리	히스토그 램 평활화
Cox	82.01	80.41	67.99	66.72	75.99
제안한 방법	82.13	80.97	68.52	68.41	76.03

강인성 실험 결과 일반적인 영상처리와 필터링에 대해서 모두 유사도가 68% 이상으로 강인하게 워터마크가 추출이 되었으며, Cox의 방법보다 강인성이 향상되었다.

5. 결론

본 논문에서는 디지털 영상의 정보보호를 위해 새로운 디지털 워터마킹 방법을 제안하였다. 디지털 영상에 시각적으로 보이지 않는 워터마크를 삽입하고, 일반적인 영상 처리에도 워터마크가 추출되는 강인함을 실험을 통하여 증명하고, 소유권을 판정함으로써 저작권 보호와 인증에 대한 해결책을 제시하였다.

특히, 본 논문에서는 인간의 시각구조가 다중해상도 특성을 지니고 있으며 영상처리에서 이와 유사한 특성을 지니고 있는 웨이블릿 변환을 이용하여 주파수 영역에서 적응적이고 인간 시각특성에 부합한 워터마킹 알고리즘을 제안하였다.

제안한 방법은 먼저 영상을 3단계 웨이블릿 변환을 한 후, Cox의 식에 HVS와 Luminance masking 기법을 적용하여 워터마크를 삽입하였다. 실험결과 HVS(Human Visual System)을 적용함으로써 비가시성을 유지하면서 강인한 워터마킹이 가능하였고, Cox의 방법보다 좋은 PSNR 값을 얻을 수 있었다. 또한 원영상에 대한 일반적인 영상처리나 필터링에도 대부분 유사도가 60% 이상으로써 강인하게 워터마크가 추출이 되었으며, Cox의 방법보다 강인성이 향상되었다.

향후에는 이러한 정지영상에서의 워터마킹 방법을 동영상에 적용하여 동영상 관련 콘텐츠의 저작권 보호를 위한 워터마킹 개발이 이루어져야 한다. 특히 잡음에 강인하고 화질에 적응적으로 워터마킹 삽입이 이루어지는 동영상 기반 워터마킹 알고리즘 개발이 이루어짐으로써, 동영상 콘텐츠의 저작권 보호와 불법적인 유통을 막을 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Weidong Cai, Dagan Feng, R.Fulton, "Web-based digital medical images", IEEE Computer Graphics and Applications, Vol21, No.01, pp 44-77, 2001
- [2] 김현구, "www 기반의 원격 PACS의 기초연구", 창원대학교 졸업논문, 2002. 6
- [3] Ingemar J.Cox, Joe Kilian, Tom Leighton, Talal Shamoon, "A Secure, Robust Watermark for Multimedia", IEEE International conference on Image Processing(ICIP 96), 1996
- [4] X. G. Xia, C. G. Boncelet, G R. Arce, "A Multiresolution Watermark for Digital Images, "IEEE Int. Conf. on Images Processing, Vol.1, pp.548-551, 1997.
- [5] AS. Lewis and G. Knowles, "Image compression using the 2-D wavlet transform" IEEE Trans, Image Processing 1, pp. 244-250, April 1997.
- [6] I.J.Cox J.Kilian, T.Leight and T.Shammon, "Secure Spread Spectrum Watermark for Multimedia, " IEEE Trans, on Image Processing, vol. 6, no.12, pp.1673-1687, December 1997.