

Mallat 웨이블릿 변환을 이용한 의료 영상 워터마킹

고창림* · 조진호**

*경일대학교 전자정보공학과, **경북대학교 전자전기컴퓨터학부

(2001년 12월 5일 접수, 2002년 3월 13일 채택)

Medical Image Watermarking Using Mallat Wavelet Transform

Chang-Rim Koh* and Jin-Ho Cho**

*Department of Electronic and Information Engineering, Kyungil University

**School of Electronic and Electrical Engineering, Kyungpook National University

(Received December 5, 2001. Accepted March 13, 2002)

요약: 본 논문에서는 의료 영상에 대한 새로운 비견고 워터마킹 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘은 의료 영상의 보안 및 위조 문제를 해결 할 수 있다. 제안한 알고리즘에서는 영상의 고유한 특성을 나타내는 특이점 (singularity)을 추출하여 이를 워터마크로 사용한다. 이때 특이점 추출에는 영상의 에지 성분을 정확하게 추출하는 장점을 갖는 Mallat 웨이블릿 변환을 이용한다. 즉 Mallat 웨이블릿 변환을 통해 생성된 첫 번째 스케일의 수평 및 수직 상세 부대역 (detail subband)을 이용하여 상세 신호에 대한 크기 성분 및 위상 성분을 계산한 후, 이러한 정보들을 이용하여 입력 영상의 국부 계수 최대치 (local modulus maxima, LMM)를 추출한다. LMM은 영상의 고유한 특성을 갖는 특이점을 나타내므로, 어떠한 조작이 가해진 영상의 LMM은 원 영상의 LMM과의 차이를 나타낸다. 따라서 임의의 영상에 대하여 LMM을 구한 후, 원 영상의 LMM과 비교함으로써 위조 여부를 판단할 수 있다. 제안한 알고리즘의 성능 평가를 위한 모의 실험을 통하여 제안한 워터마킹 알고리즘은 의료 영상의 위조된 부분을 정확하게 추출하는 것을 확인하였다.

Abstract: In this paper, a new fragile watermarking algorithm for medical images is proposed. It makes possible to resolve the security and forgery problem of the medical images. In the proposed algorithm, the singularity which represents the inherent characteristic of the medical image is extracted and used as watermark. To extract the singularity point, we adopted Mallat wavelet transform because it can describe the edge of image exactly. Mallat wavelet transform produces horizontal and vertical subbands of the same resolution with the original image. The magnitude and phase components of the edge are obtained using these subbands. Based on the magnitude and phase components, LMM which will be used as watermark is determined. As LMM is the inherent singularity of image, if any forgery is applied to medical image, LMM of original and forged image are different each other. Detecting the changes of LMM for the two images makes it possible whether any image is undergone forgery or not. From the experimental results, we confirmed that the proposed algorithm detects the forged area of the image very well.

Key words: Fragile watermarking (비견고 워터마킹), Mallat wavelet (Mallat 웨이블릿), Singularity (특이점)

서 론

최근 PACS (picture archiving and communication system) 등과 같은 데이터 저장 및 통신 기술들의 발달로 인하여 병원 들간 원격 진료 및 정보 교환이 실시간 수행이 가능해 졌고, 디지털 의료 영상 (medical image)에 대한 복사, 편집, 및 전

송이 기존의 아날로그 영상에 비하여 매우 용이하게 되었다. 이러한 디지털 의료 영상의 응용과 관련된 장점들로 인하여 부당 진료비 청구 및 병역 면제를 위한 의료 영상에 대한 위조 등의 보안 (security) 문제가 심각히 대두되고 있다. 최근에는 이러한 보안 문제의 해결을 위한 한 방법으로서 원 영상에 대한 충실도 (integrity)를 판단하여 원 영상의 위조 여부를 결정하는 디지털 워터마킹 (digital watermarking) 알고리즘과 관련된 연구가 활발하다.

일반적으로 워터마킹 알고리즘은 사용 목적에 따라 견고 (robust) 워터마킹과 비견고 (fragile) 워터마킹으로 분류된다.

통신저자: 고창림, (712-701) 경상북도 경산시 하양읍 부호리 33번지
경일대학교 전자정보공학과

Tel. (053)850-7161, Fax. (053)850-7603

E-mail. crkoh@bear.kyungil.ac.kr

견고 워터마킹에서는 워터마크의 제거 혹은 파괴 목적의 공격으로부터 저작권 (copyright)을 나타내는 워터마크 정보가 쉽게 변형되지 않아야 하고, 비견고 워터마킹에서는 어떠한 공격에도 쉽게 변형되는 워터마크를 이용하여 원 영상에 대한 위조 (forgery) 유무의 판단이 용이해야 한다. 따라서 의료 영상에서는 비견고 워터마킹 알고리즘이 널리 사용되고 있다.

의료 영상에 대한 기존의 워터마킹 알고리즘들[1]-[4]은 소유권을 나타내는 워터마크를 영상에 삽입한 후, 공격에 대하여 삽입된 워터마크의 유실 정도를 기준으로 하여 위조 여부를 판단한다. 따라서 기존의 방법들에서는 노이즈 성분인 워터마크를 원 영상에 삽입함으로써 화질의 열화가 발생할 수 있어 오진의 가능성이 있다. 또한 기존의 알고리즘들은 워터마크 추출 과정에서 원 영상이 필요하다는 단점을 갖는다. 따라서 원 영상의 화질을 손상시키지 않고, 워터마크 추출 과정에서 원 영상이 필요 없는 새로운 알고리즘에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 Mallat 웨이블릿 변환[5]을 이용한 비견고 워터마킹 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘에서는 기존의 알고리즘과는 달리 워터마크를 삽입하지 않고, 각 영상의 고유한 특성을 나타내는 이진 특이점 (binary singularity)을 추출하여 이를 워터마크 정보로 사용한다. 이렇게 함으로써 제안한 알고리즘은 기존의 방법들과는 달리 화질의 열화 없이 보안 및 위조 문제를 해결할 수 있다. 또한 특정 영상에 대한 위조 여부를 판정하는 과정에서는 대상 영상에 대한 특이점을 구한 후, 이를 원 영상의 특이점과 비교하여 위조 여부를 판단한다. 이때 원 영상에 대한 특이점은 워터마크로 사용되므로 부가 정보는 일체 필요하지 않다. 즉 대상 영상의 위조 여부 판정에, 기존의 방법에서는 워터마크가 필요하고 제안한 방법에서는 원 영상의 이진 특이점이 필요하다. 따라서 제안한 알고리즘에서는 위조 여부의 판단 과정에 원 영상이 필요하지 않는 장점이

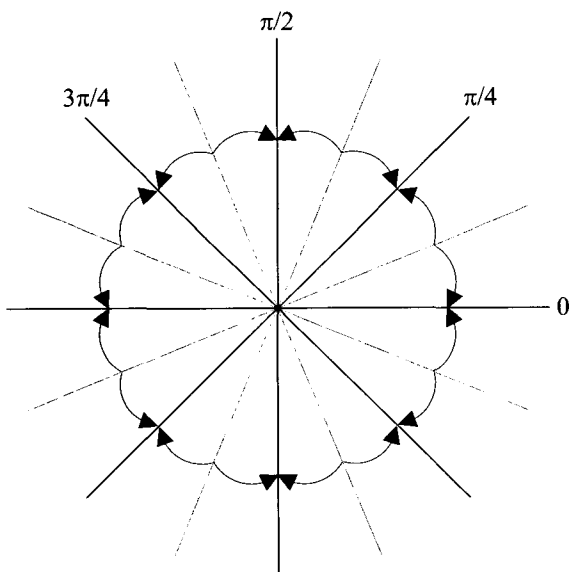


그림 1. 위상 성분에 대한 양자화
Fig. 1. Quantization of phase component

있다.

일반적인 웨이블릿 변환과는 달리 Mallat 웨이블릿 변환에서는 웨이블릿 분해 시 표본에 대하여 간축 (decimation)을 행하지 않으므로 원 영상과 동일한 해상도를 갖는 부대역들을 얻는다. 따라서 이러한 Mallat 웨이블릿 변환은 특이점의 위치를 정확하게 찾을 수 있는 장점을 갖는다. 제안한 알고리즘에서는 시험 영상에 Mallat 웨이블릿 변환을 이용하여 특이점을 추출한 후, 이 특이점과 원 영상에 대한 특이점을 비교하여 위조 여부를 판단한다.

본 논문에서 제안한 워터마킹 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 의료 영상에 대하여 모의 실험을 행하였다. 일반적인 비견고 워터마킹 알고리즘의 평가 척도는 비가시성과 다양한 공격에 대한 비견고성이다. 실험 결과로부터 제안한 알고리즘이 우수한 성능을 나타냄을 확인할 수 있었다.

제안한 비견고 워터마킹 알고리즘

1. Mallat 웨이블릿 변환

1992년 Mallat 등[5]은 가우시안 형태를 갖는 신호에 대한 1차 도함수를 모 웨이블릿 (mother wavelet)으로 사용하여 공간상에서 영상의 에지 및 특이점의 특성을 해석하였다. Mallat 웨이블릿 변환에 의하여 분해된 신호는

$$\{ S_{2^j} f(x, y), W_{2^j}^H f(x, y), W_{2^j}^V f(x, y) \} \quad (1)$$

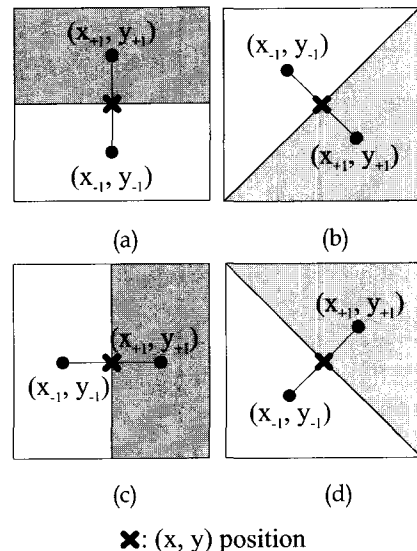


그림 2. (a) 0, (b) $\frac{\pi}{2}$, (c) $\frac{\pi}{4}$, 및 (d) $\frac{3\pi}{4}$ 의 위상에 따라 LMM 결정에 참여하는 화소위치
Fig. 2. Pixel position in Determining LMM of (a) 0, (b) $\frac{\pi}{2}$, (c) $\frac{\pi}{4}$, and (d) $\frac{3\pi}{4}$ phase.

와 같이 세 개의 부대역으로 구성된다. 여기서 $S_{2^j} f(x, y)$,

$W_{2^j}^H f(x, y)$, 및 $W_{2^j}^V f(x, y)$ 는 입력 신호 $f(x, y)$ 에 대하여 j 번째 스케일까지 분해된 평활화된 신호, 수평 및 수직 성분에 대한 상세 신호 (detail signal)를 각각 나타낸다. 이 신호들을 자세히 나타내면

$$S_{2^j} f(x, y) = f * \phi_{2^j}(x, y) \tag{2}$$

$$W_{2^j}^H f(x, y) = f * \psi_{2^j}^H(x, y) \tag{3}$$

$$W_{2^j}^V f(x, y) = f * \psi_{2^j}^V(x, y) \tag{4}$$

와 같다. 즉 이 신호들은 입력 신호와 스케일링 함수 (scaling function) $\phi_{2^j}(x, y)$, 수평 웨이브릿 함수 (wavelet function) $\psi_{2^j}^H(x, y)$, 수직 웨이브릿 함수 $\psi_{2^j}^V(x, y)$ 와의 상승 적분 (convolution)으로 각각 나타내진다.

수평 및 수직 웨이브릿 함수는

$$\psi^H(x, y) = \frac{\partial \Phi(x, y)}{\partial x} \tag{5}$$

$$\psi^V(x, y) = \frac{\partial \Phi(x, y)}{\partial y} \tag{6}$$

와 같으며, 평활화 함수 $\Phi(x, y)$ 에 대한 x 축 및 y 축 방향에 대한 편 미분 (partial derivative)으로 주어진다.

이러한 Mallat 웨이브릿 변환은 웨이브릿 함수에 미분 개념이 도입되어 있고 웨이브릿 변환시 신호의 간축을 행하지 않기 때문에, 입력 신호에 대한 특이점을 정확하게 찾는 데 효과적이다.

2. 특이점 추출

의료 영상에 대한 특이점을 추출하기 위하여, 위 절에서 살펴본 Mallat 웨이브릿 변환의 특징들을 이용하여 이진 국부 계수 최대 (local modulus maxima, LMM)를 구한다. Mallat 웨이브릿 변환 신호 중에서 첫 번째 스케일의 상세 신호는 원 신호에 대하여 평활화를 행하지 않은 상세 신호이므로, 높은 스케일의 상세 신호에 비하여 원 영상의 고유한 정보를 정확하게 나타낸다. 따라서 원 영상에 대한 정확한 특이점 추출을 위하여 첫 번째 스케일의 수평 및 수직 상세 신호를 이용하여 이진 LMM을 구한다.

먼저 첫 번째 스케일에 대한 수평 및 수직 상세 신호를 이용하여 상세 신호에 대한 크기 (amplitude) 성분 및 위상 (phase) 성분을 구한다. 이를 수식으로 나타내면

$$Mf(x, y) = \sqrt{|W_{2^1}^H f(x, y)|^2 + |W_{2^1}^V f(x, y)|^2} \tag{7}$$

$$\Theta f(x, y) = \tan^{-1} \frac{W_{2^1}^V f(x, y)}{W_{2^1}^H f(x, y)} \tag{8}$$

와 같다. 여기서 $Mf(x, y)$ 및 $\Theta f(x, y)$ 는 원 신호 $f(x, y)$ 에 대한 상세 신호의 크기 및 위상을 나타낸다. 그리고 $\Theta f(x, y)$ 을 실제 디지털 영상에 적용하기 위하여 위상 성분에 대하여 양자화 과정을 수행한다. 즉 모든 위상 성분에 대하여 $\frac{\pi}{4}$ 의 양자화 스텝 크기를 갖는 양자화 과정을 수행한다. 이 과정을 그림으로 나타내면 그림 1에서와 같다. 상세 신호의 크기 성분 $Mf(x, y)$ 로부터 (x, y) 좌표의 화소와 인접 화소와의 밝기 차이를 알 수 있고, 위상 성분 $\Theta f(x, y)$ 을 이용하여 밝기 차이가 발생하는 방향을 알 수 있다.

그리고 $\Theta f(x, y)$ 방향으로 (x, y) 좌표에서 가장 가까운 (x_{-1}, y_{-1}) 및 (x_{+1}, y_{+1}) 좌표에 대한 $Mf(x_{-1}, y_{-1})$ 와 $Mf(x_{+1}, y_{+1})$ 보다 $Mf(x, y)$ 가 클 경우 $Mf(x, y)$ 을 (x, y) 좌표에서의 LMM으로 정한다. 만약 $Mf(x, y)$ 이 LMM이면 (x, y) 좌표에서의 화소 밝기 변화가 이에 대한 양자화된 위상 방향으로 인접한 화소들에서의 밝기 변화보다 큰 것을 나타낸다. (x, y) 좌표에서의 LMM 결정 과정에서 위상 성분에 따라 비교되는 (x_{-1}, y_{-1}) 및 (x_{+1}, y_{+1}) 좌표의 위치는 그림 2에서와 같다. 이 그림으로부터 영상의 에지 패턴에 따라 위상 성분이 결정되고, 이에 따라 LMM 비교에 참여하는 화소의 위치가 달라지는 것을 알 수 있다.

이러한 방법으로 구한 LMM에 대하여 0을 기준으로 이치화를 행하여, 0과 1로 구성된 이진 LMM을 만든다. 이 이진 LMM은 원 영상의 특이점을 나타내므로 이를 워터마크로 사용한다.

제안한 알고리즘에서는 워터마크를 삽입하지 않고 Mallat 웨이브릿 변환을 통하여 구한 이진 LMM을 원 영상으로부터 추출하여 화질의 열화 없이 의료 영상에 대한 위조 여부를 판단할 수 있다.

3. 위조 여부 판단

제안한 알고리즘에서는 영상 내에서 위조된 특정 부분을 찾기 위하여 블록 단위의 판단을 행한다. 위조 혐의를 받고 있는 영상에 대하여 Mallat 웨이브릿 변환을 통하여 이진 LMM을 추출한 후, 이를 원 영상의 이진 LMM과 비교하여 비트 오류 (bit error)를 구한다.

만약 특정 블록이 위조되었다면, 이 블록과 주변의 인접한 블록들에 대한 이진 LMM은 원 영상에 대한 동일 블록의 이진 LMM과의 차이를 나타낸다. 이는 현재 위치의 화소와 인접 위치 화소와의 밝기 차를 이용하여 LMM을 생성하기 때문에, 위조된 블록과 인접한 주변 블록들의 블록 경계 부분에서 이진 LMM과의 차이가 발생한다. 따라서 각 위치별로 원 영상과 위조 혐의가 있는 영상에 대한 이진 LMM의 차이에 따라 위

조 여부를 판단한다면 허위 경고(false alarm)가 발생할 확률이 높다.

따라서 제안한 알고리즘에서는 특정 블록에 대한 이진 LMM과 원 영상의 이진 LMM과의 비트 오류를 계산한 후, 이 개수가 특정 문턱값보다 크다면 이 블록을 위조 블록으로 판명한다. 이렇게 함으로써 허위 경고 없이 위조 여부를 판단할 수 있다.

지금까지 살펴본 것처럼 제안한 위터마킹 알고리즘에서는 영상의 특이점을 추출하여 원 영상의 특이점과 블록 단위로 비교를 행한 후 위조 여부를 판단하므로, 기존의 알고리즘과는 달리 화질의 열화가 발생되지 않고 위조 여부 판단 시 원 영상이 필요하지 않다는 장점을 있다.

실험 결과 및 고찰

본 논문에서 제안한 비견고 위터마킹 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 컴퓨터 모의 실험을 행하였다. 본 실험에서는

실험 영상으로 512×512 화소 크기를 갖는 혈관 영상을 사용하였다.

먼저 실험 영상을 Mallat 웨이블릿 변환을 이용하여 1레벨로 분해한 후, 이 때 생성된 수평 및 수직 상세 부대역을 이용하여 상세 신호의 크기 및 위상 성분을 계산한다. 이들 크기 및 위상 성분을 이용하여 영상의 특이점인 이진 LMM을 만든다. 원 영상과 이 영상에 대한 이진 LMM을 그림 3에 나타내었다.

위조에 대한 모의 실험을 행하기 위하여 실험 영상의 특정 부분에 대하여 저역 통과 필터 (low pass filter, LPF), 중간값 필터 (median filter, MF), 및 고역 통과 필터 (high pass filter, HPF)의 다양한 필터 공격들과 이 부분을 다른 특성을 나타내는 영역으로 대체하는 공격을 가하였다. 이때 각 필터에 대한 창(window)의 크기는 3×3, 5×5, 및 7×7 화소 크기를 사용하였고, 16×16 및 128×128 화소 크기의 영역에 대하여 공격을 가하였다. 본 실험에 사용된 위조 영역은 그림 4에서와 같다.

위조 여부 및 위조된 영역을 찾기 위하여, 다양한 방법으로

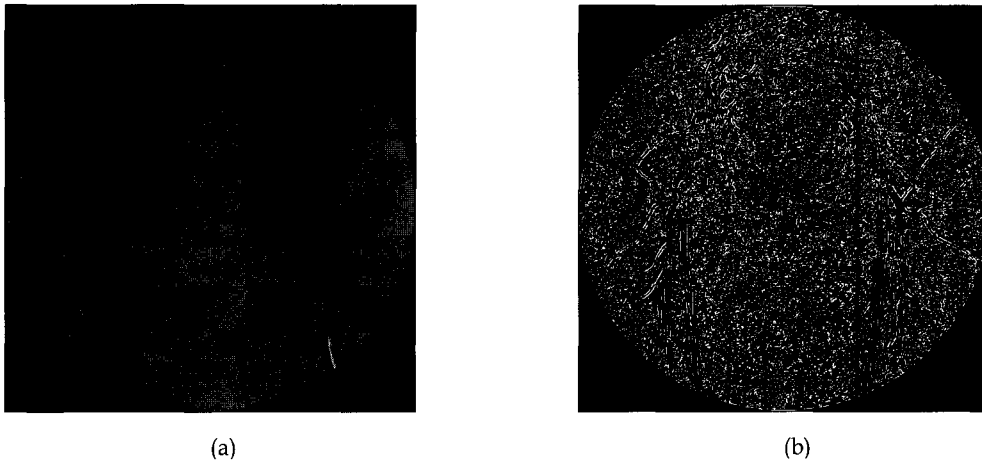


그림 3. (a) 본 실험에 사용된 실험 영상 및 (b) 추출된 특이점 (이진 LMM)
Fig. 3. (a) Test image and (b) the extracted singularity (binary LMM)

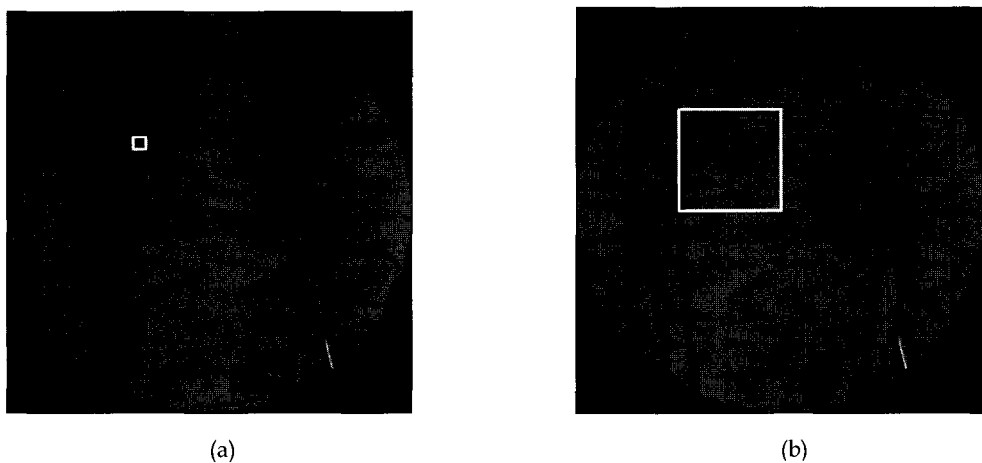


그림 4. (a) 16×16 및 (b) 128×128 화소 크기의 위조된 영역
Fig. 4. Forged area with (a) 16×16 and (b) 128×128 pixel size



그림 5. (a) 16×16 및 (b) 128×128 화소 크기의 공격에 대한 찾아진 위조 영역
 Fig. 5. Detected forgery area with (a) 16×16 and (b) 128×128 pixel size.

국부 위조된 영상들에 대하여 이진 LMM을 구한다. 이렇게 구해진 이진 LMM과 이미 알고 있는 원 영상의 이진 LMM을 16×16 화소 크기의 블록 단위로 비교한다. 그리고 허위 경보의 확률을 줄이기 위하여 특정 문턱값보다 큰 LMM에 대한 비트 오류 개수를 갖는 블록들만 위조된 블록으로 판명한다.

이는 블록 경계영역이 위조되었을 경우 위조되지 않은 인접 블록들까지 위조된 블록으로 판명되는 것을 방지하기 위함이다. 따라서 제안한 알고리즘에서는 16×16 화소 크기의 블록 단위로 이진 LMM을 비교하여 위조 여부를 판단한다. 다양한 위조 방법들에 의해 손상된 영상에 대하여 검출된 위조된 블록들은 그림 5에서와 같다. 이 그림에서 16×16 화소 크기 및 128×128 화소 크기의 영역에 대한 다양한 위조 공격에 대하여 제안한 알고리즘은 위조 영역을 정확히 찾는 것을 확인할 수 있었다.

제안한 비견고 워터마킹 알고리즘에서는 각 영상의 고유한 특징을 나타내는 특이점을 추출하여, 이를 워터마크로 사용한다. 따라서 특정 영역이 위조된 영상의 특이점에서는 원 영상의 특이점과의 차이가 발생된다. 위조 여부를 작은 크기의 블록 단위로 검사함으로써 제안한 알고리즘은 위조 영역을 정확하게 검출할 수 있다. 또한 제안한 방법에서는 임의 영상에 대한 위조 여부 판단 시 원 영상이 불필요하고, 워터마크를 삽입하는 대신 영상에서 특이점을 추출하여 이를 워터마크로 사용함으로써 화질의 열화가 발생되지 않는 장점이 있다.

결 론

본 논문에서는 Mallat 웨이브릿 변환을 이용한 비견고 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘에서는 기존의 알고리즘과는 달리 워터마크를 삽입하지 않고, 원 영상과 공격을 당한 영상의 고유한 특성을 나타내는 이진 특이점을 추출하여 비교함으로써 화질의 열화 없이 위조 여부를 판단 할 수 있다. 그리고 제안한 알고리즘에서는 위조 여부의 판단 과정에

원 영상이 필요 없는 장점도 갖는다. 그러므로 본 연구의 결과는 특히 의료 영상의 위조 여부 판단에 적합하다.

본 논문에서 제안한 워터마킹 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 다양한 의료 영상에 대하여 모의 실험을 행하였다. 실험 결과로부터 제안한 알고리즘이 우수한 성능을 나타냄을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. D. Anand and U.C. Niranian, "Watermarking medical images with patient information," *Proceedings of the 20th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, vol. 20, no. 2, pp. 703-706, 1998
2. D. Kundar and D. Hatzinakos, "Towards a telltale watermarking technique for tamper-proofing," *Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing*, vol. 2, pp. 409-413, Chicago, Illinois, Oct. 1998
3. R. Wolfgang and E. Delp, "Fragile watermarking using the VW2D watermark," *Proceedings of the IS&T/SPIE Conference on Security and Watermarking of Multimedia Contents*, pp. 204-213, San Jose, California, Jan. 1999
4. H. Inoue, A. Miyazaki, and A. Katsura, "Wavelet-based watermarking for tamper proofing of still images," *Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing*, vol. 2, pp. 88-91, 2000
5. S. Mallat and S. Zhong, "Characterization of signals from multiscale edges," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 14, no. 7, pp. 710-732, July 1992