

논문 2005-42CI-6-10

다해상도 웨이블릿 변환을 이용한 영상 융합 워터마킹 기법

(Image Fusion Watermarks Using Multiresolution Wavelet Transform)

김 동 현*, 안 치 현*, 전 계 석*, 이 대 영*

(Dong-Hyun Kim, Chi-Hyun Ahn, Kye-Suk Jun, and Dae-Young Lee)

요 약

본 논문은 MRA(Multi-Resolution Analysis) 웨이블릿 변환을 이용하여 영상 데이터의 저작권 보호를 위해 필요한 워터마크로 64*64 이진 로고 영상의 1 레벨 DWT(Discrete Wavelet Transform) 계수값을 대상 영상의 LL 대역 및 특정 주파수 대역에 삽입하는 워터마킹 방법을 제안한다. 대상 영상을 3 레벨 DWT한 후 LL 대역과 특정 주파수 대역에 동일 주파수 방향으로 이진 로고 영상의 DWT 계수값을 블록별로 삽입한다. 대상 영상의 화질 저하를 막기 위해 각 블록내 SCs(Significant Coefficients)를 조사하여 해당 SCs 부분에 대해서만 워터마크를 삽입한다. 그리고 대상 영상의 왜곡시 각 주파수 대역별로 왜곡 정도가 틀리므로 SCs 이용시 사용되는 임계값을 주파수 대역별로 설정하여 각 주파수 대역별로 워터마크가 완전히 삽입되도록 한다. 그리고 워터마크가 인간의 시각 시스템으로부터 감추어져야 하므로 워터마크에 HVS(Human Visual System)을 적용하였다. 실험에서는 각 주파수 대역별로 비교하여 적절한 삽입 방법을 결정한다. 따라서 본 워터마킹 기법은 워터마크를 빠르고 정확하게 검출할 수 있으며, 작은 크기의 워터마크를 HVS와 SCs를 이용하여 삽입함으로써 비가시성과 강건성이 뛰어나다는 장점이 있다.

Abstract

This paper presents a watermarking approach that the 1-level Discrete Wavelet Transform(DWT) coefficients of a 64*64 binary logo image as watermarks are inserted in LL band and other specific frequency bands of the host image using Multi-Resolution Analysis(MRA) Wavelet transform for copyright protection of image data. The DWT coefficients of the binary logo image are inserted in blocks of LL band and specific bands of the host image that the 3-level DWT has been performed in the same orientation. We investigate Significant Coefficients(SCs) in each block of the frequency areas in order to prevent the quality deterioration of the host image and the watermark is inserted by SCs. When the host image is distorted by difference of the distortion degree in each frequency, we set the thresholds of SCs on each frequency and completely insert the watermark in each frequency of the host image. In order to be invisibility of the watermark, the Human Visual System(HVS) is applied to the watermark. We prove the proper embedding method by experiment. Thereby, we rapidly detect the watermark using this watermarking method and because the small size watermarks are inserted by HVS and SCs, the results confirm the superiority of the proposed method on invisibility and robustness.

Keywords : Watermark, Multi-Resolution Analysis Discrete Wavelet Transform, Human Visual System, Image Fusion, Significant Coefficients

I. 서 론

인터넷의 급속한 성장으로 인해 많은 멀티미디어 데이터가 손쉽게 접근이 가능하게 되었다. 멀티미디어 데이터는 디지털 데이터라는 특성상 복제가 쉽고 여러 번 복제를 하여도 원본과 똑같은 품질을 유지할 수 있기

때문에 불법적으로 무분별하게 복제된 데이터가 인터넷을 통해 광범위하게 배포되고 있다. 또한 멀티미디어 데이터의 가공 기술도 발달하여 멀티미디어 데이터 내 탑재된 저작권 정보도 손쉽게 변형할 수 있게 되었다. 이와 같은 문제로 멀티미디어 데이터의 저작권 정보와 인증을 위해 다양한 방법들이 제시되고 있는 데, 한 방법으로 디지털 워터마킹이 있으며, 이에 대한 연구들이 많이 수행되고 있다^[5-16]. 멀티미디어 데이터의 저작권을 위해 삽입되는 디지털 워터마크는 멀티미디어 데이터에 삽입된 이후에도 인지할 수 있을 정도로 원본 데이터의

* 정희원, 경희대학교 전자공학과
(Department of Electronic Engineering, Kyung Hee University)
접수일자: 2005년6월28일, 수정완료일: 2005년10월31일

질적 저하를 초래해서는 안되며, 비소유권자의 불법적인 조작에도 존재해야 하며, 소유권 인증을 위한 방법도 제공해주어야 한다. 이를 각각 비가시성(Invisibility), 강건성(Robustness), 명확성(Unambiguity)이라고 하며, 워터마크의 중요한 판단 기준이 된다. 특히 비가시성과 강건성은 서로 상반되는 특성이므로 데이터의 질적 저하를 초래하지 않는 범위 내에서 워터마크를 삽입하는 것이 중요하다^[5]. 멀티미디어 데이터의 저작권을 증명하기 위해 사용되는 워터마크는 초기에는 랜덤 신호가 워터마크로 주로 사용되었고, 최근에는 랜덤 신호와 함께 특정 영상을 워터마크로 사용하고 있다. 랜덤 신호는 검출된 이후에도 명확하게 저작권을 증명하기 위해 몇 가지 절차를 더 수행해야 하는 단점이 있고^[7] 특정 영상은 패턴을 인식할 수 있는 인간의 시각 시스템으로 인해 랜덤 신호보다 훨씬 더 설득력이 있어 데이터의 저작권을 보다 쉽게 판별할 수 있는 장점이 있다.^{[6][8-10][12-16]} 특정 영상은 주로 가시적 워터마킹에서 워터마크로 사용한다. 특정 영상을 비가시적 워터마킹으로 사용하는 방법을 제안한 Voyatzis와 Pitas^[8]은 워터마크를 삽입하기 전에 원영상의 명암값을 변경하여 이진 워터마크를 의사난수(pseudo-random) 비트열 형태로 삽입하였다. Knox^[9]는 두 개의 8 비트 그레이스케일 영상을 하나의 8 비트 그레이스케일 영상으로 변환하는 형태로 워터마크를 삽입하였다. 하지만 앞서 언급한 방법은 삽입 영상을 단순히 비트열로 취급하고, 워터마크를 삽입하는 데 있어 인간의 시각 특성을 고려하지 않았다. 워터마크는 인간의 시각 시스템으로부터 감추어져야 하므로 인간의 시각 시스템을 고려해야 한다. 그래서 워터마크를 대상 영상에 삽입할 때 인간이 인지할 수 없는 범위 내에서 최대한 삽입하기 위하여 HVS(Human Visual System)^[2]를 이용하는 알고리즘들이 많이 개발되고 있다. 그리고 Hsu^[11]과 Xia^[12]은 DWT의 다해상도를 이용한 방법을 제안하였고, Chan^[15]은 주파수 영역과 공간 영역에 워터마크를 삽입하기 위해 AES(Advance Encryption Standard)와 Reed-Solomon code를 사용하였다. 그리고 Bao^[16]은 양자화 매개변수를 모델링하여 웨이블릿 계수값에 워터마크를 삽입하는 방식을 제안하였으나 워터마크 삽입 방식이 복잡하다.

워터마크를 영상에 삽입하는 방법은 크게 공간영역 방법과 주파수영역 방법으로 나눌 수 있다. 공간영역 방법은 영상 화소 자체를 조작하는 방법으로 계산량이 적다는 장점이 있으나, 잡음이나 영상 필터 그리고 압

축으로 인해 워터마크가 손상된다는 단점이 있다. 주파수영역 방법은 영상을 DCT(Discrete Cosine Transform)나 DWT^[3] 등을 이용해 주파수 영역으로 변환한 후에 워터마크를 삽입하는 방법이다. 이 방법은 영상을 주파수 영역으로 변환하는 연산을 필요로 하지만 영상 필터나 압축으로 인한 워터마크의 손실을 최소화할 수 있다.

본 논문에서는 대상 영상을 3 레벨 DWT하고, DWT의 MRA^[4]를 이용하기 위해 워터마크로 이진 로고 영상의 1 레벨 DWT 계수값을 사용하여 워터마킹하는 기법을 제안한다. 그리고 워터마크를 대상 영상의 LL 영역과 각 해상도별로 삽입하여 결과를 비교하였다. 본 논문에서 사용한 웨이블릿 필터는 9/7 탭을 가지는 Antonini^[3]가 제안한 방법을 이용하였다. 본 논문에서 사용하는 워터마크는 대상 영상의 각 주파수 대역보다 크기가 작으므로 대상 영상의 각 주파수 대역을 워터마크와 동일한 크기의 블록 단위로 분할한다. 그리고 분할된 블록 내 높은 계수값을 가진 위치에 워터마크를 삽입한다. 주파수 영역에서 높은 계수값은 영상에서 중요한 부분을 의미하고 영상 왜곡에도 강하며 이러한 계수값을 중요 계수(SCs)라 한다^[1]. SCs 위치에 워터마크를 삽입함으로써 워터마크의 비가시성과 강건성을 동시에 보장할 수 있다. SCs 위치에 워터마크를 삽입시 워터마크가 인간의 시각 시스템으로부터 감추어져야 하므로 HVS^[2]를 적용하여 삽입한다.

본 논문의 구성은 II장에서는 웨이블릿 변환과 MRA에 대해 기본적인 논의를 하고, III장에서는 제안한 워터마킹 방식에 대해 설명을 하고, IV장에서는 제안한 방식에 대해 실험 및 결과를 보이고, V장에서 전체적인 결론 및 추후 연구 방향을 논의한다.

II. 웨이블릿 변환과 MRA

1. 웨이블릿을 이용한 영상의 분해와 합성

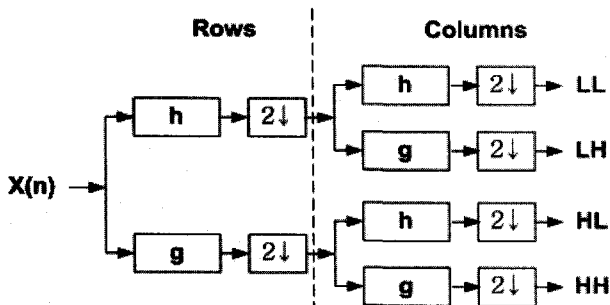
웨이블릿 변환은 다른 변환과 다르게 주파수 영역으로 변환 후 각 주파수 대역들이 공간영역에 대한 정보를 가지게 된다. 따라서 영상의 위치 정보를 워터마킹 과정에서 손쉽게 이용할 수 있어^[12] 최근에는 워터마킹 연구의 주류를 이루고 있다.

MRA는 이산 웨이블릿 변환의 한 방법으로 Mallat^[4]에 의해 제안되었다. MRA는 영상을 다해상도로 분해하여 변환 영역이라 정의되는 다해상도 레벨 영역에서 데이터가 처리된다. 웨이블릿 변환을 이용한 영상의 분

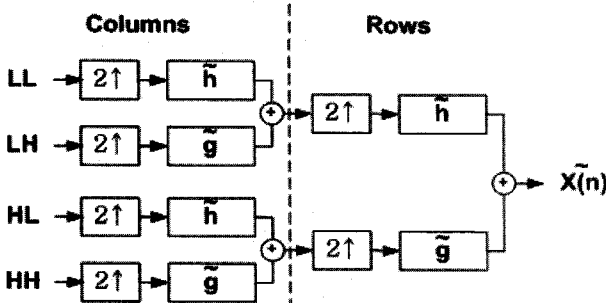
해 및 합성은 Mallat의 알고리즘을 이용한다. $g[n]$ 은 고대역 필터이고 $h[n]$ 은 저대역 필터이다. $y_{high}[k]$ 와 $y_{low}[k]$ 은 각각 필터링과 샘플링을 통해 얻은 값이다. 그림 1 (a)는 1 단계 영상 분해 과정을 나타내고 (b)는 1 단계 영상 합성 과정을 나타낸다.

$$y_{high}[k] = \sum_n x[n] \cdot g[2k-n] \quad (1)$$

$$y_{low}[k] = \sum_n x[n] \cdot h[2k-n] \quad (2)$$



(a) 1 단계 영상 분해
(a) One stage in a multiscale image decomposition



(b) 1 단계 영상 합성
(b) One stage in a multiscale image reconstruction

그림 1. 웨이블릿 분해와 합성
Fig. 1. Wavelet decomposition and reconstruction.

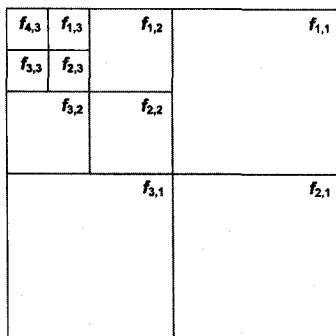


그림 2. 3 단계 영상 분해
Fig. 2. Three stage in a image decomposition.

그림 1 (a)의 분해과정이 다른 해상도 레벨을 가지는 부대역을 만든다. 이와 같은 분해 과정을 이용하여 대상 영상에 대해 3 레벨 DWT를 수행한다.

크기가 $2^{n_x} \times 2^{n_y}$ 인 대상 영상 $f(m,n)$ 에 대한 각 주파수 영역과 각 해상도 레벨에 해당하는 DWT 계수값을 $f_{o,l}(m,n)$ 로 표시한다. o 는 수평, 대각, 수직 및 DC 부분에 대한 주파수 영역 $o \in \{1,2,3,4\}$ 을 나타낸다. l 은 해상도 단계 $l \in \{1,2,3\}$ 을 나타낸다. (m,n) 은 해상도내 위치를 나타낸다. 그림 2는 이것을 그림으로 나타낸 것이다.

크기가 $2N_{ux} \times 2N_{uy}$ 인 이진 로고 영상에 대해 1 레벨 DWT를 수행하면 크기가 $N_{ux} \times N_{uy}$ 인 부대역 $w_{o,1}(m,n), o \in \{1,2,3,4\}$ 이 생성된다. N_{ux} 와 N_{uy} 는 2^k 이다.

III. 제안 알고리즘

1. 워터마크 삽입

주파수 영역에서 워터마크가 삽입되는 위치에 따라 워터마크의 강건성과 비가시성 사이에 상충관계(trade-off)가 생기기 때문에, 주파수 영역에서 워터마크가 삽입되는 부분을 결정하는 것은 아주 중요하다.^[5] 그림 1 (a)의 분해 과정을 통해 크기가 512*512 영상을 3 레벨 DWT 하게 되면 64*64 크기의 LL 영역을 만들고, 그리고 64*64 크기의 LL 영역을 기반으로 그림 1(b)의 합성 과정을 세 번 수행하여 512*512 영상을 만든다. 즉 8배 크기로 확장된다. 만약 LL 영역 내 다른 영상의 DWT 계수값을 넣고 IDWT(Inverse DWT)를 수행하게 되면, LL 영역 내 다른 영상의 DWT 계수값도 동일한 영향을 받게 된다. 만약 대상 영상의 LH, HL, HH 영역에도 다른 영상의 DWT 계수값이 있다면, 대상 영상에 대해 IDWT를 수행하면 동일하게 영향을 받을 것이다. 하지만 대상 영상의 LL, LH, HL, HH 영역에 삽입된 다른 영상의 DWT 계수값이 크다면 대상 영상의 화질을 저하시킬 것이다. 그래서 본 논문에서는 이진 로고 영상의 1 레벨 DWT 계수값을 이용한다. 사용된 이진 로고 영상의 1 레벨 DWT 계수값은 $[-0.68, 2.19]$ 의 값이므로 삽입시 대상 영상의 화질에 많은 영향을 미치지 않는다. 본 논문에서는 대상 영상을 3 레벨 웨이블릿 변환하여 생성된 저주파 대역, 중주파 대역 그리고 고주파 대역 중 하나의 대역과 LL 영역에 워터마크인 이진 로고 영상의 1 레벨 DWT 계수값을 HVS와 SCs를 이용

하여 놓고 각 해상도 레벨에 따라 비교 실험하였다. 워터마크를 대상 영상에 삽입하는 방법은 대상 영상의 $f_{o,l}(m,n)$ 을 중복되지 않게 이진 로고 영상의 1 레벨 DWT한 후 생성되는 부대역과 동일한 크기로 분할한다. $f_{o,l}(m,n)$ 에서 크기가 $N_{wx} \times N_{wy}$ 으로 분할된 블록을 $f_{o,l}^i(m,n)$ 로 나타낸다. $i = 1, \dots, 2^{n_x+n_y-2(l+k)}$ 이다. 블록 $f_{o,l}^i(m,n)$ 에 $w_{o,1}(m,n)$ 을 삽입하는 데, 각 해상도 단계별로 동일 주파수 방향으로 삽입한다. 예를 들면 $w_{2,1}(m,n)$ 을 저주파 영역에 삽입할 경우 $f_{2,3}^i(m,n)$ 에 대해서만 삽입한다. 그리고 $w_{o,1}(m,n)$ 을 $f_{o,l}^i(m,n)$ 에 삽입시 블록내 특정한 값(SCs)만을 선택하여 삽입한다. 영상에서 시각적으로 중요한 계수값은 보통 큰 값을 가지고 있는데, 일반적으로 이러한 계수값은 압축과 같은 영상 처리 후에도 변화가 적다^[1]. 그래서 워터마크가 삽입될 블록 $f_{o,l}^i(m,n)$ 의 계수값 중 절대값이 가장 큰 값을 이용하여 임계값을 설정한다. 임계값을 정하는 수식은 식 (3)과 같다.

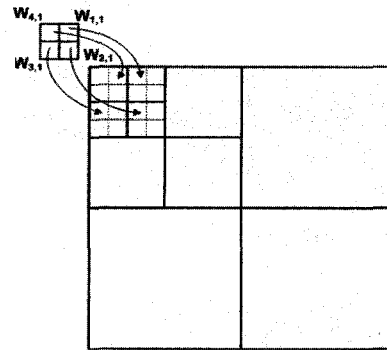
$$T_{o,l}^i = \frac{\max_{\text{over all } f_{o,l}^i(m,n)} f_{o,l}^i(m,n)}{d} \quad (3)$$

식 (3)의 d 값을 어떻게 설정하느냐에 따라 대상 영상의 주파수 영역 내 블록 $f_{o,l}^i(m,n)$ 에 대한 워터마크의 삽입 강도가 틀려진다. 즉 d 값이 클수록 블록 내 워터마크가 많이 삽입되어 워터마크의 견고성이 커진다. 본 논문에서는 $w_{o,1}(m,n)$ 을 대상 영상의 각 주파수 영역에 분산하여 다 삽입할 수 있는 값을 기준으로 d 값을 자동 설정하였다. d 값을 수동 설정시 문제점은 설정된 d 값이 작을 경우 $w_{o,1}(m,n)$ 값 중 삽입되지 않는 값들이 발생한다.

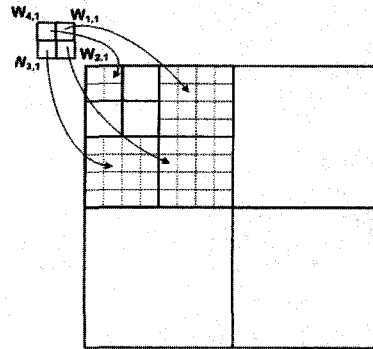
블록 $f_{o,l}^i(m,n)$ 내, 임계값에 의해 선택된 계수값에 대해 워터마크를 삽입할 때 HVS를 적용한다. HVS는 사람의 눈이 가지는 여러 가지 특성을 고려하여, 워터마크를 삽입할 때 인간이 지각할 수 없는 수준의 워터마크를 삽입하기 위한 기법이다^[2]. 인간의 눈이 잡음에 둔감한 부분을 찾아 워터마크를 삽입한다. 식 (4)은 인간의 눈이 높은 해상도 영역과 45° 방향의 영역에서는 잡음에 덜 민감하다는 특성을 나타낸 것이다.

$$\theta_{o,l}^i = \begin{pmatrix} \sqrt{2}, & \text{if } o = 2 \\ 1, & \text{otherwise} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1.00, & \text{if } l = 1 \\ 0.32, & \text{if } l = 2 \\ 0.16, & \text{if } l = 3 \\ 0.10, & \text{if } l = 4 \end{pmatrix} \quad (4)$$

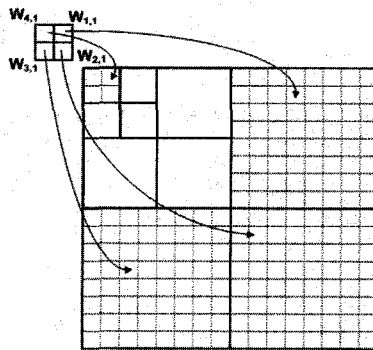
식 (5)은 인간의 눈이 아주 밝고 어두운 성분에 대해서는 덜 민감하다는 특성을 이용한 것으로 저주파수 대역인 $f_{4,3}(m,n)$ 을 기준으로 계산한다. 이는 웨이블릿 해석의 특징을 이용한 것으로 각 레벨의 같은 위치에 있는 계수값은 서로 밀접한 연관관계가 있는 것에 근거한다.



(a) 저주파 대역에서의 워터마크 삽입 방법
(a) Watermark embedding method at the low frequency band(WEL)



(b) 중주파 대역에서의 워터마크 삽입 방법
(b) Watermark embedding method at the middle frequency band(WEM)



(c) 고주파 대역에서의 워터마크 삽입 방법
(c) Watermark embedding method at the high frequency band(WEH)

그림 3. 워터마크 삽입 방법

Fig. 3. Watermark embedding method.

$$A_{o,l}^i(i,j) = 3 + \frac{1}{256} f_{4,3}^i(m + \frac{i}{2^{3-l}}, n + \frac{j}{2^{3-l}}) \quad (5)$$

식 (6)은 HVS 특성을 워터마크에 적용하기 위해 식 (4)와 (5)를 통합한 것이다.

$$V(f_{o,l}^i(m,n)) = \theta_{o,l}^i \cdot A_{o,l}^i(m,n) \quad (6)$$

식 (7)은 대상 영상에 워터마크를 삽입하는 과정을 나타낸다.

$$f_{o,l}^{w,i}(m,n) = f_{o,l}^i(m,n) + W_{o,1}(m,n) \quad (7)$$

$$W_{o,1}(m,n) = \alpha \cdot V(f_{o,l}^i(m,n)) \cdot w_{o,1}(m,n) \quad (8)$$

$f_{o,l}^{w,i}(m,n)$, $o \in \{1,2,3,4\}$ 는 $N_{wx} \times N_{wy}$ 크기의 블록내 워터마크가 삽입된 DWT 계수값이다. $W_{o,1}(m,n)$ 는 이진 로고 영상의 1 레벨 DWT 계수값에 매개변수 α 와 HVS의 특성을 결합한 값이다. α 값은 워터마크의 강도를 나타내는 매개변수로 그 값이 클수록 워터마크의 견고성은 커지나, 워터마크의 비가시성은 저하된다. 워터마크가 삽입된 영상이 왜곡될 경우, α 값에 따라 워터마크 검출 정도가 달라진다.

그림 3은 본 논문에서 제안하는 워터마크 삽입 알고리즘을 나타낸 것으로 대상 영상의 각 해상도 단계에 대해 $N_{wx} \times N_{wy}$ 블록별로 워터마크를 삽입하는 과정을 나타낸 그림이다. $W_{o,1}(m,n)$ 을 대상 영상의 동일 주파수 영역에 있는 블록 내 ROI 부분에 대해서만 삽입한다. 그리고 본 논문에서는 그림 3 (a) 방법을 WEL로 (b) 방법을 WEM로 (c) 방법을 WEH로 명명한다.

2. 워터마크 검출

대상 영상의 주파수 영역에 이진 로고 영상의 1 레벨 DWT 계수값을 삽입함으로써 워터마크 검출을 보다 빠르게 수행할 수 있다. 본 논문에서는 워터마크 검출 방법이 두 가지이다.

첫 번째 검출 방법은 원영상과 워터마크가 삽입된 영상의 차영상에서 나타나는 로고 형태의 영상으로 저작권을 판별한다. 삽입된 이진 로고 영상의 1 레벨 DWT 계수값이 대상 영상을 IDWT 하면서 대상 영상에 로고 형태의 영상을 만들고 이것이 차영상에서 나타난다. 이 방법은 빠르고 간단하게 워터마크의 존재유무를 판별할 수 있고 영상의 왜곡에도 강하다. 식 (9)은 워터마크를

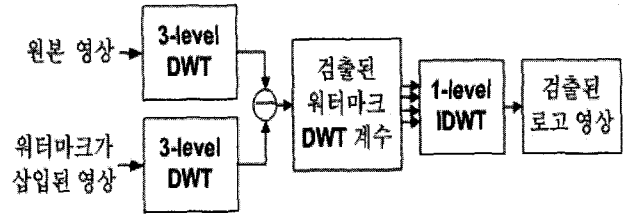


그림 4. 워터마크 검출방법 2
Fig. 4. Watermark extraction method 2.

검출하는 첫 번째 방법(검출방법 1)을 나타낸 식이다. $f(m,n)$ 는 원영상을 나타내며, $f_w(m,n)$ 는 워터마크가 삽입된 영상을 나타낸다. 그리고 $d(m,n)$ 은 원영상과 워터마크가 삽입된 영상의 차영상을 나타낸다.

$$d(m,n) = f(m,n) - f_w(m,n) \quad (9)$$

워터마크를 검출하는 두 번째 방법(검출방법 2)은 원영상과 워터마크가 삽입된 영상을 호출하여 3 레벨 DWT한 후, DWT 계수값을 비교하여 이진 로고 영상의 DWT 계수값을 검출한 뒤 IDWT하여 이진 로고 영상을 생성한다. 그림 4는 검출방법 2에 대한 블록도이다.

식 (10)은 검출방법 2를 나타낸 식으로 $\tilde{w}_{o,l}^i(m,n)$ 는 워터마크가 삽입된 영상의 $o \in \{1,2,3,4\}$ 에 따라 각각 검출된 크기가 $N_{wx} \times N_{wy}$ 인 워터마크이다.

$$\tilde{w}_{o,l}^i(m,n) = \frac{\tilde{f}_{o,l}^{w,i}(m,n) - f_{o,l}^i(m,n)}{\alpha \cdot V(f_{o,l}^i(m,n))} \quad (10)$$

워터마크가 삽입된 영상의 각 주파수 영역 중 각각의 $N_{wx} \times N_{wy}$ 블록에서 임계값 이상인 부분에 대해서만 $\tilde{w}_{o,l}^i(m,n)$ 을 검출한다. 검출된 이진 로고 영상을 시각적으로 판별하기 위해 8 비트 그레이레벨 영상으로 변환한다.

IV. 실험 및 결과

본 논문에서 제안한 워터마크 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 컴퓨터 모의실험을 행하였다. 그림 5는 본



그림 5. 로고 영상
Fig. 5. Logo image.

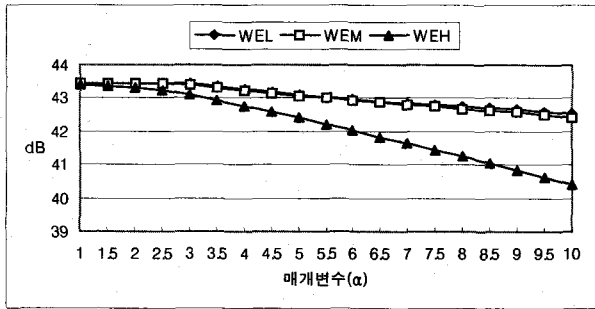


그림 6. 삽입 방법에 따른 PSNR 비교
Fig. 6. PSNR comparison with embedding methods.

표 1. 워터마크가 삽입된 영상에서 로고 형태가 나타나기 시작하는 α 값

Table 1. The α value when the form of logo appears in watermark embedded image.

	Airplane	Goldhill	Lena	Peppers
α	3.5	7.5	4.5	5.0

실험에서 사용된 이진 로고 영상(64x64 pixels, 1 bit/pixel)으로 0과 1의 화소값을 가진 영상을 화면으로 나타내면 가시적으로 볼 수 없으므로 화소값 1을 255로 대체하여 나타내었다.

실험에 사용된 영상들(512x512 pixels, 8 bits/pixel)중 Airplane 영상과 같이 비교적 평탄한 영상들은 로고 형태가 워터마크를 삽입한 영상에 가시적으로 나타나는 지를 판별하기 위해 사용하였다.

그림 6은 Bridge 영상에 대해서 식 (8)의 매개변수 α 값의 증가에 따른 각 삽입 방법(WEL, WEM, WEH)에 대한 PSNR을 비교한 것이다. 그림 6에서 매개변수 값이 2.5 이상인 경우, WEH 방법의 PSNR이 WEL 방법 및 WEM 방법보다 급격히 저하되는 것을 볼 수 있다.

표 1은 WEH 방법으로 워터마크를 삽입한 영상에서 로고 영상의 에지가 가시적으로 표시되기 시작하는 매개변수 α 값을 나타낸 것이다. WEH 방법은 표 1의 α 값 이상이면 워터마크가 삽입된 영상에서 로고 영상의 에지 형태가 희미하게 나타나고, 이 영상을 샤프닝하면 보다 선명하게 나타난다. 하지만 WEL 방법과 WEM 방법으로 워터마크를 삽입한 영상에서는 α 값의 증가에 로고 영상의 에지 형태가 나타나지 않는다. WEH 방법은 워터마크의 비가시성 부분에서 취약하고 샤프닝하면 워터마크의 존재유무를 바로 판별할 수 있으므로 좋은 방식은 아니다. 그러므로 영상의 왜곡에 대한 실험은 WEL 방법과 WEM 방법에 대해서만 수행하였다.

표 2는 왜곡이 없는 Bridge 영상을 검출방법 1에 의

표 2. 검출방법 1에 의해 로고가 나타나는 α 값
Table 2. The α value when the form of logo appears with the extraction method 1.

	WEL	WEM	WEH
Airplane	4	1.5	1
Barbara	5.5	2.5	1
Bridge	5.5	2.5	1
Goldhill	5.5	2.5	1
Lena	5	2.5	1
Peppers	5.5	3	1

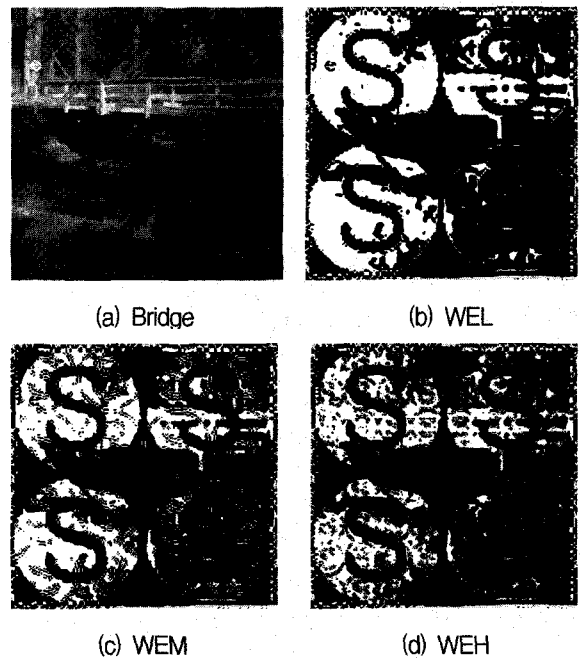


그림 7. 검출 방법 1에 의한 검출($\alpha=5.5$)
Fig. 7. Extraction with the extraction method 1($\alpha=5.5$).

해 워터마크를 검출할 때 명확하게 워터마크의 판별이 가능한 매개변수 값을 나타낸 것이다.

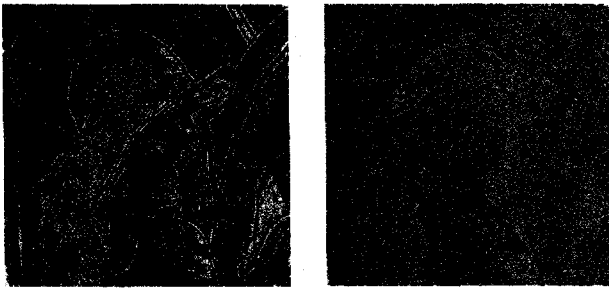
그림 7은 왜곡이 없는 Bridge 영상에 대해서 매개변수 값이 5.5인 WEL, WEM, WEH에 대한 검출방법 1에 의한 검출 결과이다.

그림 7(b), (c), (d)을 보면 공통적으로 256*256 크기의 로고 모양을 볼 수 있다. 이것은 Bridge 영상의 LL 영역에 삽입된 이진 로고 영상의 동일 영역의 1 레벨 DWT 계수값으로 인해 생성된 것이다. 그리고 그림 7(b)를 보면 WEL 방법에 의해 저주파대역에 삽입된 이진 로고 영상의 1 레벨 DWT 계수값은 256*256 크기의 로고 모양에 대해 에지를 형성한다. 그림 7(c)에서 중주파수 대역에 삽입된 로고 영상의 계수값으로 인해 128*128 크기의 로고 영상의 에지를 볼 수 있다. 그림 7(d)에서는 64*64 크기의 로고 영상의 에지를 볼 수 있다. α 값이 클수록 로고 형태가 선명해진다.

표 3. 왜곡에 대해 워터마크가 삽입된 Lena 영상의 PSNR ($\alpha=10$)

Table 3. PSNR of watermark embedded Lena image at image attacks($\alpha = 10$).

Attack	WEL	WEM	Chan ^[15]
Blur	33.6868	33.6798	34.2952
Sharpen	23.2875	23.2754	26.7343



(a) Blur (b) Sharpen

그림 8. WEL에 대한 검출방법 1에 의한 검출
Fig. 8. Extraction with the extraction method 1 for WEL

표 4. 왜곡에 대해 워터마크가 삽입된 Lena 영상의 NC ($\alpha=10$)

Table 4. NC of watermark embedded Lena image at image attacks($\alpha = 10$).

Attack	WEL	WEM	Chan ^[15]
Blur	0.7164	0.5060	0.8889
Sharpen	0.9054	0.9366	0.9282



WEL WEM WEL WEM

(a) Blur (b) Sharpen

그림 9. 검출방법 2에 의한 검출
Fig. 9. Extraction with the extraction method 2.

검출된 워터마크를 가시적인 판별과 정규화된 상관도(Normalized Correlation)를 이용하여 비교하였다.

$$NC = \frac{\sum_p \sum_q^{N_w \times N_w} (w_{o,1}^i(p,q) \cdot \tilde{w}_{o,1}^i(p,q))}{\sum_p \sum_q^{N_w \times N_w} (w_{o,1}^i(p,q))^2} \quad (11)$$

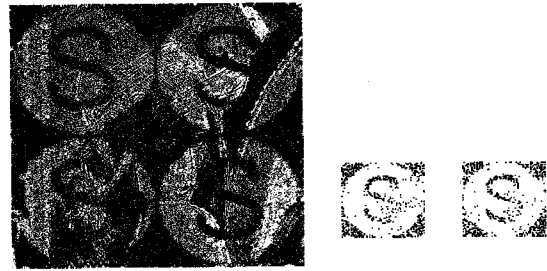
표 3과 4는 α 값이 10인 WEL과 WEM 방법으로 워터마크를 삽입한 Lena 영상에 대해 왜곡이 발생한 경우 Chan^[15]과 비교한 것이다.

표 3과 4의 결과로 Chan^[15]의 기법이 Blurring에서 더 좋은 것을 알 수 있다. 하지만 가시적인 판별은 둘 다 가능하다.



(a) used Logo (b) 3 x 3 Median result

그림 10. Bao^[16]의 Median 결과
Fig. 10. Bao^[16]'s Median result.



(a) 검출방법 1(WEL) (b)WEL (c)WEM
(NC=0.82) (NC=0.83)

그림 11. Median 결과($\alpha=10$)
Fig. 11. Median result($\alpha = 10$).



(a) Cropping (b) Bao^[16] result

그림 12. Bao^[16]의 Cropping 결과
Fig. 12. Ba^[16]'s Cropping result.

그림 8은 표 3과 4의 왜곡에 대해 검출방법 1을 이용해 얻은 결과이다. WEL과 WEM의 결과가 유사하여 WEL만 나타내었다.

그림 8과 9를 보면 Sharpening의 경우 검출방법 1에 서는 검출되지 않으나 검출방법 2에 의해 검출되는 것을 알 수 있다.

Median과 Cropping의 경우는 Ba^[16]가 제안한 방법과 비교하였다. 그림 10은 Bao^[16]가 제안한 알고리즘으로 워터마크를 삽입한 Lena 영상에 대해, 3x3 Median 한 후 검출한 결과이다.

그림 11은 동일한 Median으로 본 논문에서 제안한 기법으로 검출한 검출방법 1과 2의 결과이다.

그림 12는 Bao^[16]가 사용한 Cropping된 Lena 영상과 그 결과이다.

그림 13은 동일 크기로 Cropping한 Lena 영상에 대

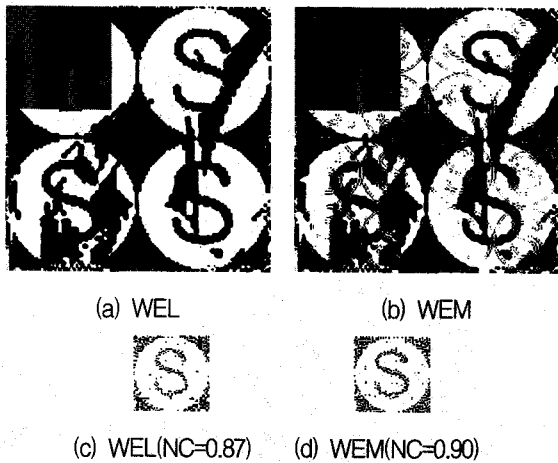


그림 13. Cropping 결과($\alpha=10$)
Fig. 13. Cropping result($\alpha=10$).

표 4. JPEG 압축에 따른 워터마크가 삽입된 Lena 영상의 PSNR ($\alpha = 10$)
Table 4. PSNR of watermark embedded Lena image at JPEG compression. ($\alpha = 10$)

	JPEG Compression ratio						
	1.5	2.9	4.7	6.9	7.8	9.8	13.5
x	53.40	43.41	39.75	38.93	36.73	34.06	32.14
WEL	47.64	42.35	39.25	38.53	36.48	33.92	32.05
WEM	47.15	42.20	39.18	38.47	36.45	33.91	32.04

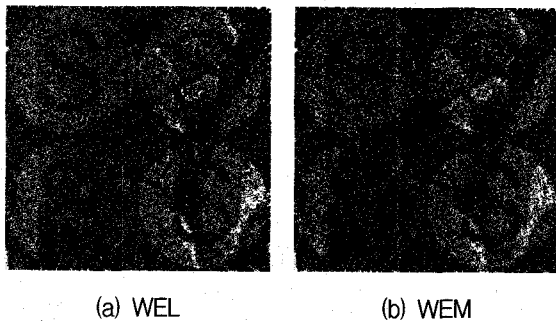


그림 14. 검출 방법 1에 의한 검출 (6.9:1)
Fig. 14. Extraction with the extraction method 1.(6.9:1)

해 검출한 검출방법 1과 2이다.

Cropping의 경우 Bao^[16]은 워터마크의 일부분이 손실되지만 그림 12의 Cropping 결과를 보면 알 수 있듯이 대상 영상의 일부분이 없더라도 삽입된 워터마크가 존재하므로 검출방법 2에 의해 워터마크의 검출이 가능하다.

표 4는 α 값이 10인 WEL과 WEM 방법으로 워터마크를 삽입한 Lena 영상과 워터마크를 삽입하지 않은 Lena 영상에 대해 JPEG 압축에 따른 PSNR을 나타낸 것이다. 본 논문과 유사한 방식인 Hsu^[11]과 비교하기 위해 Lena 영상을 이용하였다.

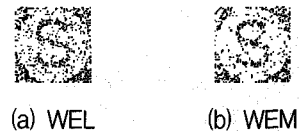


그림 15. 검출 방법 2에 의한 검출 (7.8:1)
Fig. 15. Extraction with the extraction method 2.(7.8:1)

표 5. JPEG 압축에 따른 워터마크가 삽입된 Lena 영상의 NC ($\alpha = 10$)
Table 5. NC of watermark embedded Lena image at JPEG compression. ($\alpha = 10$)

압축률	제안 기법						
	1.5	2.9	4.7	6.9	7.8	9.8	13.5
WEL	0.92	0.91	0.88	0.84	0.73	0.67	0.64
WEM	0.95	0.95	0.90	0.86	0.76	0.65	0.63
압축률	Hsu ^[11] 의 실험						
		3.48	5.26	6.68		8.04	
NC		0.78	0.68	0.61		0.56	

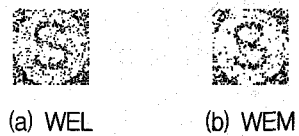
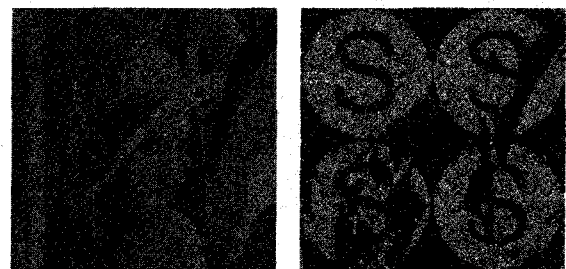


그림 15. 검출 방법 2에 의한 검출 (7.8:1)
Fig. 15. Extraction with the extraction method 2.(7.8:1)



(a)Gaussian Noise] 100%(PSNR=11.3)
그림 16. 검출 방법 1(WEM)(Gaussian Noise 100%)
Fig. 16. Extraction method 1.(Gaussian Noise 100%)

표 4를 보면 압축률이 2.9:1 이상인 경우 원영상과 워터마크가 삽입된 영상간의 PSNR의 차이가 크지 않은 것을 알 수 있다. 그림 14과 15를 보면 JPEG 압축률이 6.9:1인 경우 검출방법 1에 의해 명확하게 로고 형태를 판별할 수 있지만 압축률이 그 이상인 경우에는 로고 형태가 희미하게 검출된다. 압축률이 7.8:1이하인 경우에는 검출방법 2에 의해 워터마크 검출이 가능하다.

표 5는 JPEG 압축에 따른 NC에 대해서 Hsu^[11]와 비교한 것이다. 본 논문에서 제안한 방법이 Hsu^[11]보다 높은 압축률에서 더 좋은 결과가 나온 것을 알 수 있다.

가시적인 판별에서도 Hsu^[11]의 방법은 압축률이 6.68:1 이상인 경우에는 객관적인 판별이 어렵다.

그림 16는 워터마크가 삽입된 Lena 영상에 Gaussian Noise를 100% 인가한 영상과 검출방법 1(WEM)에 의해 검출한 결과이다.

Gaussian Noise를 100% 인가하여 워터마크를 검출하기는 매우 힘들다. 본 논문에서 제안한 방법으로 워터마크를 삽입하면 검출방법 1에 의해 검출이 가능하다.

V. 결 론

본 논문에서는 3 레벨 웨이블릿 변환으로 생성되는 저주파 대역, 중주파 대역 그리고 고주파 대역 중 하나의 대역과 LL 영역에 이진 로고 영상의 1 레벨 DWT 계수값을 HVS와 SCs를 이용하여 삽입하는 알고리즘을 제안하였다. 일반적으로 비가시성을 위하여 LL 영역에는 워터마크를 삽입하지 않으나 LL 영역 내 특정 계수값을 가진 위치에 대해서만 워터마크를 삽입할 경우 화질 저하가 심하지 않으면서 워터마크의 강건성을 유지할 수 있었다. LL 대역과 고주파 대역에 워터마크를 삽입하는 WEH 방법은 α 값의 증가로 인해 워터마크가 삽입된 영상에 로고 형태가 나타나는 현상이 발생하고 PSNR도 낮아 워터마크 삽입 방식으로는 적절하지 못하나 대역에 따라 매개변수의 값을 조정하여 워터마크를 삽입하는 방식에는 이용이 가능할 것으로 보인다. WEL과 WEM은 일정 α 값 이상인 경우에는 거의 유사한 결과를 보이거나, 낮은 α 값에서 워터마크를 검출할 경우 WEM이 보다 우수하다.

이진 로고 영상의 1 레벨 DWT 계수값을 워터마크로 사용함으로써 워터마크를 빠르게 검출할 수 있는 검출방법 1이 가능하다. 검출방법 1은 일반적으로 워터마킹 알고리즘들이 취약한 가우시안 노이즈에 매우 강하고 워터마크 존재 유무를 신속하게 판별할 수 있는 장점을 가지고 있다.

검출방법 2는 검출방법 1과 상호보완적으로 사용함으로써 보다 명확하게 저작권을 주장할 수 있다.

본 논문에서 제시한 워터마킹 기법은 검출 알고리즘에 비해 삽입 알고리즘이 복잡하고 반드시 원영상을 가지고 있어야 한다는 단점을 가지고 있다.

향후 연구 계획은 유사한 강건성을 가지면서 원영상 없이 워터마크의 존재유무를 파악하는 하드웨어 기반의 알고리즘을 개발하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] H. J. Wang and C. C. Jay Kuo, "A Multi-Threshold Wavelet Coder For High Fidelity Image Compression," *IEEE Image Processing*, Vol. 1, pp. 652-655, 1997.
- [2] A. S. Lewis and, G. Knowles, "Image compression using the 2-D wavelet transform," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol. 1, pp. 244-250, Apr. 1992.
- [3] M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu, and I. Daubechies, "Image Coding using Wavelet Transform," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol. 1, No. 2, pp. 205-220, Apr. 1992.
- [4] S. Mallat, "A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intel.*, Vol. 11, pp.674-693, July 1989.
- [5] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shamon, "Secure spread Spectrum watermarking for Multimedia," *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol. 6, No. 12, pp. 1673-1687, Dec. 1997.
- [6] She Kun, Huang Juncai, and Zhou Mingtian, "Using key points to improve robust reference watermarking algorithm," *IEEE int. Conf. Information Reuse and Integration*, pp.311-316 2003.
- [7] G. W. Braudaway, "Protecting publicly- available images with an invisible image watermark," in *Proc. IEEE int. Conf. Image Processing*, Vol. 1, pp. 524-527, Oct. 1997.
- [8] G. Voyatis and I. Pitas, "Digital image watermarking using mixing systems," *Comput. Graph.*, Vol. 22, No. 4, pp. 405-416, 1998.
- [9] K. T. Knox, "Reversible digital images," *Proc. SPIE, Security and Watermarking of Multimedia Contents*, Vol. 3637, pp. 397-401, Jan. 1999.
- [10] Chun-Hsiang Huang, and Ja-Ling Wu, "Attacking visible watermarking schemes," *IEEE Transactions on Multimedia*, Vol. 6, pp.16-30 Feb. 2004.
- [11] Chiou-Ting Hsu and Ja-Ling Wu, "Multiresolution Watermarking for Digital Images," *IEEE Transactions on circuits and systems-II : Analog and Digital Signal Processing*, Vol. 45, No. 8, pp. 1097-1101, Aug. 1998.
- [12] X. G. Xia, C. G. Boncelet and G. R. Arce, "A Multiresolution Watermark for Digital Images," *Proc. of IEEE ICIP*, Vol. 3, pp.548-551, 1997.
- [13] Ying-Lan Chang, Koun-Tem Sun, and

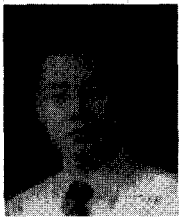
Yueh-Hong Chen "ART2-Based Genetic Watermarking," in *Proc. IEEE int. Conf. Advanced Information Networking and Application*, Vol. 1, pp.729-734, 2005.

[14]Y. Wang, J. F. Doherty, and R. E. Van Dyck, "A wavelet-based watermarking algorithm for ownership verification of digital images," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol 11, pp.77-88, Feb. 2002.

[15]Ko-Ming Chan and Long-Wen Chang, "A Novel Public Watermarking System based on Advanced Encryption System," in *Proc. IEEE int. Conf. Advanced Information Networking and Application*, Vol. 1, pp. 48-52, 2004.

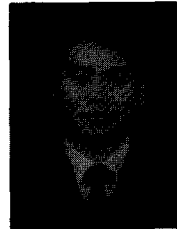
[16]Paul Bao and Xiaohu Ma, "Image Adaptive Watermarking Using Wavelet Domain Singular Value Decomposition," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 15, No. 1, pp.96-102, January, 2005.

저 자 소 개



김 동 현(정회원)
 1993년 경희대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 1995년 경희대학교 전자공학과
 석사 졸업.
 2005년 현재 경희대학교 전자공학과
 과 박사 과정

<주관심분야 : 디지털 워터마킹, 영상처리, 멀티미디어 통신>



안 치 현(정회원)
 1998년 한남대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 2000년 경희대학교 전자공학과
 석사 졸업.
 2005년 현재 경희대학교
 전자공학과 박사 과정

<주관심분야 : 멀티미디어 통신, 이동 통신>



전 계 석(정회원)
 1969년 연세대학교 전자공학과
 학사 졸업
 1973년 연세대학교 전자공학과
 석사 졸업
 1983년 연세대학교 전자공학과
 박사 졸업

2002년 한국통신학회 회장
 1979년~현재 경희대학교 전자정보대학 교수
 <주관심분야 : 마이크로파 소자설계, 초음파영상 시스템, 센서네트워크>



이 대 영(정회원)
 1964년 서울대학교 물리학과
 학사 졸업
 1971년 캘리포니아주립대학교
 컴퓨터학과 석사 졸업
 1979년 연세대학교 전자공학과
 박사 졸업

1999년 한국통신학회 회장
 1971년~현재 경희대학교 전자정보대학 교수
 <주관심분야 : 컴퓨터 네트워크, 디지털 워터마크, 지능형 홈네트워크>