
웨이블릿 기반 이미지 워터마킹

박호식* · 배철수*

A Wavelet-based Image Watermarking Scheme

Ho-sik Park* · Cheol-soo Bae*

요 약

본 논문에서는 웨이블릿 기반의 이미지 워터마킹 방법을 제안하고자 한다. 제안한 방법은 원영상의 주파수 영역에 의사 잡음 코드를 첨가하여 워터마크 된 디지털 영상을 만드는 것이다. 또한, 원영상은 워터마킹 검출을 위해 사용되어지고, 부가되는 서명의 강도는 원영상에 따라 달라지므로, 적합한 신호를 제안된 방법에 의해 산출 할 수가 있었다. 실험 결과, 제안된 방법이 주파수 영역에서 기존의 사설 방식에 비해 우수한 변조방지와 낮은 가시성을 보임을 나타내었다.

ABSTRACT

A wavelet-based image watermarking scheme is proposed, based on the insertion of pseudo-random codes in the frequency domain. The original image is required for the watermark detection. The "strength" of the signature to be embedded depends on the image to be marked, thus fitting signal capacity. The experimental results prove that the method is more tamper resistant and less perceptible for any type of images than other well-known private methods in the frequency domains.

키워드

discrete wavelet transforms, image coding, watermark detection, wavelet-based image watermarking

1. 서 론

웹의 도래와 확장과 더불어, 서류, 이미지, 비디오 및 오디오 데이터 등 디지털 정보가 점차 증가하여 많은 수의 사람들이 이용할 수 있게 되었다. 디지털 네트워크가 흔히 수익성 미디어를 제공하므로, 복제 방지에 대한 강력한 필요성이 대두되고, 소유자를 식별할 수 있는 마크를 멀티미디어 문서에 첨부하는 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

워터마크(혹은 디지털 서명)는 멀티미디어 문서나 특정한 이미지, 비디오 또는 오디오 시퀀스, 혹

은 텍스트 내부에 직접 첨부하는 식별 코드를 말한다. 워터마크는 문서의 소유자를 식별하는데 사용되며, 승인되지 않은 문서의 복제와 배포를 방지할 수 있다. 이러한 효과를 얻기 위해서는 워터마크를 사용자가 지각 할 수 없어야 되며, 쉽게 추출할 수 있고, 신뢰성이 높고, 간단 명료하며 일반적인 신호 변형과 복제 방지에 강한 내성을 가져야 한다.

본 논문에서 제안한 방법은 Cox[1]가 제안한 방식(이하 COX)에다 몇 가지 성능 개선을 한 것이다. COX 방식은 주파수 영역에서 워터마크를 삽입하는 방법 가운데 가장 유망한 방식 중 하나이다. 본 논문에서는 제안한 방식은 원영상을 웨이블릿

변형에 기초하여 마크 될 이미지에 따라 첨부 함수에 의해 적합한 신호를 산출함으로서 서명을 암호화하여 첨부하는 것이다.

실험 결과에 의해 제안된 방식이 COX 방식에 비해 우수한 변조 방식과, 마크가 어려운 만화를 포함한 모든 종류의 이미지에 대해 낮은 가시성과, 연산량이 낮음을 보여주었다.

기존의 디지털 워터마크는 검출 과정에서 원영상의 요건에 따라 사설(private)과 공용(public)으로 분류된다. 기존 방식의 대부분은 사설 방식으로, 전형적으로 워터마크 될 원래의 문서를 검출 알고리즘 적용 전에 제거한다.

워터마크 삽입과 디지털 이미지의 주파수 영역에서의 워터마크 검출에 대한 전형적인 공식은 다음과 같이 나타낼 수 있다. 첨부는 워터마크 된 이미지를 얻기 위해 이미지 I 속으로 W를 추가하는 암호화하는 과정이며, 검출은 이미지 J로부터 서명 T를 추출하고, 이를 검출된 W(그림 1)와 비교하는 해독 과정이다. 만약 추출된 서명 T와 원래의 서명을 비교하는데 이용되는 유사성 함수 $C_s(T, W)$ 의 값이 고정된 문턱치 δ 보다 크면, 서명 W가 J에 존재한다고 가정할 수가 있다.

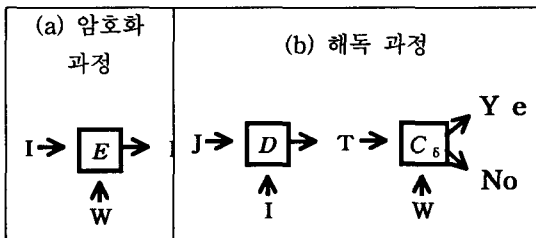


그림 1. (a) 암호화 과정 (b) 해독 과정
Fig 1. (a) Encoding Process (b) Decoding Process

II. COX 방식

COX는 변환 영역에서 작용하는 사설 방식이다. 워터마크는 가시성이 높은 구성요소에 위치되며, 이는 일반적인 서명 위조나 악의적 복제에 대처하기 위함이다. 실질적으로는 서명을 제거하기 위한 구성 요소의 수정은 이미지 자체의 심각한 왜곡을 야기하게 된다.

첨부 될 워터마크는 1000개의 임의 수열 $W = \{w_1, \dots, w_{1000}\}$ 로 구성되며, 가우시안 분포 $N(0, 1)$ 을 갖는다. 워터마크 수열은 다음과 같은 암호화 공식에 의해 DCT 변형의 가장 큰 계수 f_i 에 포

함된다.

$f_i^* = f_i + a \cdot w_i \cdot f_i$, $i = 1, \dots, 1000$ 일 때 매개 변수 a 는 0.1로 설정되는데, 변형과 원영상 충실도 사이에 적절한 값을 나타낸다. 워터마크 된 이미지는 역 DCT 변형을 계산하여 얻어진다. 추출 과정은 정확히 첨부 과정의 반대이며, 원영상을 필요로 하게 된다. 상관 함수 A는 T와 W를 비교하여 얻을 수 있다.

$$sim(T, W) = \frac{W \cdot T}{\sqrt{T \cdot T}}$$

함수 $sim()$ 는 통계적으로 출력 값이 고정 문턱치 $\delta(\delta=6)$ 보다 높으면 T와 W가 상호 연관되어 있음을 증명한다.

III. 워터마크 첨부 방식

일부 공간적 요소(흐림효과, 선명효과, 크로핑)에 대하여 이미지를 보다 잘 보호하고, 워터마크의 비가시성을 향상시키기 위해 COX 방법을 다음과 같이 변형하고자 한다.

- 임베딩 절차 수정에 의해 주파수 계수를 선정하는 각기 다른 변형 기반 기술을 사용.
- 첨부될 정보의 양을 마크될 이미지에 의존토록 하며, 특히 수정될 계수들의 숫자 n 이 이미지 사실성에 영향을 미치지 않도록 용량에 대해 비율적이어야 한다.
- 워터마크의 크기가 각각의 이미지에 대해 상이하도록 첨부 절차를 수정한다; 이는 워터마크 에너지를 좀더 추가하고, 가능하다면 이미지 사실성을 감소하지 않고, 역으로 이미지에 관련하여 너무 강한 경우 워터마크 에너지를 감소시키는 것이다.

그러므로, 새로운 방식은 검출 절차에서는 동일한 유사성 함수를 차용하지만, 첨부 절차에 있어 COX와 다른 형태를 나타내게 된다.

3.1 주파수 해석

웨이블릿 이론은 전통적인 푸리에(Fourier)분석에 비해 정밀성이 낮은데, 이는 웨이블릿 함수가 공간주파수 국부화에 뛰어난 것으로서 정보 콘텐츠 대부분이 에지와 테두리와 같은 공간에 국한된 구성요소를 대표하는 이미지 분석에 적합하기 때문

이다. 웨이블릿 함수의 주요 성격은 데이터를 상이한 스케일 혹은 해상도로 처리한다는 점으로, 크고 작은 특성들을 모두 강조한다. 웨이블릿 함수는 전통적인 푸리에 방식에 비해 단점이 많은 신호 혹은 급격한 변화가 있는 신호를 처리하는데 강점이 있으며, 여러 분야에서 사용되어 왔다: 이미지 압축, 신호 소음 제거, 이미지 유연화 및 구조 분석 등 [12]. 푸리에와 같은 주파수 영역 대신 웨이블릿 변형 영역에 워터마크를 삽입하는 주된 이점은 다음과 같다.

- 특성(에지, 구조 등)들을 보다 잘 배치하여 식별이 어렵게 만드는 것
- 공간과 주파수에 지역적 정보. 국부화로 크로핑과 크기조정 같은 기하학적 복제에 보다 견실한 웨이블릿 기반의 워터마크를 생성한다.
- 워터마크 변형은 신호의 길이 n 이 변형될 때 푸리에나 코사인 변형 $O(n \cdot \log(n))$ 에 비해 연산량이 적다.

3.2 주파수 계수의 선정

워터마크에 의해 수정될 주파수 계수들의 수는 매우 중요한 매개 변수인데, 이는 이미지의 가시적인 손상과 복제에 대한 방어와의 상호 상쇄 효과 때문이다. COX에서 수정된 1000개의 주파수 중에서 선택한 계수는 강력한 변조 방지를 보증하지만, 종종 워터마크를 노출하게 된다.

이러한 단점을 피하기 위해, 삽입될 워터마크의 강도를 결정하면서 이미지의 인지 능력, 즉 차원과 추가될 은닉 정보량간의 비율이 고려되었다. 특정한 이미지가 추가적으로 은닉 데이터를 삽입하는데 적합한지를 평가할 수 있어야 한다. 이에 대한 일반적 방식은 간섭(coherence) 이론이다[12]. 변형 영역에 상대적으로 적은 계수들이 큰 진폭을 갖는다면, 신호는 일련의 기초 함수와 긴밀히 결부되어 있다. 그러므로, 간섭 신호에서 대부분의 정보는 변형 영역의 일부 계수들에게 집중되어 있다. 간섭 개념은 정보 운송 성능에 긴밀히 결부될 수 있고, 높은 간섭 신호는 정보 함유 능력이 거의 없거나 아예 없는 백색 신호 등과 같은 높은 비간섭 신호에 비해 원래부터 정보 함유 및 전달 용량이 크다. 간섭 개념은 소음 억제 문제에 적용되어 왔다[14].

3.3 암호화 기능

문턱치 값보다 높은 계수를 선택한 뒤, 이러한 값들을 COX 방법과 동일한 삽입 공식에 따라 그 값들을 수정하였다.

$$f_i^* = f_i(1 + a \cdot w_i)$$

워터마크의 견실성을 최대화하고, 그 인지 가능성을 최소화하고자, 매개변수 a 는 조정하였다. a 를 높임으로써 견실성이 향상시킬 수 있었지만 반면에 워터마크의 가시성은 증가하였다. 그림 2는 원영상에 대한 워터마크 가시성과(PSNR: Peak Signal To Noise) 견실성(sim() 함수)을 a 의 함수로 나타낸 것이다.

실험 결과, a 에 대해서 0.15와 0.2 사이의 고정 값이 견실성과 테스트 이미지 대부분에서 워터마크를 식별 불가능하였다. 그러나, 매우 상세한 이미지에서는 보다 뚜렷한 서명들도 식별 불가능했지만, 유사 영역들이 다수 함유된 이미지에서 서명이 식별가능 하였다.

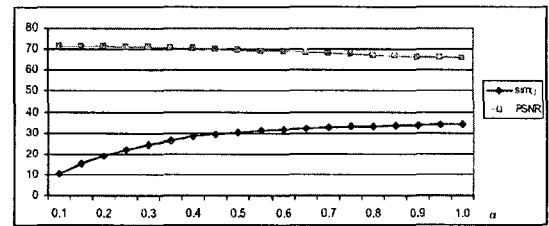


그림 2. Lena 이미지에 대한 a 의 변화에 워터마크 견실성과 가시성 변화.

Fig 2. Watermark robustness and visibility varying a for Lena image.

픽셀 k 의 지점 국부 변위는 다음 공식으로 구해진다.

$$locV_k = \frac{(d \cdot \sum_{x \in B} I(x)^2) - (\sum_{x \in B} I(x))^2}{d^2}$$

B 는 차원 $d \times d$ 를 가진 k 에 집중된 윈도우를 나타내며, $I(x)$ 는 픽셀 x 의 발광치를 나타낸다. 지역 변화가 고정된 문턱치를 넘는 변화되는 국부 픽셀의 수 V_s 로 a 의 추정치를 다음과 같이 산출할 수 있다.

$$a = \begin{cases} 0.1 & \text{만약 } a' < 0.1 \\ a' & \text{만약 } 0.1 \leq a' \leq 0.5 \\ 0.5 & \text{만약 } a' > 0.5 \end{cases} \quad a' = v \frac{V_s}{N \cdot M}$$

N 과 M 은 이미지 차원이며, v 는 0.45로 고정된 가중 요소이다.

그림 3은 제안된 방법의 순서도를 보여준다.

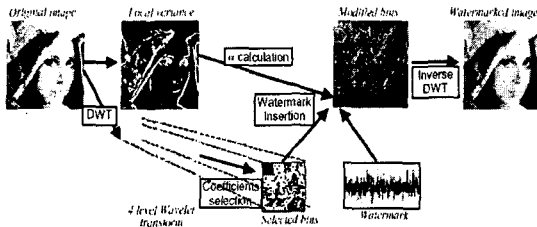


그림 3. 디지털 영상의 임베딩 된 워터마크 순서도.
Fig 3. A functional scheme of the view method for embedding a watermark in a digital image

워터마크 복구 과정은 첨부과정의 역순이며, 2장의 COX 방식에서 도입한 상관 함수를 적용하는 검출 단계를 적용한다.

IV. 실험 결과

제안된 방법의 효율성을 검증하기 위하여 다음과 같은 실험을 수행하였다.

- 복제에 대한 견실한 방어: 이미지 안의 유효한 워터마크 존재에 대한 신뢰 값을 제공하는 상관 함수 $sim()$ 로 평가된 복제에 대한 워터마크의 저항.
- 인지 가시성: 사전에 정의된 PSNR 비율에 의해 계산된, 워터마크에 의한 원 영상 왜곡; 낮은 PSNR 값은 높은 왜곡을 나타낸다.

본 실험에서는 COX 방법과 제안된 방법을 모두 실험 하였으며, JPEG 압축, 크기변화, 크로핑, 호림효과, 선명효과를 비교하였다.

또한 실험 이미지(256x256 그레이 및 컬러 이미지)는 가시 특성에 따라 네 그룹으로 분류되었다.

- 상세 이미지 (D): 이미지들은 많은 상세 부분들로 특징지어지며, 워터마크 작성에 보다 적합한데, 이는 이미지 훼손 없이 보다 뚜렷한 서명이 은닉될 수 있기 때문이다.
- 유사 이미지 (H): 이미지들은 컬러의 편차가 없는 대 영역들과 적은 상세 부분들로 특징지어진다. 이 이미지들은 워터마크를 붙이기 어렵는데, 이는 해당 서명이 종종 눈에 드러나기 때문이다.
- 일반 이미지 (N): 대부분의 이미지들로, 유사 영역과 상세 영역을 모두 포함하고 있다.

- 카툰 이미지 (C): 유사 이미지의 제한된 경우들로, 워터마크를 숨길 수 없으므로, 워터마크 작성이 매우 어렵다.

제안된 방법의 유효성을 입증하기 위한 여러 시험이 수행되었다.

- 실험 I : 견실성 분석, 100개의 상이한 서명이 워터마크된 이미지들이 선정되었다. 일반적인 이미지 왜곡 이후의 평균 PSNR 인덱스와 평균 $sim()$ 함수 값이 평가되었다.
- 실험 II : 워터마크 고유성. 해당 알고리즘의 매우 낮은 오류 가능성을 입증하기 위해, 100개의 임의 생성 워터마크에 대한 검출 응답 결과 단 하나만이 이미지 내에서 눈에 띄었다.

실험 I : 견실 분석

그림 4의 실험 결과는 제안된 방식의 디지털 필터링, 크로핑과 크기변화 그리고 모든 종류의 JPEG 이미지 압축에 대해 저항력을 갖는 워터마크를 만들어 내었다. 동종 및 카툰 이미지의 경우, 가시성 문제로 인해 워터마크가 5% JPEG 압축에서는 저항력을 갖기에 불충분한 강도로 임베딩되었다. 그러나, 그러한 낮은 품질의 압축은 이미지상의 현저한 왜곡을 초래함으로써 중요한 문제로 볼 수는 없다.

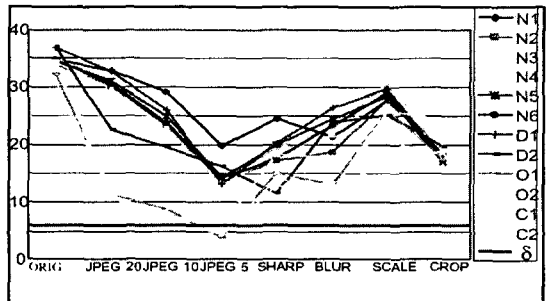


그림 4. 실험 이미지에 임베딩 된 상이한 워터마크들에 대한 일반적 이지지 왜곡 후의 평균 검출 응답.

Fig 4. Average detector response after common image distortion (in abscissa) for different watermarks embedded in the test images.

그림 5는 COX와 제안된 방식의 비교 결과를 보여주며, 제안된 방식이 PSNR 수치가 높은 경우에도 복제에 대한 견실성이 뛰어난을 보여준다.

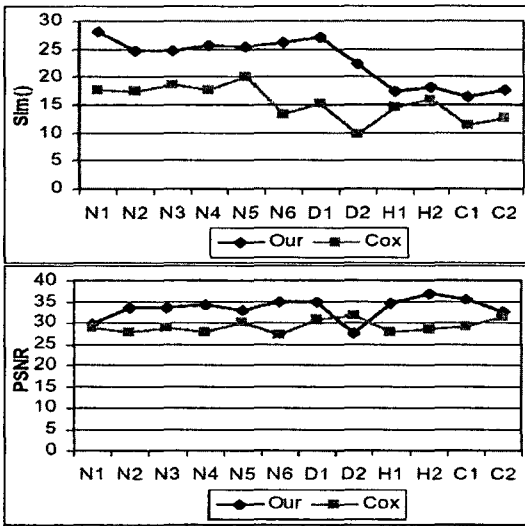


그림 5. (a) 실험을 위한 이미지 대한 검출 응답
(b) 원 영상과 워터 마크된 이미지간의 유사도

Fig 5.(a) Detector response for the images belonging to the test set
(b) Similarity between the original and the watermarked image

실험 II : 워터마크 유일성

실험은 서명을 이미지 내부에 임베딩 하는 것과 상이한 여러 워터마크 중에서 하나의 정확한 워터마크만이 검출 과정에서 양성으로 나타나는지를 증명하였다. 이러한 검출은 복제에 의해 왜곡되지 않은 워터마크 이미지에서 직접적으로 수행된다; 그러나, 왜곡 가능한 이미지들에 대한 다른 실험 역시 유사한 결과를 보였다. 단 하나의 정확한 워터마크만이 문턱치 δ 보다 높은 $sim()$ 값을 획득하였다.

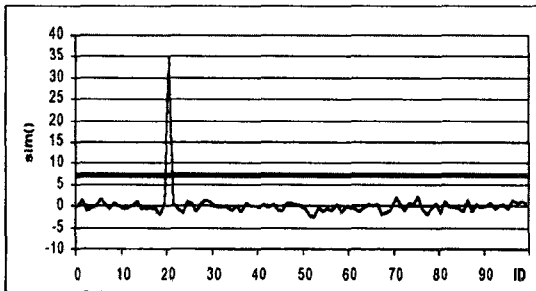


그림 6. 100개의 상이한 워터마크들에 대한 워터마크 검출 응답
Fig 6. Watermark detector response to 100 different watermarks

V. 결 론

본 논문에서는 디지털 워터마크 침부에 대한 새로운 방식을 제안하였다. 제안된 방식은 워터마크를 주파수 영역에서 가시적인 계수에 침부하는 방식이며, 가우시안 분포와 의사 잡음 코드 수열이 선정된 웨이블릿 계수 임베딩 되었다.

제안된 방법은, 워터마크된 이미지가 원영상과의 유사성을 유지하면서도 복제 방지에 효과가 있었다. 제안된 방식이 일반적인 이미지 왜곡에 대해 견실성을 지니고, 이미지를 가시성이 훼손되지 않는 이미지 압축을 가능하게 하였다. 또한, 제안된 방식은 워터마크를 인지 수용력이 낮은 카툰 이미지를 포함하여 모든 종류의 이미지에 침부 할 수 있으며, 매우 적은 정보만이 은닉될 뿐이었다. 결국, 제안된 방법이 기존의 사설 방식에 비해 적은 연산량이 필요하였다.

앞으로의 과제는 사설 방식뿐만 공용 방식에 대한 정의와 실험으로서 서명이 임베딩되고 이어서 마크된 이미지와 원영상 간의 비교 없이 추출 가능한 광범위한 이미지 변형에 대하여 변하지 않는 특성들을 파악하는 것이다.

참고문헌

- [1] I. Cox, J. Kilian, T. Leighton and T. Shamon. "Secure Spread Spectrum Watermarking for multimedia". NEC Research Inst. Tech. Report, 95-10, 1995.
- [2] I. Cox, M.L Miller. "A review of watermarking and the importance of perceptual modeling". In Proc. of SPIE Human Vision and electronic imaging II, v.3016, pp92-99, 1997.
- [3] G. B. Rhoads. "Identification/authentication coding method and apparatus". World Intellectual Property Organization, WIPO WO 95/14289, 1995.
- [4] W. Bender, D. Gruhl, N. Morimoto. "Techniques for data hiding". In Proceedings of SPIE, vol.2420, pp.40, Feb 1995.
- [5] G. Caronni. "Assuring ownership rights for digital images". In Proceedings Reliable IT System, VIS'95. Viewing Publishing Company, pp.251-263, 1995.

[6] F. M. Boland, J. J. K. O Ruanaidh and W. J. Dowling. "Watermarking digital images for copyright protection". In IEEE Proceedings on Vision, Signal and Image Processing, v.143, n.4, pp.250-256, 1996.

[7] I. Pitas. "A method for signature casting on digital images". In Proc. of the International Conference on Image Processing, v.3, pp.215-218, 1996.

[8] E. Koch and J. Zhao. "Towards robust and hidden image copyright labeling" In Proc. of IEEE Workshop of Nonlinear Signal and Image Processing, Halkidiki, Greece, 1995.

[9] D Kundur and D Hatzinakos. "Digital watermarking using multiresolution wavelet decomposition". In International Conference on Acoustic, Speech, and Signal Processing(ICASP), Seattle, USA, v.5, pp.2269-2972, 1998.

[10] S. Craver, N. Memon, B. Yeo and M. Yeung. "Can Invisible Watermarks Resolve Rightful Ownerships?". IBM Research Report, RC 20509, 1996.

[11] M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini and A. Piva, "A DCT-domain system for robust image watermarking". Signal Processing, v.66, n.3, pp.357-372, 1998(Special Issue on "Watermarking").

[12] A. Teolis. Computational Signal Processing with wavelets. Birkhauser, 1998.

[13] I. Daubechies. Wavelets. Philadelphia. S.I.A.M 1992.

[14] D.L. Donoho, "De-noising by soft thresholding". IEEE Trans. Information Theory, v.41, n.3, pp.613-627, 1995.

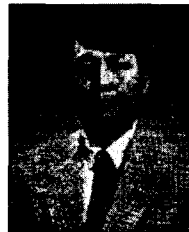
저자소개



박호식(Ho-Sik Park)

1994년 2월 연세대학교 의용전자공학과 졸업(공학사)
2001년 2월 관동대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(공학석사)
2001년 3월~현재 관동대학교

대학원 전자통신공학과 박사과정 재학중
※관심분야 : 영상처리, 신호처리시스템, 영상압축



배철수(Cheol-Soo Bae)

1979년 2월 명지대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1981년 2월 명지대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
1988년 8월 명지대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1991년 3월~현재 산업자원부 공업기술기반 평가위원 및 심의위원
1998년 3월~현재 강원도 정보화위원회 위원
1999년 3월~2001년 5월 관동대학교공과대학 학장
2000년 3월~2002년 2월 관동대학교 양양캠퍼스 창업보육센터 소장
2001년 6월~2003년 8월 관동대학교 평생교육원장
2001년 3월~현재 해양정보통신학회 강원지부장
2001년 11월~현재 기초과학연구소 운영위원
2002년 5월~현재 중소기업 정보화 혁신 컨소시엄 추진위원
2003년 1월~현재 한국통신학회 국내저널 편집부 위원장
2003년 1월~현재 대한전자공학회 이사
1981년~현재 관동대학교 정보통신공학부 교수
※관심분야 : 영상처리, 신호처리시스템, 영상압축